

Manual de sistemas de y cartografía digital



Naciones Unidas

ST/ESA/STAT/SER.F/79

**Departamento de Asuntos Económicos y Sociales
División de Estadística**

Estudios de Métodos

Serie F No. 79

Manual de sistemas de información geográfica y cartografía digital



*Naciones Unidas
Nueva York, 2000*

Nota

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no entrañan, por parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o regiones o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de

El término “país” utilizado en esta publicación se aplica, según los casos, a determinados territorios o zonas.

Las denominaciones “regiones desarrolladas” y “regiones en desarrollo” se utilizan para facilitar la tabulación, sin que representen forzosamente un juicio sobre la etapa alcanzada por un determinado país o zona en el proceso de desarrollo.

Las siglas de los documentos de las Naciones Unidas se componen de letras mayúsculas combinadas con cifras. La mención de una de tales siglas significa que se hace referencia a una publicación de las Naciones Unidas.

ST/ESA/STAT/SER.F/79
PUBLICACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
NÚMERO DE VENTA: 00.XVII.12
ISBN 92-1-161-426-0

Prefacio

En el curso de los años, Naciones Unidas ha publicado una serie de manuales e informes técnicos con la finalidad de ayudar a los países en las tareas de planificar y mejorar los censos de población y vivienda, reduciendo al mismo tiempo su costo. De cuando en cuando se han revisado estos manuales e informes de modo de ir incorporando las novedades y los problemas que surgen en las tareas censales. El presente manual forma parte de una serie elaborada con el fin de prestar asistencia a los países durante la preparación del censo de 2000 y otras rondas censales. La serie

a) Handbook on Population and Housing Census Editing (ST/ESA/STAT/SER.F/82);

b) Handbook on Census Management for Population and Housing Censuses (ST/ESA/STAT/SER.F/83).

En la publicación *Principios y recomendaciones para los censos de población y habitación – Revisión 1* (Naciones Unidas, 1998) se menciona el surgimiento de nuevas tecnologías para las actividades censales. Una de ellas es la aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) y de los mapas digitales en los censos puesto que los avances técnicos tanto en las computadoras como en los programas informáticos de elaboración de mapas ya han inducido a muchas oficinas de estadística y censos a abandonar los métodos cartográficos tradicionales a favor de los mapas digitales y los sistemas de información geográfica.

El objetivo de esta publicación es ayudar a los países proporcionándoles un documento de referencia que se centra en la elaboración de mapas digitales cuando se realizan censos de población y vivienda. Tradicionalmente, la función de los mapas en los censos ha sido respaldar el empadronamiento y presentar los resultados agregados en forma cartográfica. Además de permitir la producción más eficiente de mapas de empadronamiento y temáticos de los resultados censales, los SIG cumplen en la actualidad una función crucial en lo que se refiere a la divulgación de esta información y en el análisis de los datos de población y vivienda.

Esta publicación procura, en especial, servir de guía a los países para:

a) asegurar la uniformidad y facilitar las actividades censales, sobre todo en la etapa del empadronamiento previo;

b) facilitar la reunión de datos y el seguimiento de las actividades de empadronamiento, y

c) facilitar la presentación, el análisis y la divulgación de los resultados de los censos, en la etapa posterior al censo o de verificación.

La publicación está dividida en tres capítulos y su estructura refleja el ciclo censal en el mayor grado posible. En el primer capítulo, además de la introducción, se presenta un panorama general de los sistemas de información geográfica y la cartografía digital. En el segundo, se examinan, entre otras cosas, el análisis costo-beneficio de una inversión en cartografía digital y SIG, los planes correspondientes al proceso cartográfico de los censos, la creación de bases de datos para los mapas digitales, la garantía de calidad, el mantenimiento de las bases de datos y el uso de los SIG durante el empadronamiento. En el último capítulo se describe la función de los SIG y los mapas digitales después de la realización de un censo, así como las tareas posteriores y del período intercensal, como el mantenimiento de las bases de datos, la divulgación de los productos geográficos de los censos y el análisis geográfico de los datos censales.

El manual es todo lo exhaustivo que puede ser sin recargar al lector con una presentación excesivamente técnica, aspecto que se trata en los anexos. En éstos figuran aspectos técnicos: se da un panorama general de los SIG, sistemas de coordenadas y proyecciones cartográficas, modelización de datos geográficos y mapas temáticos.

Durante el proceso de revisión, la Secretaría de las Naciones Unidas realizó consultas con especialistas en cartografía y en SIG de todas las regiones del mundo a fin de revisar y finalizar el manual. Éste también presenta algunos ejemplos de las prácticas que siguen los países en la aplicación de los SIG y los mapas digitales usados en los censos que proporcionaron algunos de estos especialistas. La presente publicación fue redactada por el Sr. Uwe Diechmann, un consultor de la División de Estadística de las Naciones Unidas.

Índice

	<i>Página</i>
Abreviaturas y siglas	ix
I. Introducción y panorama general	1
A. La función de los mapas en los censos	1
B. La “revolución” cartográfica	1
C. El aumento de la demanda de datos estadísticos locales	2
D. Alcance, propósitos y esbozo general del manual	4
II. Empadronamiento previo	7
A. Introducción	7
B. Análisis de costo-beneficio de una inversión en sistemas de cartografía digital/información geográfica	7
1. Costos	8
2. Beneficios	13
a) Beneficios de eficiencia	13
b) Beneficios de eficacia	15
3. Factores decisivos para el éxito	17
C. Planificación del proceso cartográfico de un censo	18
1. Panorama general	18
2. Evaluación de las necesidades y determinación de las opciones cartográficas	19
a) Evaluación de las necesidades de los usuarios	19
b) Determinación de los productos	19
c) Opciones cartográficas	20
3. Aspectos institucionales del establecimiento de un programa de cartografía digital	20
a) Necesidades de personal, responsabilidades y capacitación	20
b) Cooperación institucional	22
c) Equipos y programas informáticos para aplicaciones cartográficas censales	25
d) Descentralización de las actividades cartográficas censales	31
e) Plazos de las actividades cartográficas censales	31
f) Control del proceso	33
4. Definición de la geografía del censo nacional	34
a) Jerarquía administrativa	34
b) Relaciones entre unidades administrativas y otras unidades informantes estadísticas o administrativas	35
c) Demarcación de zonas de empadronamiento	35
d) Demarcación de zonas de supervisión	37

e)	Integración de segmentos separados de mapas	81
E.	Garantía de calidad, producción de mapas de zonas de empadronamiento y mantenimiento de la base de datos	82
1.	Consideraciones generales	82
2.	Producción de mapas boceto y procedimientos de garantía de calidad.....	83
a)	Concordancia de los archivos de límites y de atributos, e impresión de mapas generales.....	83
b)	Garantía de calidad	84
c)	Verificación por las autoridades locales y verificación final de la unidad administrativa	84
3.	Impresión de mapas de las zonas de empadronamiento.....	85
F.	Utilización de los sistemas de información geográfica durante el empadronamiento .	89
1.	Utilización de mapas digitales para los aspectos logísticos del censo	89
2.	Supervisión de la marcha de las operaciones censales	89
3.	Actualización y corrección de los mapas de las zonas durante el empadronamiento	90
III.	Verificación	91
A.	Introducción	91
B.	Tareas posteriores al censo y durante el período intercensal.....	91
1.	Tareas inmediatas	91
a)	Incorporación de actualizaciones y cambios sugeridos por los empadronadores.....	91
b)	Conciliación de las unidades de reunión y las unidades de tabulación o	91
2.	Mantenimiento de la base de datos	93
a)	Archivo	93
b)	Mantenimiento de la base de datos: ventajas de un programa cartográfico permanente	93
C.	Divulgación de los productos del censo geográfico.....	93
1.	Divulgación de los datos de planificación	93
2.	Productos requeridos.....	94
a)	Archivos de equivalencia y comparabilidad	94
b)	Biblioteca de mapas de referencia	95
c)	Nomenclátors y archivos centroides.....	95
3.	Mapas temáticos para publicación	95
a)	El poder de los mapas	95
b)	Elaboración de mapas temáticos a partir de los datos censales.....	96
c)	Cuestiones relativas a la producción y publicación de mapas temáticos ...	97

d)	Opciones en materia de productos	98
4.	Bases digitales de datos geográficos para divulgación	103
a)	Definición del contenido de los datos	104
b)	Formato de los datos	105
c)	Diccionarios de datos y documentación	106
d)	Preparación de los productos	107
e)	Cuestiones jurídicas y de comercialización	108
f)	Comercialización de los productos cartográficos digitales	111
g)	Actividades de extensión	112
5.	Atlas digitales de los censos	112
a)	Atlas censales estáticos	112
b)	Atlas dinámicos de censos	113
6.	Cartografía por Internet.	114
a)	Métodos basados en el servidor	115
b)	Métodos basados en el cliente	116
c)	Métodos híbridos.	117
d)	Oportunidades de distribución de los datos censales	117
D.	Temas avanzados: análisis geográficos de los datos del censo	119
1.	Definición y demarcación de las zonas urbanas	119
2.	Conciliación de las estadísticas de las zonas pequeñas con información similar de censos anteriores	119
a)	Agregación de zonas de empadronamiento anteriores a los nuevos de los distritos	119
b)	Interpolación de zonas cuando los límites son incompatibles	120
c)	Bases de datos de SIG temporales	124
3.	Datos de población por casillas de la grilla	125
	Bibliografía y referencias	127
Anexos		
I.	Sistemas de información geográfica	133
II.	Sistemas de coordenadas y proyecciones cartográficas	147
III.	Modelización de los datos	161
IV.	Ejemplo de un diccionario de datos que se podrá distribuir	165
V.	Diseño de mapas temáticos	169
VI.	Glosario	201
VII.	Direcciones y URL útiles	215

Abreviaturas y siglas

ASCII	Código Estándar Norteamericano para Intercambio de Información
BUCEN	Oficina de Censos (EE.UU.)
CD-ROM	Disco compacto con memoria de lectura solamente
CMY	azul oscuro, solferino y amarillo
DE	Distritos de empadronamiento
DVD	Disco versátil digital
EPS	postscript encapsulado
ESRI	Instituto de Investigaciones sobre Sistemas Ambientales
EV	encuesta de verificación
GLONASS	Sistema mundial de navegación orbital por satélite
GPS	Sistema mundial de determinación de posición
HVS	saturación del valor de la tonalidad
INDE	Infraestructura nacional de datos espaciales
INEGI	Instituto Nacional de Estadísticas para la Geografía y la Informática
ISO	Organización Internacional de Normalización
LAN	Red de área local
NCHS	Centro Nacional de Estadísticas Sanitarias (EE.UU.)
RDBMS	sistemas de gestión de bases de datos relacionales
RGB	rojo, verde y azul
SIG	Sistemas de información geográfica
TFT	Tasa de fecundidad total
UPS	Fuente de energía eléctrica ininterrumpida
WWW	Red mundial, Web
ZE	Zona de empadronamiento
ZS	zonas de supervisión

I. Introducción y panorama general

A. La función de los mapas en los censos

1.1. Muchas de las modificaciones efectuadas en la publicación Principios y recomendaciones para los censos de población y habitación (Naciones Unidas, 1998) son consecuencia de la aparición de nuevas tecnologías que pueden aplicarse a las actividades censales. Los avances técnicos significativos sin duda se traducirán en beneficios para los censos en materia de obtención, procesamiento y distribución de datos. En la esfera de la cartografía, los adelantos logrados en computadoras y en programas informáticos para la preparación de mapas ya han inducido a muchas oficinas de estadística y de censos a pasar de los métodos cartográficos tradicionales a los sistemas de información geográfica (SIG) y mapas digitales (véanse, por ejemplo, Rhind, 1991; Ben-Moshe, 1997; y Naciones Unidas, 1997a).

1.2. Tradicionalmente, la función de los mapas en los censos ha sido servir de respaldo al empadronamiento y presentar los resultados agregados en forma cartográfica. En esta esfera, el papel que cumple la automatización es cada vez más grande. Además de permitir una mayor eficiencia en la producción de mapas de empadronamiento y temáticos de los resultados de los censos, en la actualidad les cabe a los SIG una función crucial en la divulgación de los datos censales y en el análisis de los datos demográficos y habitacionales.

1.3. Los mapas han sido parte integral de la realización de los censos desde hace mucho tiempo. Son muy pocos los empadronamientos que se realizaron durante las últimas rondas censales sin contar con la ayuda de mapas detallados. En términos generales, los mapas digitales cumplen varias finalidades en un proceso censal:

- *Los mapas aseguran la uniformidad y facilitan las actividades censales (antes del empadronamiento).*

Las oficinas de censos tienen que asegurar que se cuenta cada hogar y cada persona del país y, al mismo tiempo, que a ninguno de ello se los cuenta dos veces. Para esto, los geógrafos dividen el territorio nacional en pequeñas unidades informantes y, de este modo, los mapas pasan a ser un instrumento de control esencial que garantiza la consistencia y la exactitud de los censos.

- *Los mapas facilitan la reunión de datos y pueden ayudar a supervisar las actividades censales (durante el empadronamiento).*

Durante un censo, los mapas aseguran que los empadronadores puedan identificar con facilidad el conjunto de hogares de que se les ha asignado. También se preparan mapas para los supervisores, que ayudan en las tareas de planificación y control. Los mapas pueden, entonces, intervenir también en el seguimiento de las actividades censales, lo que permite a los supervisores identificar aspectos problemáticos y tomar con prontitud medidas correctivas.

- *Los mapas facilitan la presentación, el análisis y la divulgación de los resultados censales (después del empadronamiento).*

La presentación cartográfica de los resultados censales es un instrumento poderoso que permite su visualización, lo que ayuda a identificar modalidades locales de importantes indicadores demográficos y sociales. Por lo tanto, los mapas son parte integral del análisis de las políticas en los sectores público y privado.

1.4. En las secciones restantes de esta introducción se dará un breve panorama de los objetivos del manual. En la sección que sigue se enuncia en forma sumaria la rápida evolución de los mapas digitales que también ha servido de motivación para preparar el presente manual; después se examinan las razones por las cuales se presiona cada vez más a las oficinas de censos para que proporcionen con puntualidad los datos con referencias geográficas. Por último se resume brevemente el contenido del manual.

B. La “revolución” cartográfica

1.5. La gente ha usado los mapas desde hace siglos para representar su entorno. Se los utiliza para mostrar lugares, distancias, direcciones y el tamaño de las zonas. Los mapas muestran también relaciones, diferencias, agrupamientos y modalidades geográficas; se los usa para navegar, explorar, ilustrar y comunicarse, tanto en el sector público como en el privado. Prácticamente en todas las esferas de la ciencia se usan mapas de un tipo u otro. En pocas palabras, los mapas son una herramienta indispensable en muchos aspectos de la labor profesional y académica.

1.6. La revolución de la información llegó a la cartografía un poco después que a otras disciplinas. Las primeras computadoras servían para almacenar números y textos pero los mapas, en cambio, son complejos y un mapa digital requiere una gran capacidad para al-

macenar datos y rápidos recursos informáticos. Además, un mapa es fundamentalmente una aplicación gráfica, una tarea para la cual las primeras computadoras no tenían mucha capacidad. Las primeras aplicaciones cartográficas realizadas en las computadoras en el decenio de 1960 no se usaron mucho excepto en unos pocos proyectos oficiales y académicos. Fue sólo en el decenio de 1980 que los sistemas comerciales de información geográfica alcanzaron la capacidad que permitiría su rápida adopción, por ejemplo en el gobierno regional y local, el planeamiento urbano, los organismos de medio ambiente, la exploración minera, el sector de las empresas de servicios públicos, la comercialización y las empresas de bienes raíces.

1.7. Los SIG se han beneficiado mucho con los avances logrados en varias esferas de la informática. Los mejores programas de bases de datos permiten la gestión de vastas cantidades de información que sirven de referencia para los mapas digitales. Las técnicas informáticas que se ocupan de los gráficos proporcionan los modelos que sirven para guardar, recuperar y exhibir los objetos geográficos. Las técnicas avanzadas de visualización nos permiten crear representaciones crecientemente complejas de nuestro entorno. Las funciones de visualización de datos de los SIG van mucho más allá de la presentación bidimensional estática y permiten crear modelos tridimensionales y animados. Así como el ingreso de la información contenida en los textos resulta más fácil gracias al reconocimiento de caracteres ópticos, el escaneo rápido y de alta resolución y los programas avanzados aceleran la conversión de los datos cartográficos que antes dependía exclusivamente de la digitalización manual.

1.8. Las nuevas fuentes de información también reducen el tiempo que se necesita para pasar de la etapa de planificación de un proyecto a una base de datos operacional. Los avances recientes más importantes se han producido en la navegación y la teleobservación. El Sistema Mundial de determinación de posición (GPS) ha revolucionado la reunión de datos en áreas que van desde el reconocimiento hasta la vigilancia del medio ambiente y la ordenación del transporte. Una nueva generación de satélites comerciales de alta resolución promete facilitar imágenes de cualquier parte de la superficie de la tierra con suficiente detalle como para facilitar numerosas aplicaciones cartográficas. El costo de los mapas digitales de precisión se reducirá en medida significativa merced a la integración de las técnicas GPS y las cámaras digitales en la fotografía aérea.

1.9. Se observan progresos similares en las esferas de divulgación de datos geográficos. Todos los proveedores principales de SIG están proporcionando actual-

mente los instrumentos que darán acceso a las bases geográficas vía Internet en la World Wide Web (www) (Red mundial). Los organismos públicos de todos los niveles utilizan esta tecnología para que el público pueda obtener sin grandes costos y sin demora las enormes cantidades de información espacial. Es probable que Internet desplace a los mapas impresos y a los medios digitales del lugar que ocupan como el medio más importante de distribución de datos.

1.10. Los programas cartográficos de Internet indican que los recursos que permiten utilizar la información espacial digital son cada vez menos costosos y más fáciles de usar. Si bien todavía se necesita mucha capacitación para usar eficazmente los SIG más avanzados, los programas cartográficos para las computadoras personales no son más complicados que los que se usan corrientemente para las actividades comerciales. La preparación de mapas digitales se integra cada vez más en aplicaciones informáticas corrientes como las planillas de cálculo, los gráficos y los programas de administración de empresas.

1.11. Las oficinas de estadística figuran entre las primeras que adoptaron los SIG. Las estadísticas demográficas, sociales y económicas constituyen la base de la planificación y la gestión públicas. La distribución espacial de los indicadores socioeconómicos sirve de guía cuando se toman decisiones en materia de política acerca del desarrollo regional, la prestación de servicios y en muchas otras esferas. Las técnicas digitales permiten manejar mejor, recuperar más rápido y presentar esos datos en forma más adecuada. Por lo tanto, siempre ha habido un vínculo estrecho entre la geografía y la estadística —como lo indica, por ejemplo, el hecho de que los organismos nacionales de estadística y cartografía de muchos países de América Latina comparten el mismo techo (véase también EUROSTAT, 1996). Esta integración de los SIG en aplicaciones estadísticas significa un gran beneficio para las oficinas que se ocupan de ellas a nivel nacional, ya que reduce el costo y el tiempo que se necesitan para reunir, compilar y distribuir información. Los SIG permiten que la oficina de estadística ofrezca un mayor número de servicios y aumente, por ende, el rendimiento de la inversión que se necesita para la reunión de datos.

C. El aumento de la demanda de datos estadísticos locales

1.12. Los beneficios que significa la automatización de los datos geográficos en la estadística los comparten los usuarios de los censos y los datos de las encuestas. Las funciones de integración de los datos que ofrecen

los SIG —que permiten la vinculación de información proveniente de muchas esferas diferentes— han hecho que la información estadística se aproveche mucho más. Esto, a su vez, ha intensificado la presión ejercida en las oficinas de estadística para que produzcan información de excelente calidad con referencias espaciales de pequeñas unidades geográficas. Los tipos de aplicaciones de esos datos son casi ilimitados. Se mencionan a continuación algunos ejemplos:

- La planificación de los servicios sociales y educativos. Una importante tarea de los gobiernos locales y regionales es garantizar que todos los puntos del país tienen el mismo acceso a servicios públicos como la atención de salud y la educación. Los datos censales de zonas pequeñas relativos a la edad y a las características sociales permiten a los planificadores pronosticar la demanda de distintos servicios. Si esta información se combina con los datos de los SIG sobre la infraestructura de transporte es posible distribuir mejor los recursos entre los centros de servicios existentes y tomar decisiones más racionales con respecto a la ubicación de centros nuevos.
- Análisis de la pobreza. En los países donde no se reúnen datos sobre el ingreso o el consumo durante la realización de un censo, las características de los hogares son un indicador importante del bienestar de diversos grupos de población. Los datos censales de zonas pequeñas, sumados a la información con referencias espaciales sobre la infraestructura y la situación agroecológica, pueden usarse para estimar la incidencia de la pobreza y la ubicación de las comunidades pobres. Esta información mejora la focalización de los planes de alivio de la pobreza encauzando los recursos hacia las zonas que más los necesitan y evitando pérdidas por subvención de comunidades que no son pobres.
- Planificación de los servicios públicos. Las empresas públicas y privadas de suministro de agua, electricidad y telecomunicaciones no sólo usan los SIG para la gestión de su infraestructura física, sino que también aprovechan el análisis espacial de datos demográficos para evaluar la demanda actual y futura de servicios. Los datos digitales de los censos —junto con los modelos digitales del terreno— han sido un componente clave en el diseño de los sistemas de telefonía móvil de todo el mundo, ayudando a encontrar la ubicación óptima de las torres de transmisión.
- Análisis de la fuerza laboral. Se trate de una empresa privada que busca un lugar adecuado para emplazar una fábrica o de un organismo público que procura equiparar la oferta y la demanda de mano de obra, los datos de los censos de zonas pequeñas son un elemento importante del análisis relacionado con el empleo. El análisis del viaje que supone llegar al trabajo, en el cual se comparan la ubicación del empleo y la residencia de los empleados es importantísimo para la planificación del transporte.
- Análisis de comercialización. Las empresas usan este tipo de datos para planear la ubicación de nuevos locales y depósitos, administrar la información sobre servicios a los clientes y orientar la publicidad a destinatarios específicos. Ha surgido toda una rama de los SIG —denominada de diversas formas, entre ellas geografía comercial o geodemografía. De hecho, la firme demanda de estos tipos de análisis ha sido una fuerza importante que impulsó el desarrollo de programas informáticos de cartografía económicos y fáciles de usar.
- Demarcación de distritos electorales. En las democracias representativas, la representación parlamentaria se basa en el principio de dar igual peso a cada voto. Para garantizar este principio, se usan las cifras de población de zonas pequeñas para demarcar distritos de aproximadamente el mismo tamaño. En los Estados Unidos de América éste es el fundamento de los censos decenales que estipula la constitución. Los SIG y los datos de los censos se utilizan en el diseño de los distritos electorales.
- Planificación para emergencias. La identificación de zonas densamente pobladas que son difíciles de evacuar en caso de incendios, terremotos, erupciones de volcanes o tsunamis sirve de guía para planear servicios de emergencia y permite eliminar obstáculos con prontitud. Los datos de los censos con georreferencias, junto con los mapas digitales de transporte y altura, son instrumentos esenciales para este análisis.
- Análisis epidemiológico. Los datos de censos de zonas pequeñas, combinados con los datos de incidencia de la salud y biofísicos, permite a los funcionarios de salud estimar la población que está amenazada por ciertas enfermedades infecciosas y transmitidas por vectores. Saber cuántos habitantes de un país pueden ser afectados por el paludismo o la esquistosomiasis, por ejemplo, permite a los planificadores estimar los recursos

que se necesitan para tomar medidas de erradicación. Identificar el lugar en que se encuentran estos grupos amenazados permite determinar prioridades y ejecutar las actividades de intervención.

- Modelos de planicies inundables. Las grandes inundaciones parecen ser un peligro cada vez más frecuente en muchas de las distintas cuencas del mundo. Los datos digitales hidrológicos y de altura, sumados a las estadísticas de los censos de zonas pequeñas, permiten a los planificadores realizar una evaluación detallada para reducir el riesgo que corren las poblaciones de zonas propensas a la inundación y planificar la gestión de las emergencias. Las compañías de seguros usan los mismos instrumentos para evaluar los niveles de riesgos de los propietarios de viviendas, lo que hace que la determinación de las primas sea más equitativa.
- Agricultura. La información geográfica sobre la situación agroecológica y los datos de producción, sumados a los de zonas pequeñas sobre la demanda de alimentos, facilitan el análisis de las cuestiones relativas a la seguridad alimentaria. Los sistemas que advierten las hambrunas con antelación ya funcionan en muchos países que se caracterizan por tener ecosistemas frágiles, con el fin de prevenir las grandes crisis alimentarias.

1.13. En todos estos ejemplos hay un elemento común, a saber, que dependen de la disponibilidad de datos demográficos y sociales de zonas pequeñas. Las únicas fuentes confiables de este tipo de información son los censos o, cuando existen, los sistemas de registro de la población. A medida que aumenta el número de usos no tradicionales de los datos censales, también lo hace la responsabilidad de la oficina nacional de estadística en su calidad de principal productor de esta información. Esto implica que las oficinas de censos tienen que ampliar sus estrategias de distribución, dejando de lado los informes tabulados de datos bastante agregados a favor de bases digitales detalladas que vinculan las fronteras de las unidades informantes con la rica información demográfica de zonas pequeñas que se reúne en un censo. Esta utilización más amplia de los datos censales también tiene repercusiones para la cooperación institucional. A fin de asegurar el mayor beneficio posible de las tareas de reunión, la obtención de datos tiene que coordinarse con otros departamentos del Estado, instituciones de investigación y empresas privadas que producen datos con referencias geográficas. De este modo las oficinas de estadística se convierten en uno de los participantes clave en la creación de una infraestructura nacional de datos espaciales (INDE).

D. Alcance, propósitos y esbozo general del manual

1.14. La rápida evolución experimentada en los últimos tiempos en la tecnología de la cartografía digital y la creciente demanda de datos demográficos de zonas pequeñas con referencias geográficas han sido los motivos que más influyeron para que se preparase este manual. Todo país que se embarque en un proyecto censal tendrá que evaluar las opciones a fin de minimizar el costo y maximizar los beneficios de las actividades cartográficas que habrán de realizarse. El objetivo de este manual es proporcionar información técnica y metodológica que facilite la elección de un conjunto adecuado de instrumentos y procedimientos en un país dado.

1.15. Evidentemente, las opciones serán distintas en cada caso en vista de la multitud de posibilidades y la diversidad de situaciones y recursos disponibles en los países. Por lo tanto, el manual no ofrece una lista que sirva de guía precisa. Cada país tiene que evaluar la forma en que las distintas opciones en materia cartográfica encajan en el contexto de su propio programa censal. Temas tales como la base de mapas digitales ya disponible en el país, los recursos tecnológicos existentes, los fondos disponibles y los plazos para la terminación del programa determinarán cuál es la mejor combinación de tecnología y de métodos para cada caso individual.

1.16. Sin embargo, no se argumenta en este manual que las técnicas cartográficas tradicionales que se han usado con éxito en muchos países estén totalmente desactualizadas. La referencia principal sobre este punto —*Mapping for Census and Surveys* (BUCEN, 1978)— sigue siendo un recurso valiosísimo tanto para principiantes como para cartógrafos experimentados, sobre todo los capítulos que tratan la organización y control de un programa cartográfico, la demarcación de las zonas de empadronamiento y las zonas estadísticas. Pero como la tecnología ha seguido avanzando se tienen ahora otras formas mejores de llevar a cabo muchas de las tareas de cartografía censal. Por lo tanto, la finalidad del presente manual es complementar las directrices de la Oficina de Censos de los Estados Unidos (BUCEN) proporcionando información sobre las últimas técnicas, sin reiterar otros aspectos que ya han sido debidamente tratados.

1.17. Se supone que, para leer los capítulos principales del manual, se tiene un conocimiento básico de los SIG y de los conceptos cartográficos. En el caso de lectores que no estén muy familiarizados con estos aspectos, en los Anexos I y II se da un breve panorama general de ambos temas. Cabe decir que las proyecciones carto-

gráficas y los sistemas de coordenadas son temas más importantes en un proyecto que emplee los SIG que cuando se recurre a un método tradicional basado en mapas boceto.

1.18. Los capítulos principales del manual están divididos en los temas pertinentes a la preparación de las actividades anteriores y posteriores al empadronamiento. En el Capítulo II se debaten los costos y beneficios del enfoque digital para la preparación de mapas censales, y se demostrará que la utilización de técnicas digitales —algo inevitable a largo plazo— significa grandes inversiones iniciales, mientras que los beneficios tal vez se materialicen mucho después. En las otras secciones del capítulo se examinan cuestiones institucionales de la planificación y establecimiento de un programa de mapas censales digitales, la formación de una base de

datos de SIG, y la creación de productos para las actividades censales. El capítulo concluye con una breve descripción de las aplicaciones de los SIG en las actividades de empadronamiento como la supervisión de la marcha de las actividades censales y la actualización de la base de datos cartográficos.

1.19. En el capítulo III se presta más atención a las tareas cartográficas posteriores al empadronamiento y al empleo de mapas digitales para la presentación, el análisis y la distribución de los datos censales, temas de importancia para todos los países. Incluso si no se han usado los mapas digitales para el empadronamiento en sí, quizás los países deseen crear bases de datos de SIG para analizar y distribuir los datos de los censos. Estos mapas de base digital también servirán para preparar otros que faciliten futuras aplicaciones en censos y encuestas.

II. Empadronamiento previo

A. Introducción

2.1. La decisión de pasar de las técnicas cartográficas tradicionales a otras digitales tiene una importante repercusión en la organización del censo. El problema inmediato es la considerable inversión que se necesita para convertir la información analógica existente en datos digitales y compilar nuevos datos en esta forma. El costo que conllevan la adquisición de equipos y de datos, la capacitación del personal y las operaciones es significativo. En la sección B se examinan los costos y los beneficios de este cambio de método para los mapas censales, y se dice que la inversión valdrá la pena siempre que la oficina de censos adopte una estrategia a largo plazo. Los beneficios superarán a los costos iniciales sólo si la base de datos digitales creada originalmente se mantiene y actualiza después del censo y si se la aprovecha para otros fines además de la elaboración los mapas de las zonas de empadronamiento, tanto en la oficina de censos como en otros ámbitos.

2.2. En el resto de este capítulo se presta especial atención a los aspectos prácticos, operativos. En la sección C se habla de las primeras etapas de planificación, incluso de las cuestiones institucionales, la definición de la geografía del censo y el diseño de la base de datos de los SIG. Los temas examinados abarcan aspectos tales como la cooperación con otros organismos, las necesidades de personal, los planes de codificación geográfica y la determinación del alcance de las actividades censales. En la Sección D se analizan las opciones tecnológicas para la conversión de los datos cartográficos analógicos a digitales y otras tareas en el terreno. Puesto que la rápida evolución tecnológica de los últimos años ha modificado la naturaleza de la cartografía, los temas que aquí se tratan constituyen una importante razón para la preparación del presente manual. En la sección E se abordan las cuestiones relativas a la garantía de calidad y a la producción de mapas de zonas de empadronamiento para la realización de censos y, por último, en la sección F se examina la utilización de los SIG durante el empadronamiento.

2.3. Aunque las secciones de este capítulo siguen una secuencia lógica, los temas tratados no pueden considerarse en forma aislada. La dotación de personal, la capacitación y la adquisición de equipos, por ejemplo, están determinadas por la estrategia de conversión de datos que se elija. La producción de mapas de zonas de empadronamiento depende de los datos digitales que se tengan, cuya cantidad está determinada por el alcance

de las actividades de cartografía digital. Así pues, el material de este capítulo debe considerarse de índole informativa y no como si se tratase de un manual en el que se van siguiendo etapas sucesivas.

B. Análisis de costo-beneficio de una inversión en sistemas de cartografía digital/información geográfica

2.4. En esta sección se examinarán los costos que entraña y los posibles beneficios que significa el empleo de un método de cartografía digital o de SIG para los censos, un examen de índole necesariamente general ya que no existe un método único para la realización de mapas censales que sea el mejor en cada circunstancia. Hay, en cambio, diversas opciones que van desde la capacidad interna para trazar mapas totalmente digitales hasta el uso, por ejemplo, de mapas realizados por computadora sólo para la presentación y la divulgación de los resultados. En otras palabras, no hay una solución que sirva para todos los casos en la tarea de incorporar los mapas digitales en el proceso censal. De hecho, una crítica que se oye con frecuencia es que los SIG son una solución de US\$500 para un problema de US\$5 (por ejemplo, se lo dice en Batty y otros, 1995). Es verdad que esto ocurre cuando se adopta un SIG complejo y avanzado cuando hubiera bastado con un sencillo programa informático de cartografía. El principio rector de cualquier análisis costo-beneficio es que la elección sea apropiada a la tarea.

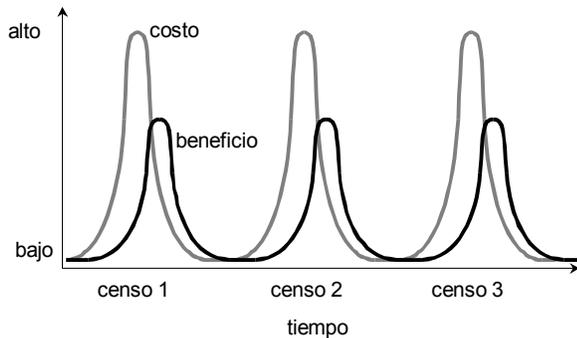
2.5. Por varias razones, también son difíciles de evaluar los costos y los beneficios de usar cuantitativamente los SIG. Es posible, por ejemplo, que muchos de los beneficios no los obtenga el organismo que paga la inversión en los SIG, sino otros que pueden conseguir productos de mayor precisión o de menor costo, o que antes no estaban disponibles. Esto asimismo subraya la diferencia entre “barato” y “eficaz en función de sus costos”. A corto plazo, la opción más barata para producir mapas censales quizás sea el enfoque manual tradicional, sobre todo en países que tiene costos bajos de mano de obra. Pero, desde el punto de vista de la sociedad, tal vez sea más eficaz y económico invertir inicialmente más en un método digital porque sus productos lograrán beneficios a largo plazo mucho mayores en la oficina de censos o de estadística y en otras partes.

2.6. En el caso de los SIG, la mayor inversión hay que realizarla al principio. Esto significa que se incurre en los gastos mayores en las primeras etapas de un pro-

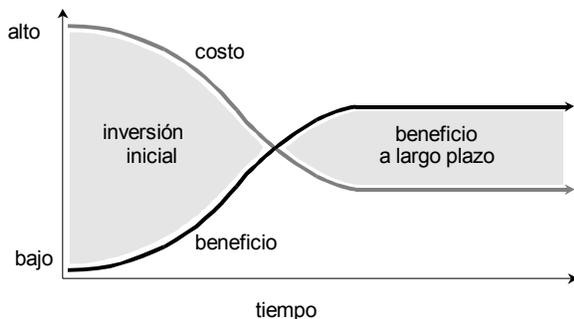
yecto, mientras que los beneficios tangibles tal vez sólo se materialicen bien avanzado el ciclo del proyecto. Esto se ilustra en el gráfico II.1, en el que se comparan los costos y beneficios de un método tradicional con los de la cartografía digital. En el primer caso, los mapas se recrean manualmente para cada censo. Los costos tienden a ser mayores que los beneficios puesto que los mapas en papel son útiles sólo para los censos. En el segundo caso, una inversión inicialmente grande se traduce en menores costos de mantenimiento y actualización y en beneficios sostenibles a largo plazo. Los beneficios a largo plazo son mucho mayores porque el proceso crea una base de datos digital multipropósito.

Gráfico II.1. Costos y beneficios de los distintos tipos de mapas censales

(a) Método tradicional



(b) Método digital



2.7. Esto también destaca la importancia de contar con una estrategia a largo plazo para la elaboración de mapas censales, tarea que, con frecuencia, sólo se basa en un proyecto. Pocos años antes del censo se arma un equipo para producir con rapidez y a mano los mapas boceto que sólo se usan para el empadronamiento. Unos años después, se reanuda el proceso para el próximo censo. Es mejor pensar que la cartografía censal es un proceso continuo, y que las bases de datos son

mantenidas regularmente por un personal permanente que recibe frecuente capacitación.

1. Costos

2.8. No deben subestimarse la inversión a corto plazo ni los costos de mantenimiento a plazo más largo de los SIG. Al igual que toda nueva tecnología o transformación de una organización (por ejemplo, sistemas de gestión de la información), la introducción de los SIG implica un cambio de rutina y un gasto significativo, no sólo en programas y equipos de informática, sino también de adquisición de datos, capacitación, planificación y reestructuración de la organización. De hecho, los significativos costos que entraña son la razón principal por la cual las secciones que tratan los SIG en la versión revisada de *Principios y recomendaciones para los censos de población y habitación* (Naciones Unidas, 1998) están redactadas con sumo cuidado. Suelen subestimarse sobre todo los costos indirectos y esto puede hacer fracasar un proyecto de SIG.

2.9. A continuación se enuncian las tareas que habrá que realizar para empezar a usar los SIG y que suponen costos para el organismo que lo haga (véanse Worrall, 1994; y Becker y otros, 1996; véanse también, Bond y Worrall, 1996; y Bond y otros, 1994). Todas estas etapas se examinan con mucho más detalle en partes siguientes de este manual. Es evidente que muchos de los costos no son exclusivos de la cartografía digital; por ejemplo los que entraña la coordinación de una reunión descentralizada de datos o la conversión de éstos son semejantes, se trate de producción digital o manual de mapas. Además, no todos los proyectos requieren cumplir la totalidad de las etapas. Una oficina de censos que sólo quiere usar la computadora para producir mapas temáticos en una publicación no tendrá que dedicar mucho tiempo ni dinero a un proceso de planificación detallada. En cambio, un proyecto integral de cartografía censal puede exigir una inversión considerable, y su éxito o fracaso quizás sean una función directa del rigor con que se haya diseñado el proyecto.

Componentes de costo

Planificación y diseño de sistemas, servicios de consultoría, tiempo del personal administrativo

La planificación global de un proyecto de SIG de un departamento dedicado a estos sistemas en el marco de un organismo permitirá aclarar los objetivos y prever los costos y las etapas por cumplir. A menudo será útil recurrir a expertos externos y, en los últimos años, ha surgido un gran sector comercial que ofrece servicios de consultoría sobre SIG. En el caso de las oficinas de censos de los países en desarrollo, suele convenir visitar otras oficinas que tengan ya una considerable experiencia en estos sistemas y aprender de ellas (véase también Coiner, 1997).

La evaluación de los datos disponibles y la elaboración de una estrategia de conversión de los datos, que suele ser la parte que más recursos demanda en un proyecto, también forman parte de la planificación global de un sistema.

Integración o adquisición de equipos informáticos

Las computadoras siguen adquiriendo más y más potencia mientras que sus precios continúan bajando. Pero algunas de estas ventajas son neutralizadas por las crecientes demandas de velocidad y memoria de los procesadores por parte de los nuevos programas. Si hay que integrar equipos existentes, tal vez sea necesario invertir en el aumento de la memoria o espacio en el disco, y también hay que considerar el asunto de la compatibilidad con equipos adquiridos recientemente. Aparte de las computadoras con procesadores rápidos y gran capacidad de almacenamiento, las aplicaciones de los SIG requieren equipos periféricos, como digitalizadores, escáneres e impresoras de color de formato grande que quizás no formen parte del equipo corriente de la oficina de censos.

Evaluación y selección de los SIG/programas de elaboración de mapas

Hay en la actualidad docenas de programas adecuados de SIG y para computadoras personales en el mercado, cuyos precios varían desde unos pocos cientos hasta decenas de miles de dólares de los Estados Unidos. Muchos analistas predicen que en los próximos años habrá una mayor consolidación del mercado de los programas de SIG que tendría que producir programas de costo más bajo, ya que los proveedores que queden se beneficiarán del mayor volumen.

A todo fin práctico, las opciones podrán reducirse a unos pocos programas que han surgido como norma para los organismos y que tienen capacidad para tratar las grandes y complejas bases de datos de un proyecto de elaboración de mapas para un censo. Proporcionan un adecuado respaldo a los usuarios y a las funciones que se necesitan para la realización de todas las tareas de este tipo de proyecto.

Un criterio importante es la compatibilidad con los datos de otros organismos estatales si éstos se intercambian con frecuencia o si los costos de producción son compartidos entre varios organismos. Asimismo, puede que sea adecuado el enfoque jerárquico según el cual la unidad principal del SIG usaría un programa poderoso mientras que los grupos o unidades regionales que trabajan principalmente en tareas rutinarias usan programas más económicos y menos poderosos.

Los proveedores de programas avanzados suelen requerir o alentar la adquisición de contratos de mantenimiento, algo que habrá que considerar en los presupuestos operativos. En general, esos servicios son costosos, pero con frecuencia decisivos para garantizar una operación sin interrupciones.

Desarrollo de prototipos	<p>Antes de embarcarse en un proyecto de mapas para un censo, es aconsejable realizar un proyecto piloto o prototipo en un sector reducido del país. Aunque esto demanda tiempo y recursos adicionales, tiene una ventaja, a saber, que es posible detectar pronto los problemas de metodología. En el caso de proyectos grandes, debe pedirse a los posibles vendedores que proporcionen referencias y que la organización cliente defina una aplicación realista. En consecuencia, cuando se evalúa un sistema, la oficina de censos debe asegurarse que se realizan todas las demostraciones y se verifican las referencias usando datos realistas que reflejen la total complejidad de la elaboración de mapas para censos. Las demostraciones siempre salen bien si se usan los datos que prepara el mismo proveedor, pero no siempre ocurre así una vez instalado el sistema para trabajar en los mapas de los censos.</p>
Configuración/adaptación de los sistemas de equipos y programas informáticos	<p>Puesto que la preparación de los datos de los SIG es una tarea que demanda mucho tiempo y esfuerzo, suele aconsejarse compartir las tareas. Esto se facilita si se cuenta con el considerable apoyo que presta un sistema de redes en el cual es fácil intercambiar datos, sea a través de una red de área local (LAN), es decir una especial que vincule, por ejemplo, la oficina nacional de censos con las oficinas regionales o, algo cada vez más frecuente, a través de conexiones estándar de Internet.</p>
	<p>En el caso de aplicaciones censales muy grandes, puede ser necesario realizar algunas adaptaciones, por ejemplo, para crear una interfaz entre el SIG y un sistema genérico de gestión de base de datos que ya se utiliza.</p>
Planificación de los recursos humanos	<p>La puesta en práctica de una nueva tecnología en un organismo tal vez requiera que se incorpore nuevo personal. Puede que se necesite incorporar a una persona que tenga experiencia en mapas digitales o SIG para que dirija una nueva sección dedicada a estos aspectos. De modo similar, habrá que capacitar al personal o bien reasignarlo para que no surjan inconvenientes en la transición del sistema cartográfico antiguo al nuevo.</p>
Capacitación, calificación profesional, readiestramiento	<p>Después del costo de los equipos, los programas y la conversión de datos, la capacitación ocupa el cuarto lugar entre los gastos de toda actividad en el contexto de los SIG y se estima que para este rubro hay que calcular un porcentaje que oscila entre el 5 y el 10% del costo total del proyecto. Los costos de la capacitación son elevados principalmente debido a la falta de postulantes con la capacidad que se necesita a nivel de incorporación, la complejidad de muchos programas de SIG y la escasa experiencia en materia de geografía y análisis espacial de casi todo el personal de las oficinas de estadística.</p>
	<p>Es probable que estos problemas vayan perdiendo importancia en el futuro. En muchas universidades ya se imparte enseñanza acerca de los SIG, no sólo en los departamentos de geografía sino también en los de informática, recursos naturales, empresas y estadística. La preparación de planes de estudio básicos uniformados para las universidades y escuelas profesionales (por ejemplo, NCGIA. 1998) respalda esta evolución. Los programas de SIG son más fáciles de usar a medida que se va adoptando como norma la plataforma Windows y que los proveedores van tomando en cuenta las necesidades de una comunidad de usuarios no especializados cada vez más grande. Por ejemplo, muchos sistemas para computadoras personales de bajo costo permiten ya mostrar imágenes obtenidas mediante teleobservación, a partir de las cuales es posible digitalizar las características en pantalla. Antes, este tipo de operación requería programas especializados de procesamiento de imágenes y capacitación en técnicas de teleobservación.</p>

No obstante, no hay que subestimar lo que se necesita en materia de capacitación y, además, hay que actualizar continuamente las calificaciones del personal en vista de la rapidez con que evoluciona el mercado de equipos y programas informáticos. Idealmente, la capacitación del personal no debería limitarse a los aspectos básicos de las tareas rutinarias. A largo plazo, convendrá que el personal aprenda conceptos más generales como exactitud de los datos espaciales o las posibilidades del análisis de la información geográfica. Una fuerza laboral más informada, creativa, y mejor motivada, permitirá lograr mejores productos geográficos para los censos.

Diseño de bases de datos,
modelización de datos,
preparación de manuales
de procedimiento

La modelización de datos es el proceso de definir las características que se incluirán en la base de datos, sus atributos y relaciones, así como su representación interna en dicha base. Abarca la creación de modelos conceptuales, lógicos y físicos de la base de datos geográficos de los censos. El resultado incluye un amplio diccionario de datos que define el contenido de las bases de datos que produce el organismo. En algunos casos, otros organismos del país pueden adoptar o adaptar esos diccionarios, por ejemplo, cuando se cuenta con una base nacional de datos topográficos. En otros casos, este diccionarios tiene que crearse a partir de cero. Los recursos que se requieren dependerán de la amplitud que deba tener la base.

Quizás también sea necesario integrar los modelos existentes de bases de datos que se han creado para tratar la información tabular de los censos, lo que por ejemplo ocurre si hay que integrar los datos de censos anteriores en las bases de los SIG.

Además del diccionario, en el manual de procedimiento se definen las etapas que harán de cumplirse para el desarrollo y el procesamiento de los datos espaciales digitales. Estos manuales son importantes para asegurar la consistencia de los productos generados por distintos técnicos o unidades, tal vez dispersos por todo el país. Definen también ciertos análisis periódicos, como los métodos que se usan para conciliar datos de censos anteriores con nuevos límites cuando se han modificado las unidades administrativas.

También deben definirse las normas de exactitud en el proceso global de diseño de la base de datos. Si bien la exactitud no suele ser un tema crítico en los mapas de los censos se usan junto con otros datos de mayor precisión.

Costos de transición

Se incurre en gastos adicionales si los sistemas antiguos y nuevos tienen que funcionar en paralelo durante un período de transición, lo que es necesario para garantizar la calidad del servicio mientras se solucionan los problemas del sistema nuevo. Si hay muchos usuarios que dependen de la entrega puntual de los productos, mantener el sistema antiguo como respaldo es una buena estrategia para un período de transición.

Compra, adquisición
de datos

Parte de la información que se necesita para los mapas de los censos puede obtenerse de fuentes comerciales y de otros organismos que cobran derechos por su utilización. Los datos geográficos auxiliares que describen redes viales, hidrología o altura resultan útiles para los mapas de los censos puesto que los límites deberían determinarse idealmente de modo que se ajusten a características identificables en el terreno. Si esos datos se obtienen de proveedores externos o de otros organismos oficiales se ahorrará tiempo y dinero y habrá una mayor armonía entre los productos de los distintos organismos.

	<p>Además, como se describe en la sección D que sigue, las fotografías aéreas o las imágenes satelitales pueden usarse para facilitar la producción de mapas para los censos. Es posible conseguirlas de proveedores externos o, en el caso de las fotografías aéreas, pueden encargarse a una empresa privada.</p>
Obtención, conversión de los datos	<p>El desarrollo inicial de los datos es, probablemente, la parte más costosa de un proyecto de SIG. El porcentaje que le corresponde en el presupuesto global, junto con la adquisición de datos de proveedores externos, suele estimarse en un 60 a 70%, mucho más que los costos de equipos y programas informáticos.</p> <p>La obtención de datos abarca el trabajo cartográfico en el terreno con técnicas tradicionales o métodos nuevos que se examinarán en otras secciones. La conversión o automatización de los datos, en cambio, se refiere al proceso de crear capas de datos digitales de los SIG a partir de mapas de papel, proceso para el cual hay dos opciones. Los mapas pueden trazarse manualmente usando un digitalizador, o bien se puede escanear todo el mapa generando datos que pueden ingresarse al SIG mediante una ulterior conversión de cuadrícula a vectores. En la sección D se examinan ambos métodos.</p>
Control/ garantía de calidad, validación	<p>Sin importar cuál sea la estrategia de conversión de datos que se escoja, esta tarea exige mucho trabajo y es frecuente que se cometan errores. Por lo tanto, debe incorporarse en el proceso un procedimiento riguroso de comprobación de los datos resultantes, tanto en lo relativo a la exactitud de su posición como a su coherencia lógica. También deben aplicarse procedimientos similares para asegurar la calidad de los productos derivados, como las tabulaciones cruzadas o las superposiciones de SIG. Si el objetivo es lograr una gran exactitud, asignar los recursos en partes iguales a los presupuestados para la conversión de datos y a los de la etapa final de edición y control de calidad no supone asumir una actitud demasiado conservadora.</p> <p>El control de la calidad también se relaciona con la elaboración de normas sobre los metadatos. Un problema importante de los datos digitales es que con frecuencia la documentación está separada de los datos en sí y, por lo tanto, puede perderse con facilidad. Habrá que aplicar procedimientos estrictos para evitar la pérdida de exactitud y de calidad debido a falta de información acerca de cada conjunto específico de datos. Los metadatos deben incluir toda la información pertinente al conjunto de datos, incluso una referencia al mapa fuente, fecha, proyección y escala, etapas de procesamiento del conjunto de datos digitales, linaje de los datos y normas de exactitud. Muchos organismos nacionales de cartografía han creado formatos de metadatos para los datos espaciales digitales que pueden adaptarse a los requisitos de una oficina de estadística.</p>
Mantenimiento del sistema	<p>El mantenimiento del sistema implica actualizar los equipos y programas informáticos, con toda la capacitación que puede requerir tal procedimiento. Con frecuencia se estima que este componente consume alrededor del 10% de la inversión inicial al año, aunque esta cifra variará según la escala y el alcance del proyecto.</p>
Revisión después de la ejecución	<p>Incluso después de realizar un exhaustivo proceso de planificación y un estudio piloto, el sistema se podrá seguir mejorando después de comenzar a usarlo cabalmente. Por lo tanto, puede que sea útil realizar una revisión interna o externa del sistema con el fin de identificar puntos débiles y mejorar la productividad.</p>

No obstante, la creación de una capacidad en lo que se refiere a SIG dentro de un organismo no debe considerarse un proceso lineal, con una fecha final definida con claridad, sino más bien como un proceso continuado de mejoramiento de los procedimientos operativos. En consecuencia, la revisión periódica de la labor del grupo del SIG debe ser parte de las actividades ordinarias.

Elaboración de estrategias de distribución de datos

Si bien cualquiera puede usar las publicaciones impresas de los censos y la mayoría de los usuarios de estos datos digitales tabulares podrán conseguir una planilla electrónica de cálculo o un programa similar, tal vez no les resulte fácil tener acceso a los programas cartográficos o a los SIG que permiten usar los mapas digitales de los censos. Para un aprovechamiento máximo de esos datos, la oficina de censos debería diseñar una estrategia para ayudar a los usuarios a obtener esos programas.

Quizás no sea un gran problema en los países más avanzados, donde los usuarios podrán comparar los programas que se requieren. En los países menos avanzados, hay varias opciones para incrementar la utilización de los datos espaciales digitales, entre ellas, acuerdos de cooperación con un proveedor de programas para reducir el precio de compra o subvencionar la compra con fondos públicos, el desarrollo interno de un visor de datos, y el empleo de programas gratuitos o de dominio público como PopMap (Naciones Unidas, 1997b; y Vu, 1996).

2. Beneficios

2.10. Siguiendo a Worrall (1994), es posible distinguir entre beneficios de eficiencia y beneficios de eficacia. Los primeros implican que, después de un período de transición, puede obtenerse una producción mayor o mejor con la misma cantidad de insumos, o que puede producirse lo mismo con menos insumos. Dichos efectos de eficiencia abarcan el ahorro de costos o los aumentos de productividad y en su mayor parte los realiza la propia organización censal, que puede producir mapas más rápido o con menos recursos que antes. En cambio, la eficacia se refiere al efecto de las políticas y programas que se benefician de la mejor información. Estos beneficios los logran principalmente los usuarios de datos estadísticos derivados de censos de población y vivienda. Por ejemplo, la disponibilidad de mapas demográficos digitales que pueden usarse junto con información ambiental permitirá adoptar decisiones mejores en el organismo a cargo de la protección del medio ambiente de un país. A continuación se examinan los beneficios de eficiencia y de eficacia.

a) Beneficios de eficiencia

2.11. Los efectos de eficiencia se lograrán principalmente recortando o evitando costos y aumentando la productividad por medio de la reducción del tiempo que se necesita para producir un determinado producto. En general, esos beneficios son medibles aunque quizás no se concreten hasta que el proyecto del SIG esté bien avanzado. No obstante, también habrá beneficios si se pueden generar productos de mayor calidad o enteramente nuevos. Por ejemplo, si se produce un mapa digital más preciso que uno realizado manualmente, tal vez no haya ahorro de tiempo o de costos, pero sin embargo habrá un beneficio global. En la lista que figura a continuación aparece una serie de beneficios “tangibles” que se pueden medir y de beneficios indirectos “intangibles”.

Aumento de la productividad y ahorro de tiempo

Después de la inversión inicial para la creación de la base de datos digital, su mejora se puede realizar con mayor rapidez y se pueden generar más y mejores productos con la misma cantidad de personal. Los datos digitales tienen también muchas más aplicaciones en la oficina de estadística, por ejemplo en el establecimiento del marco de muestreo o la combinación de otras capas de datos como la información sobre el uso de la tierra para crear nuevos indicadores estadísticos. Es posible imprimir de inmediato copias de los mapas actualizados, sin pasar por la tediosa etapa del trazado manual. Esto permite también que la

	<p>oficina nacional de estadística responda con mayor prontitud a las variables demandas y necesidades de los usuarios de datos.</p>
Evitación y ahorro de gastos	<p>Reemplazar un técnico que elabora manualmente series de datos cartográficos por un operador de computadora puede significar —después de un período transitorio de capacitación— que se necesitará menos personal, con el consiguiente ahorro de gastos. En forma similar, los mapas digitales de los censos pueden adaptarse con mayor facilidad a otros fines, como los censos agrícolas o económicos o encuestas muestrales de propósito específico.</p> <p>Los mapas digitales que utilizan la teleobservación pueden resultar más económicos que un exhaustivo trabajo en el terreno, sobre todo en esferas que experimentan una rápida evolución, en las que es difícil preparar a tiempo los mapas, o en zonas remotas de acceso difícil. De igual modo, la confección de los productos —sobre todo los especiales de escaso volumen— será menos costosa si se usa una base de datos censales digitales en lugar de técnicas manuales.</p> <p>Los datos de los mapas digitales se archivan en forma más segura que de los mapas de papel puesto que es sencillo y económico producir múltiples archivos de reserva que pueden guardarse en otros lugares. Estos archivos de reserva también necesitan menos espacio para su almacenamiento que una gran colección de mapas de papel.</p>
Mayor credibilidad y autoridad de los productos cartográficos	<p>Aparte de la mayor productividad y el ahorro general de gastos, los mapas digitales facilitan las operaciones censales en otras varias formas. Por ejemplo, las técnicas digitales permiten confeccionar un número reducido de mapas de empadronamiento de aspecto profesional, que merecen más confianza que los trazados a mano entre el gran número de empleados temporeros tomados para los censos.</p>
Mejor servicio	<p>Los datos digitales permiten elaborar los productos estándar de los censos en menos tiempo. Por ejemplo, si ya se han creado digitalmente los mapas de las zonas de empadronamiento, es posible vincular de inmediato los datos tabulados para producir mapas temáticos.</p> <p>En forma similar, se pueden confeccionar con rapidez productos para propósitos especiales como los mapas, o agregaciones especiales de los datos censales. Los productos cartográficos especiales no pueden elaborarse en forma eficiente en función de los costos en pequeños volúmenes si se usan técnicas manuales. Con las técnicas digitales es posible producir con rapidez y en forma económica incluso una o dos copias de un mapa que solicite un cliente de la oficina de censos.</p>
Mayor exactitud	<p>El enfoque digital fomenta una exactitud mayor que los mapas boceto, exactitud que permite lograr mejores productos y realizar una mayor diversidad de aplicaciones. Algunas técnicas digitales como las ortofotos tienen un mayor grado de exactitud “intrínseca”. En el caso de los censos, la mayor exactitud de los mapas tiene como resultado una definición más exacta de las zonas de empadronamiento, lo que reduce los errores como las omisiones y duplicaciones de los conteos debidas a una demarcación imprecisa de los límites.</p>
Mayor consistencia	<p>Análogamente, es probable que una base de datos digital cubra sin fisuras la totalidad del país, lo que asegurará un mayor grado de consistencia que es importante, por ejemplo, si se da un nuevo ordenamiento a las unidades censales.</p> <p>También es más fácil incorporar metadatos en una base de datos digital. Por ejemplo, se han creado sistemas que siguen las operaciones de las bases de datos de los SIG digitales, de modo que el producto final de esas operaciones vendrá</p>

acompañado de una cabal descripción del linaje de datos y los procedimientos que se han usado. O bien es posible introducir un sistema en el cual el operador tiene que llenar un formulario de metadatos diseñado previamente cuando se modifica un conjunto de datos o cuando se agregan otros nuevos al archivo. En un sistema tradicional manual es más difícil realizar estos procedimientos.

La elaboración totalmente digital de mapas censales asegurará también que hay una plena concordancia de los límites usados para la reunión de datos y los empleados para la elaboración de los productos, ya que ambos provienen de la misma base de datos digitales.

Generación de ingresos

Puesto que los datos de los mapas digitales permiten una gama mucho más amplia de aplicaciones, en muchos países del mundo se ha creado un mercado para estos productos. Entre los usuarios de datos del sector privado cabe mencionar a las empresas de comercialización, los bancos, las compañías de bienes raíces, los prestadores de servicios de salud, las organizaciones ambientales y las instituciones académicas. El precio moderado que tienen esos productos aumenta la diversidad de aplicaciones, permite lograr grandes volúmenes con costos de producción más bajos y apoya a un floreciente mercado secundario de servicios cartográficos asociados.

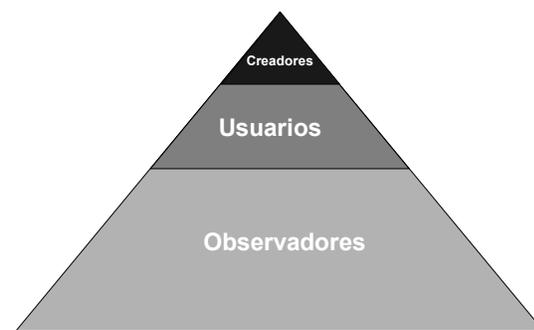
En cambio, si se intenta recuperar la totalidad de los costos mediante altos precios y aplicando estrictamente los derechos de autor, los usuarios casuales y los que trabajan sin fines de lucro quedan excluidos del mercado y la posibilidad de acceso a esos datos se limita a unos pocos usuarios comerciales en buena posición. Tal como lo demuestra lo ocurrido en varios países, todavía no se ha resuelto el conflicto que se plantea entre el aumento de la presión para generar un ingreso máximo y el beneficio general para la sociedad que significan unos datos de bajo costo y fácil acceso.

b) Beneficios de eficacia

2.12. Los beneficios de eficacia se derivan del efecto que tienen los datos de los SIG digitales en la labor de otras instituciones oficiales, organizaciones académicas o sin fines de lucro y el sector privado. Las necesidades de los usuarios son variables. Rajani (1996), por ejemplo, examina dos modelos de segmentación del mercado empleados por los proveedores de SIG. En el primero, el mercado se divide según el grado de perfeccionamiento del usuario. Los “creadores” son las personas que ingresan, mantienen y crean datos digitales espaciales, realizan análisis y desarrollan modelos complejos y se caracterizan por usar programas avanzados de SIG en computadoras poderosas. Los “usuarios” constituyen la categoría intermedia y realizarán análisis básicos como la combinación de varias capas para crear tabulaciones cruzadas. Por último, los “observadores” utilizarán los datos espaciales para realizar tareas básicas como la confección de mapas temáticos y las consultas en una base de datos ya existente. Se estima que la cantidad de “observadores” es mayor que la de “usuarios” y ésta, a su vez, mayor que la de “creado

res” y siempre en un orden de magnitud. El otro modelo de segmentación del mercado se basa en el costo y la capacidad de los programas informáticos, que van en aumento constante a partir de los mapas básicos, los mapas por computadora, los SIG informáticos (que permiten creación de datos y análisis sencillos) y los SIG profesionales totalmente funcionales.

Gráfico II.2. Segmentación del mercado de los SIG
(según Rajani, 1996)



2.13. Muchos usuarios no comprenden el cabal potencial de los datos censales. Puesto que tradicionalmente

esta información se ha presentado en forma muy agregada en publicaciones impresas, muchos usuarios que

podrían beneficiarse de las estadísticas digitales detalladas de zonas pequeñas no tienen suficientes antecedentes como para darse cuenta de cómo estos datos pueden facilitar su labor. Los seminarios de divulgación y las publicaciones preparadas o contratadas por las oficinas de censos que se concentran en el uso de los datos tal vez ayuden a expandir la base de usuarios y, en consecuencia, los beneficios indirectos que supone la realización de un censo. Un buen ejemplo de este tipo de publicación es *Census Users' Handbook*

(Openshaw, 1995) que se ocupa del censo de 1991 del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte.

2.14. A continuación se enumeran los beneficios de eficacia que pueden lograr los usuarios de los datos y, en cierta medida, también la oficina de censos. Sólo algunos de estos beneficios pueden cuantificarse en ahorro de tiempo o de dinero o en un aumento de la productividad (véase, también, Nordisk Kvantif, 1987 y 1990), pero la mayoría son más indirectos. Por ejemplo, una mejor visualización o análisis quizás no ahorre necesariamente tiempo o dinero, pero permitirá una mejor percepción y comprensión y, por ende, la adopción de mejores decisiones.

Análisis mejores

La finalidad de los datos estadísticos compilados y publicados por una oficina de censo es apoyar, en el país, la planificación y la adopción de decisiones. Los mapas temáticos basados en estadísticas derivadas de los censos sirven de base analítica para una gama más grande de aplicaciones de política pública. Los mapas, combinados con cuadros y gráficos estadísticos, dan otra dimensión al análisis de datos que nos acerca un paso más a la visualización de las complejas modalidades y relaciones que caracterizan a la planificación y a los problemas de política del mundo real.

Por ejemplo, el hecho de que la mortalidad infantil alta se agrupe en una serie de zonas de empadronamiento puede indicar que alguna condición ambiental ha provocado esta distribución. Las altas tasas de fecundidad en otro conjunto de regiones pueden revelar una preferencia cultural por las familias grandes. Es posible usar esta información para adaptar los programas de divulgación de la planificación familiar. La visualización de distribuciones espaciales también facilita el análisis de las variaciones, que es importante para vigilar los indicadores sociales. Esto, a su vez, debería permitir una mejor evaluación de las necesidades. En pocas palabras, la disponibilidad de estadísticas y otras informaciones con referencias espaciales y las funciones que ofrece un SIG permiten realizar análisis que antes eran demasiado costosos o imposibles.

Mejor formulación de políticas

Los mejores análisis deberían, a su vez, perfeccionar la formulación de políticas. Por ejemplo, las bases de datos estadísticos de los SIG son útiles para elegir el emplazamiento que tendrán ciertos servicios públicos como hospitales, estaciones de bomberos o escuelas, o para evaluar las distintas hipótesis de planificación. Las capas de datos de SIG auxiliares, combinadas con los datos estadísticos de zonas pequeñas, pueden utilizarse para focalizar las intervenciones orientadas a aliviar la pobreza o reducir los desequilibrios económicos en un país.

Los SIG, combinados con modelos de simulación o estadísticos, también pueden usarse para desarrollar hipótesis del tipo “qué pasa si” y apoyar las decisiones de asignación de recursos. Por ejemplo, después de estimar una relación econométrica entre algún indicador que interese y varias variables explicativas que pueden ser afectadas por las políticas, podemos estimar el efecto de una cantidad de políticas diferentes (como un aumento dado del gasto per cápita en educación) en los poblados o zonas de empadronamiento. Los SIG nos permiten dar una perspectiva espacial a los resultados y determinar dónde será mayor el impacto. Es evidente que esto fomenta el enfoque desagregado en el análisis de políticas. En lugar de considerar solamente los efectos generales, se prefiere concentrarse en las zonas en que hay mayor necesidad.

Mejor intercambio de información	La conversión de los datos a una forma digital debería permitir una mejor coordinación e intercambio de información entre los organismos oficiales (Batty, 1992), intercambio que también debería tener como resultado una mayor armonización entre los productos derivados que son creados por otras organizaciones. Para materializar estos beneficios, habrá que establecer convenios claros de colaboración entre organismos asociados dentro del Estado, que cubrirán la contabilidad de costos que se necesite y otros aspectos, como formato de los datos, normas de exactitud y definiciones de contenido.
Mejor divulgación	Otro beneficio que no debe subestimarse es el hecho de que las representaciones gráficas de los datos suelen ser más atractivas y suscitar más interés que los cuadros que contienen únicamente cifras. Una de las principales razones para el éxito de los SIG es, sin duda, el gran atractivo de un lindo mapa, que también ayuda para que la labor de la oficina de estadística sea más accesible, mejore la divulgación y se conozcan mejor los beneficios de la realización de un censo.

3. Factores decisivos para el éxito

2.15. Además de los costos obvios que pueden cuantificarse para un proyecto dado de SIG, hay varios obstáculos que pueden hacer que un proyecto fracase o no realice plenamente su potencial. En su mayor parte, esos problemas se conectan con la falta de planificación, la elección de equipos y programas informáticos inadecuados y varios errores de organización. El examen de proyectos de SIG en el mundo real revela un conjunto de características que comparten los proyectos ejecutados con éxito. La ausencia de estos factores, a su vez, también señala posibles razones para el fracaso de tales proyectos. La lista de los factores decisivos para el éxito, que figura a continuación, ha sido adaptada y ampliada de la de Johnson (1997):

1. Una persona clave que promueva el desarrollo de los SIG dentro de la organización.
2. El apoyo de los altos niveles de administración.
3. La decisión de invertir en los SIG se fundamenta en las necesidades y los problemas por resolver antes que en la existencia de la tecnología.
4. Una planificación detallada estratégica, operativa y administrativa basada en una evaluación realista de los costos y esfuerzos.
5. Metas y objetivos claros definidos para el departamento de SIG.
6. Instrucción y capacitación en SIG para los empleados y administradores afectados.
7. Continuidad del personal —la capacidad para retener funcionarios especializados.
8. No tratar a los SIG como un agregado independiente sino como parte integral de la estrategia global de gestión de la información.
9. Realización de una evaluación de las necesidades de los usuarios y definición a priori de los productos.
10. Establecimiento de acuerdos de cooperación con otros interesados.
11. Un plan de ejecución claro.
12. Un plan de financiación definido a largo plazo, con recuperación de costos y estrategias de precios para los datos.
13. Estimaciones exactas de costos de mantenimiento y otros conexos.
14. Procedimientos explícitos de operación que establezcan el uso de los recursos SIG.
15. Procedimientos bien establecidos de control/garantía de calidad.
16. Especificaciones, requisitos y referencias claras para que el trato con proveedores y contratistas sea eficaz.
17. Contratos bien definidos por escrito con proveedores, consultores, asociados y clientes dentro y fuera del Estado.
18. Terminación de un proyecto piloto para probar si los equipos, programas y procedimientos son apropiados.
19. Determinación de etapas y entrega de productos en plazos cortos para fomentar el cumplimiento de cronogramas establecidos previamente.
20. Divulgación y comercialización, incluidos los éxitos publicados.

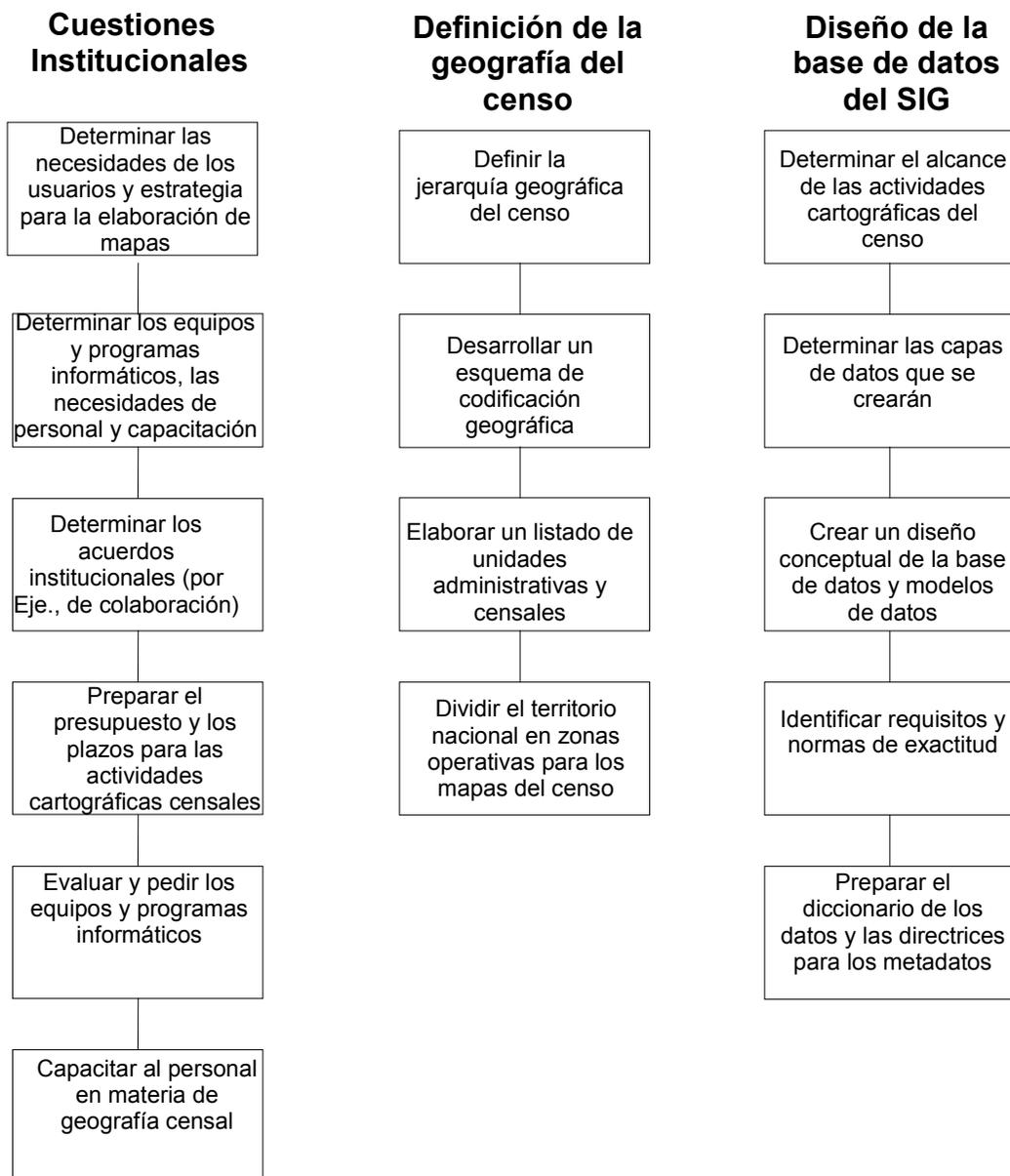
C. Planificación del proceso cartográfico de un censo

1. Panorama general

2.16. En la presente sección se examinan las tareas preliminares de organización de un proyecto cartográfico censal y aspectos críticos del diseño que determinan la índole de las bases de datos resultantes y, por lo tanto, la gama de aplicaciones que podrá tener. El éxito del

proceso de conversión de los datos depende de que haya un entorno institucional bien concebido y una estrategia de operación bien planificada. Las etapas de planificación están divididas en aspectos institucionales como personal y cooperación con otros organismos, la definición de la geografía del censo y el diseño de la base de datos de los SIG. Como se ve en el gráfico II.3, estas etapas pueden cumplirse en forma más o menos simultánea y muchas de las opciones dependen también de la estrategia de conversión que se escoja.

Gráfico II.3. Etapas de planificación del trabajo cartográfico de un censo



2. Evaluación de las necesidades y determinación de las opciones cartográficas

a) Evaluación de las necesidades de los usuarios

2.17. Una de las primeras etapas en un proyecto cartográfico censal es realizar una evaluación detenida de las necesidades, seguida por una investigación de las opciones cartográficas factibles para el censo. El organismo encargado de los mapas de los censos debe conciliar luego las expectativas de los usuarios con lo que resulta factible, dados los recursos disponibles.

2.18. Un satisfactorio proceso de planificación de un censo requiere detenidas consultas con los usuarios principales de la información que éste producirá. Este proceso debe estar incorporado al programa de consultas generales sobre el censo (véase Naciones Unidas, 1998; párrafos 1.73-1.76 en los que se examinan en detalle estas cuestiones). A medida que aumenta la demanda de datos censales con referencias espaciales, las consultas referidas a los mapas que se prepararán asumirán un papel más destacado en este proceso. Las instituciones que usan mapas estadísticos deben participar entonces en los grupos asesores que hacen su aporte a este proceso de planificación.

2.19. Según Naciones Unidas (1998), la oficina de censos debe consultar a tres grupos principales durante las etapas de planificación:

a) Los usuarios de los mapas de los censos. Serán principalmente funcionarios de otros departamentos oficiales, los investigadores académicos y el sector privado;

b) Personas e instituciones que participan en las operaciones censales. A fin de obtener información completa sobre los recursos y los posibles obstáculos, el organismo cartográfico censal debe realizar una encuesta exhaustiva de los recursos humanos disponibles en el país, los equipos que pueden usarse, los mapas analógicos y digitales existentes y las actividades en realización o planeadas por otras entidades públicas y privadas. Es fundamental evitar la duplicación de esfuerzos para reducir el costo de los mapas censales y entregarlos oportunamente;

c) El público en general. No obstante, en vista del acceso a las computadoras y a las opciones cartográficas de Internet, los usuarios privados también llegarán a representar un grupo importante. Por ejemplo, quizás los ciudadanos quieran obtener información estadística sobre su propio vecindario o algún otro al que prevén mudarse. Habida cuenta de la rápida evolución de la tecnología, la oficina de censos debe planear con cuidado de modo de prever la demanda de datos que

ayer no existía, hoy quizás no se perciba pero tal vez mañana sea corriente y moliente.

b) Determinación de los productos

2.20. Las necesidades de los usuarios determinarán la gama de productos que habrá que obtener al final del ciclo cartográfico del censo. Los productos creados por el organismo que se ocupa de estas labores, y que se examinan con más detalle en el Capítulo III, pueden incluir:

- Un conjunto de mapas digitales de zonas de empadronamiento diseñados de forma de permitir la elaboración de todos los productos que se distribuirán a los departamentos oficiales y al público;
- Archivos de los límites geográficos para todas las unidades informantes estadísticas para las cuales se tabularán los indicadores censales;
- Un listado de todas las unidades informantes estadísticas y administrativas, incluidas las ciudades y poblados;
- Archivos de equivalencia geográfica que indican la forma en las unidades informantes actuales se relacionan con las de censos anteriores, o la forma en que se relaciona un conjunto de unidades informantes con otro;
- Un listado de las calles de todas las principales zonas urbanas;
- Archivos centroides que establecen como referencia un punto geográfico representativo para cada unidad informante;
- Nomenclátors que proporcionen las coordenadas geográficas de todos los asentamientos y otras características geográficas importantes del país.

2.21. Las necesidades de los usuarios son los determinantes más importantes del diseño de los mapas de un censo, pero habrá que ponderarlas en función de los recursos disponibles. Varios otros factores determinan la elección de la estrategia que se seguirá para la elaboración de mapas. Entre ellos, cabe mencionar

- Los recursos humanos y financieros disponibles;
- Los mapas analógicos y digitales existentes;
- El grado de integración de los organismos cartográficos y estadísticos del país;
- La capacidad técnica de la oficina de estadística y organismos que colaboran;

- Las ventajas y desventajas de usar tecnología que puede demandar divisas y crear dependencia del exterior o bien aumentar el empleo de mano de obra de escaso nivel tecnológico que puede significar un estímulo beneficioso para las economías locales;
- El tamaño del país;
- El tiempo disponible para planear y cumplir el proceso de elaboración de los mapas censales.

c) Opciones cartográficas

2.22 Cada país comenzará sus actividades cartográficas censales partiendo de una base distinta de información, presupuestos, capacidad técnica y tiempo disponible. *Por lo tanto hay una multiplicidad de rutas que llevan a una base de datos cartográficos totalmente digital para fines de reunión de datos censales y su divulgación.* Una lista parcial de las opciones disponibles —en orden de complejidad creciente— figura a continuación:

- Producción de mapas digitales rudimentarios creados sobre la base de los mapas boceto existentes;
- Mapas de zonas de empadronamiento con referencias geográficas que pueden integrarse con otras bases de datos geográficos digitales;
- Inclusión de capas de referencias geográficas que muestren, por ejemplo, caminos, ríos y otras características geográficas, que pueden incluirse como imágenes simples de mapas escaneados y diseñarse como una base de datos vectoriales estructurada;
- Un registro digital de direcciones postales que pueda ajustarse en forma automática o semiautomática a las bases de datos viales digitales;
- Una base de datos digitales de unidades habitacionales ubicadas con precisión, creada con la ayuda de sistemas de determinación de la posición geográfica.

2.23. La lista anterior sólo se da a modo de ilustración. Todas estas cuestiones se examinan en detalle en el resto de este manual. La mejor estrategia cartográfica censal para un país será un enfoque específico que tome en cuenta sus necesidades y sus recursos. Puesto que entonces no es factible recurrir a un método que estipule lo que se debe hacer paso por paso, en el presente manual se analizará la diversidad de opciones técnicas y logísticas disponibles. La oficina de censos debe elegir, entre estas, el subconjunto de técnicas y

procedimientos que mejor se adecue a las necesidades del país.

3. Aspectos institucionales del establecimiento de un programa de cartografía digital

a) Necesidades de personal, responsabilidades y capacitación

2.24. Contar con un personal debidamente motivado y capacitado es un factor clave que determinará el éxito o el fracaso de un proyecto de mapas censales digitales. Los objetivos de este tipo de proyecto son similares, cualquiera sea método de elaboración de los mapas: a mano o por computadora. Pero si se usan computadoras, el personal necesita varias especializaciones nuevas, ya que se crean productos similares usando técnicas distintas (véase Broome y otros 1995). Además, una base de datos digitales de SIG es útil para muchos otros propósitos. Es probable, entonces, que la oficina de censos tenga que satisfacer demandas adicionales de productos y servicios que antes no existían. Todo el personal que se dedica a la cartografía censal tiene que tener, en consecuencia, ciertos conocimientos de computación.

2.25. Gran parte de la especialización que se necesita cuando se elaboran manualmente los mapas tradicionales también sirve en un proyecto de cartografía digital. En lugar de reemplazar totalmente las especializaciones que ya se usan, este tipo de cartografía requiere conocimientos adicionales de métodos de computación, pero son pocos los conocimientos de cartógrafos y geógrafos que resultan obsoletos y, por ende, las demandas de especialización de sus tareas han aumentado. Por ejemplo, los cartógrafos que tienen una formación tradicional ya no necesitarán algunas de las técnicas de la elaboración manual de mapas como inscripciones, marcas o dibujos con lápiz o lapicera. En cambio, después de haberse capacitado en métodos de computación, tendrán que usar sus conocimientos de diseño de mapas y comunicación cartográfica para producir una zona de empadronamiento bien diseñada o mapas temáticos usando un SIG o un programa de cartografía informática. A menudo es más fácil entrenar a un especialista en técnicas informáticas que capacitar a un experto en computación en otras aplicaciones sustantivas.

2.26 En los párrafos que siguen se detallan las tareas que requieren personal en un proyecto de cartografía digital para un censo. Puede que el personal de la oficina de censos esté capacitado para realizar varias de las tareas, según sea necesario, en las distintas etapas de un proyecto censal.

2.27. *Planificación.* En las primeras etapas del proyecto, debe formarse un grupo de personas que establecerán la estrategia global para la elaboración de mapas censales digitales. Se necesita gente especializada en geografía, SIG y aplicaciones informáticas, que tenga experiencia en cartografía censal. Además del personal de la oficina de censos, el grupo puede incorporar también a representantes del organismo nacional de cartografía y otras organizaciones oficiales interesadas, grupos de usuarios de los datos o consultores externos. Los asesores técnicos de las organizaciones de estadística de países que ya usan la cartografía digital para los censos o de los organismos internacionales deberían participar en el proceso de planificación porque su aporte puede ser útil.

2.28. *Dirección del proyecto.* El proceso de planificación estará dirigido por el jefe del proyecto, quien también supervisará la aplicación de la estrategia de cartografía digital del censo. El jefe de proyecto debe tener formación académica en geografía, informática o una disciplina similar y conocimientos de SIG y mapas digitales. También es muy conveniente que tenga experiencia en cartografía censal, preferentemente adquirida en un empadronamiento anterior en el país. Se necesita experiencia o capacitación administrativa para supervisar el presupuesto, el personal y la programación. Si tiene buenas aptitudes de comunicación se facilitará la cooperación con las otras partes del proyecto y los organismos que colaboran. El jefe de proyecto también tiene que estar actualizado en materia de adelantos y tendencias de los SIG, y debe estar preparado para adaptar la estrategia cartográfica del censo si se modifican las condiciones o aparecen soluciones mejores.

2.29. *Conversión de los datos de los SIG.* Los especialistas en esta tarea, que son responsables de la realización efectiva de la conversión de la información contenida en un mapa a un formato de base de datos digitales, están especializados en las técnicas de los SIG tales como digitalización, escaneo y edición de estas bases y la creación de las de atributos usando sistemas de gestión de bases de datos relacionales. Los especialistas en conversión de datos deben determinar cuál es la forma más eficiente de crear la base de datos digitales y supervisar al personal técnico.

2.30. *Diseño cartográfico.* Los cartógrafos tendrán a su cargo el diseño de todos los mapas, incluidos los de zonas de empadronamiento, de supervisión y temáticos de los resultados censales. Deben tener antecedentes en diseño de mapas y comunicación cartográfica, así como formación en SIG y mapas digitales. Un cartógrafo con una formación clásica tendrá casi todas las aptitudes

necesarias, pero deberá recibir suficiente capacitación en métodos de computación.

2.31. *Trabajo en el terreno.* Los requisitos en cuanto a este tipo de trabajo han variado en razón de las técnicas que se usan para la producción de mapas digitales. Como los sistemas mundiales de determinación de la posición se han convertido en un instrumento esencial para reunir datos en el terreno, el personal debe estar capacitado para manejar estos sistemas y posiblemente también en la utilización de computadoras portátiles para bajar y mostrar estos datos en el terreno. Aunque no es necesario tener conocimientos profesionales de geografía o agrimensura, este personal debe capacitarse debidamente en el empleo correcto de los nuevos instrumentos.

2.32. *Digitalización de los mapas.* La digitalización es una tarea sumamente repetitiva y la especialización técnica la puede adquirir con relativa rapidez cualquier persona aunque no tenga una formación profesional en geografía o una disciplina similar, pero requiere mucha concentración, que se preste atención a los detalles y que se comprenda bien la estructura de las bases de datos geográficos digitales. A los mejores habrá que enseñarles métodos de control/garantía de calidad.

2.33. *Administración de los sistemas.* La finalización en la fecha debida de un proyecto cartográfico digital para un censo depende del funcionamiento sin fallas de los equipos informáticos. Hay un administrador de sistemas que tiene a su cargo el mantenimiento de los equipos y programas informáticos con el fin de minimizar el tiempo en que no funcionan, ayudar la personal de cartografía y garantizar la seguridad de los datos (por ejemplo, copias auxiliares). Aunque no participan directamente en las actividades cartográficas censales, los administradores de sistemas son miembros esenciales del equipo, puesto que casi todos los aspectos de esta labor dependen del buen funcionamiento del sistema informático. La administración de los sistemas de computación para el sector de geografía de la oficina de censos puede estar a cargo, en algunos casos, del personal de apoyo informático del organismo.

2.34. *Requisitos especiales.* Según la estrategia cartográfica que se adopte, quizás se necesite incorporar otras especializaciones en la organización encargada de la cartografía censal. Por ejemplo si se usan mucho los productos de la teleobservación cuando se actualizan los mapas censales, debe haber alguien en el personal que esté especializado en análisis de imágenes digitales. Quizás también se necesiten otros especialistas en sistemas grandes de escaneo de mapas o en programas de gestión de bases de datos y programación informáti-

ca. Estas especializaciones son útiles para desarrollar las bases de datos de atributos y adaptar los programas de computación.

2.35. *Niveles de capacitación.* En muchos países puede haber escasez de expertos en SIG que puedan contratarse temporal o permanentemente para el proyecto de mapas censales. Por lo tanto, la oficina de censos debe evaluar las opciones de capacitación para asegurar que los funcionarios nuevos y veteranos tienen los conocimientos que se requieren para terminar satisfactoriamente el proyecto. Por lo general, el personal que tiene formación en las técnicas geográficas tradicionales y algunos conocimientos de computación, no tendrá mucha dificultad, con cierta capacitación específica, en adaptarse a las técnicas digitales. Los tipos de capacitación diferirán según las distintas finalidades:

- Deben realizarse seminarios cortos para hacer conocer el programa de cartografía digital a todo el personal de la oficina de censos, incluido el de otras secciones. Esto intensificará la integración del proyecto de cartografía digital en el proceso general del censo. Otro beneficio de una amplia divulgación de información será una mejor utilización de los productos cartográficos por otros departamentos censales. Los seminarios pueden estar a cargo del jefe del proyecto o de los especialistas en cartografía censal.
- La capacitación en tareas repetitivas como la digitalización o edición puede requerir seminarios internos cortos, seguidos por formación en el trabajo. Los productos desarrollados por el nuevo personal deben examinarse con suma atención para identificar si necesitan más capacitación, instrucciones o si hay que asignarle una tarea distinta.
- El grupo básico de geógrafos que trabaja en mapas censales debe recibir capacitación adicional en SIG y técnicas cartográficas digitales. Puesto que se trata de una tarea costosa, solo el personal permanente debe asistir a los cursos que ofrecen las universidades, proveedores u otras organizaciones del país o del extranjero y los que han recibido esta formación deben capacitar al resto del personal. Es posible formar a un número grande de personas usando un método jerárquico de “capacitación de instructores”, que resulta especialmente apropiado en el caso de que se aplique un enfoque descentralizado a la cartografía censal.
- Las aplicaciones de técnicas especializadas como el procesamiento de imágenes digitales o aplicaciones avanzadas de bases de datos informáticas por lo general requieren un título profesional o experiencia

equivalente. Si no se puede contratar el personal apropiado, la oficina de censos debe considerar, con suficiente antelación a la iniciación en sí del proyecto, el envío de un miembro de su personal a una universidad. Hay varias universidades e institutos de capacitación en distintas partes del mundo que se especializan en la actualidad en cursos de grado profesionales de uno o dos años de duración en SIG, teleobservación y técnicas conexas.

b) *Cooperación institucional*

i. *Compatibilidad con otros departamentos oficiales*

2.36. En muchos países son varios los organismos oficiales que producen bases de datos geográficos digitales. Los organismos cartográficos nacionales usan cada vez más las técnicas digitales para la totalidad del proceso de elaboración de un mapa. Pero otros departamentos oficiales, como los de transporte, salud, medio ambiente y recursos hídricos, también usan los SIG para manejar la información que reúnen y que usan para el análisis y la planificación. Además, las empresas privadas, por ejemplo las de servicios públicos, telecomunicaciones y minería, han notado que les resulta ventajoso atender sus necesidades de información en forma geográfica digital.

2.37. Numerosos usuarios, dentro y fuera de los organismos oficiales, necesitan tener acceso a estas bases de datos geográficos básicos y muchos de ellos deben tenerlo a varias de estas bases o usar una capa de datos geográficos estándar como plantilla para poder reunir sus propios datos espaciales. Estas capas estándar que sirven de base para muchas actividades cartográficas y de reunión de datos, suelen denominarse *datos marco* (FGDC, 1997a; y Rhind, 1997). En los Estados Unidos, por ejemplo, las capas básicas que forman el marco espacial nacional abarcan:

- *Control geodésico* – un sistema de puntos de control geográficos determinados con precisión que sirven como referencia para todas las actividades cartográficas de un país; suele llamárselo también puntos de referencia;
- *Ortoimágenes* – fotografías aéreas o imágenes satelitales de gran resolución que se han procesado para lograr la misma exactitud geométrica que tiene un mapa topográfico;
- *Altura*;
- *Transporte* – infraestructura utilizada para trasladar personas o mercancías;

- *Hidrografía* – aguas superficiales, que pueden ser naturales como los ríos o lagos, o artificiales como los canales;
- *Unidades oficiales*;
- *Información catastral* –un registro oficial de los derechos e intereses en lo relativo a propiedad de tierras.

2.38. A esta lista pueden agregarse otras capas de datos básicos como tipos de suelo, zonas con vegetación e información acerca de la planificación. Para la oficina de censos las unidades oficiales son muy importantes, ya que las zonas de empadronamiento tienen que concordar con los límites que constituyen la jerarquía administrativa del país. Pero para los mapas censales también son importantes las capas de datos como transporte e hidrografía porque los caminos y los ríos sirven de demarcación natural de las zonas de empadronamiento. Y a la inversa, los límites de las zonas de empadronamiento que tienen información censal son una importante fuente de datos para otras organizaciones oficiales y privadas. Por ejemplo, el análisis del sector de la salud requiere información detallada sobre la población en riesgo. La planificación del sector del transporte necesita datos sobre la demanda de servicios de transporte público. Y las empresas estatales y privadas de servicios públicos deben saber dónde habrá que prestar más servicios de electricidad, abastecimiento de agua o telecomunicaciones.

2.39. El concepto de una infraestructura nacional de datos espaciales integrada por bases de datos de SIG con referencias geográficas tiene dos repercusiones para las actividades relacionadas con los mapas censales:

- La oficina de censos es responsable de aportar a la infraestructura nacional de datos espaciales un conjunto consistente en unidades informantes que concuerde con la jerarquía administrativa y al que pueda vincularse la información socioeconómica y otros datos relacionados. A fin de asegurar que estos mapas de los censos pueden integrarse en otras fuentes de datos, la organización que se encarga de ellos debe adherir a todas las normas nacionales sobre datos geográficos.
- A fin de asegurar la compatibilidad con otros conjuntos de datos y facilitar la elaboración de mapas censales, las autoridades encargadas deben colaborar estrechamente con otros organismos oficiales que intervienen en actividades cartográficas. Aparte de asegurar normas y definiciones uniformes, la colaboración permitirá reducir los

costos porque ayuda a evitar la duplicación de esfuerzos.

ii. Normas

2.40. A fin de facilitar el intercambio de datos entre los usuarios evidentemente es indispensable coordinar la creación de bases de datos geográficos. En varios países se han formado comités nacionales para este fin, integrados por personas que cumplen tareas de importancia en el desarrollo de datos espaciales. Además, hay organismos supranacionales, como la European Umbrella Organization for Geographic Information (EUROGI), el Comité Permanente Regional sobre la Infraestructura de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de Asia y el Pacífico, la Comisión Europea y la Organización Internacional de Normalización (ISO), que están trabajando en la definición de normas para los datos geográficos (véase Open GIS Consortium, 1996; Heine, 1997; Moellering y Hogan, 1997; y Rhind, 1997).

2.41. Lamentablemente, semejante multitud de actores ha dado lugar a la aparición de un confuso conjunto de definiciones y normas. Por lo tanto, para un organismo es difícil decidir cuáles son las directrices más apropiadas al elegir una definición de una característica geográfica, el formato de los datos, los metadatos y las plataformas informáticas. Estas cuestiones se examinan en más detalle en la sección iv) que sigue.

iii. Colaboración

2.42. En el proceso de elaboración de un mapa digital para un censo, la organización censal puede tener la opción de colaborar con otros organismos oficiales o con el sector privado. Ambas opciones se han utilizado con buenos resultados en distintos países. Entre los organismos oficiales, el punto más natural para el primer contacto es el organismo nacional que se ocupa de la cartografía, pero hay otros que también pueden aportar recursos o estar interesados en compartir el costo que significa crear una base de datos censales de alta calidad. Entre los organismos del sector privado, los proveedores de equipos y programas informáticos pueden apoyar los aspectos técnicos del proceso de elaboración de mapas censales, sea por contrato con la oficina de censos o mediante un acuerdo de participación en los costos que permita a la empresa recuperar la inversión por medio de la venta de bases de datos censales con referencias espaciales. Cabe mencionar, sin embargo, que la colaboración con otros organismos es conveniente pero no obligatoria. Puesto que la organización cartográfica debe producir una base para el censo en un momento dado,

tiene que evitar depender por completo de un proveedor externo de información para los mapas.

2.43. Toda asociación o colaboración debe basarse en una intención compartida y un convenio bien definido. Es menester especificar los siguientes elementos del acuerdo de cooperación o carta de entendimiento (adaptados de FGDC, 1997a):

- Formalización. ¿Es suficiente una colaboración no estructurada o los acuerdos han de ser muy formales?. Para llegar a un acuerdo más formal se necesitará más tiempo, pero con él se pueden evitar desacuerdos posteriores sobre los derechos y responsabilidades en cuanto al desarrollo y utilización de los datos producidos. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, debería haber una carta de entendimiento oficial y vinculante entre la oficina de censos y el organismo de cooperación que cubra todos los aspectos pertinentes de la asociación. Estos acuerdos contractuales oficiales son obligatorios cuando se trata con proveedores privados de datos o servicios.
- Alcance de la asociación. Los acuerdos de colaboración pueden cubrir meramente el uso de los datos de otro organismo o la creación de una base grande e integral de datos espaciales a partir de cero.
- Responsabilidades. ¿Quién se ocupará de determinadas tareas y funciones? Los puntos que deben decidirse son, entre otros, creación de datos, mantenimiento, acceso a los datos, supervisión del proyecto y uso de los recursos.
- Beneficios. Es evidente que el acuerdo debe ser beneficioso para todos los participantes, a menos que un organismo meramente compre los servicios a otro. Es útil aclarar cuáles son las ventajas para los distintos asociados a fin de dividir debidamente las tareas y responsabilidades.
- Necesidades en materia de recursos. Los recursos son, entre otros, el personal, el entorno informático, los materiales y las comunicaciones. También deben considerarse los que se necesitan para la administración y supervisión del proyecto.

- Participación en los costos. Todos los costos directos e indirectos vinculados a las actividades de la asociación deben dividirse objetivamente. Quizás la contabilidad no sea sencilla porque las contribuciones pueden ser en efectivo, datos, trabajo, uso de equipos u otras cosas.
- Recuperación de los costos. Si se generan ingresos a partir de la distribución de los productos finales, es necesario compartirlos, tomando en cuenta los costos incurridos al administrar y operar la distribución de los datos. Esto significa, asimismo, una clara determinación de los usos convenidos y los derechos de autor sobre los productos.
- Resolución de conflictos. Si surgen desacuerdos en el transcurso de un proyecto, es útil haber determinado de antemano las opciones para resolver el conflicto.

iv) Estrategias de hermanamiento

2.44. La colaboración no se limita a compartir productos o servicios entre los organismos de un país. Algunas oficinas de censos han establecido mecanismos de colaboración con las de otros países. Estos acuerdos, llamados de hermanamiento, pueden celebrarse entre países que tienen un nivel similar de recursos, de utilización de tecnología y de sistemas estadísticos, o bien pueden convenirse como una estrategia de asistencia técnica entre países que emplean actualmente distintos niveles de tecnología cartográfica para los censos. Según los recursos disponibles, un acuerdo de colaboración puede abarcar el intercambio de ideas por medio de visitas y cursillos periódicos, proyectos conjuntos de investigación o incluso la adquisición conjunta o el intercambio de recursos como los equipos que no se necesitan continuamente, o determinadas especializaciones.

Recuadro II.1. Colaboración entre los organismos de cartografía en Australia

2.45. Australia ha dado un buen ejemplo de la colaboración entre varios organismos oficiales y su efecto positivo en la disponibilidad de datos geográficos digitales, en cantidades incluso mayores que las que necesita una oficina de censos. El organismo nacional de cartografía no pudo proporcionar para el censo de 1996 una base integral de mapas digitales de todo el país, porque no tenía facultades para elaborar mapas en gran escala en zonas urbanas. En consecuencia, el Australian Bureau of Statistics facilitó la formación de un consorcio de organismos cartográficos estatales, territoriales y federales para la realización de un mapa de base digital a nivel nacional. Este consorcio, denominado *Public Sector Mapping Agencies*, está actualizando la base cartográfica para el censo de 2001, lo que se considera como uno de los acontecimientos recientes más positivos en la esfera de la cartografía de Australia.

Fuente: Frank Blanchfield, Australian Bureau of Statistics, comunicación personal; Rhind, 1997, cap. 13.

c) Equipos y programas informáticos para aplicaciones cartográficas censales

2.46. El equipo adecuado de computación sólo se puede elegir después de que se han planificado cabalmente todos los otros aspectos del proyecto del mapa censal. La tecnología informática, tanto en lo que se refiere a equipos como a programas, evoluciona con suma rapidez y constantemente llegan al mercado productos nuevos y mejorados. Por lo tanto, no hay que comprar con excesiva anticipación porque se corre el riesgo de que el equipo o el programa esté ya desactualizado cuando se comienza a usar. Casi todos los equipos que se necesitan para los mapas de los censos son de uso corriente en otras aplicaciones informáticas y las computadoras, monitores o impresoras que se adquieran para fines cartográficos pueden usarse para ingresar datos o procesarlos en una etapa ulterior del censo.

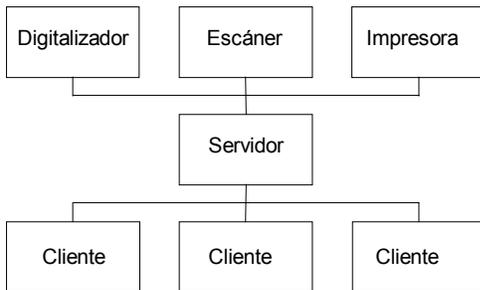
2.47. Otros equipos —escáneres, digitalizadores y trazadores grandes— son específicos de los SIG y otras aplicaciones gráficas. Dos características notables de las aplicaciones cartográficas son el gran volumen de materiales producidos y la importancia de la terminación puntual de la base de datos para los mapas, puesto que la totalidad del censo depende de éstos. Por lo tanto, cuando el organismo compra equipos y programas tiene que asegurarse que los productos escogidos sirven para aplicaciones de gran volumen y han demostrado ya su confiabilidad en aplicaciones igualmente exigentes. Otra característica deseable es que sean de uso y mantenimiento fáciles, dado que entre el numeroso personal que interviene en un programa cartográfico, habrá sin duda muchos usuarios novatos. Los componentes de los equipos se examinan en los párrafos que siguen.

i. Computadoras y redes

2.48. En los últimos años se ha pasado de los avanzados equipos basados en Unix a programas cartográficos en computadoras personales. Las complejas y exigentes aplicaciones de los SIG que requerían hasta pocos años atrás unidades muy potentes pueden ahora realizarse en una computadora personal corriente, lo que ha hecho bajar significativamente el costo de las instalaciones SIG y ha facilitado la adopción de los SIG ya que el programa puede correrse en una interfaz familiar como Windows. Los SIG basados en Unix seguirán siendo populares en aplicaciones avanzadas o como servidores de grandes redes de computadoras personales, pero la necesidades de la mayoría de las aplicaciones de los SIG a los censos pueden cubrirse con una computadora personal corriente.

2.49. A fin de facilitar el intercambio de datos y compartir los equipos periféricos —impresoras, trazadores, escáneres y demás— las computadoras tienen que estar conectadas a una red de zona local (LAN). Cuando están en una red entre pares permiten el acceso a archivos locales desde otras computadoras. El sistema operativo estándar permite el establecimiento de estas redes y el intercambio de archivos. El modelo más destacado es la arquitectura cliente-servidor (véase el gráfico II.4), en la cual una computadora poderosa sirve de depósito central de archivos y programas y como enlace con los equipos periféricos. Por ejemplo, se llega a las impresoras desde otras computadoras a través del servidor. Esta memoria central de archivos y programas importantes hace que el mantenimiento —como la actualización de los programas y la creación de archivos de reserva— sea más fácil. Los clientes son computadoras corrientes, posiblemente con procesadores poderosos y una gran memoria local. En cada una de ellas pueden instalarse programas estándar, como los que se usan en empresas.

Gráfico II.4. El modelo cliente-servidor

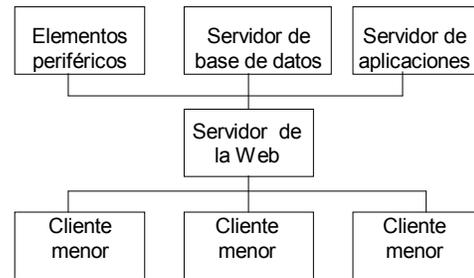


2.50. El modelo cliente-servidor permite que el organismo que se encarga de los mapas de los censos diseñe un entorno informático heterogéneo. Las computadoras más antiguas o económicas pueden usarse como unidades de digitalización, que no necesitan tanta potencia. La creación de la base de datos de los SIG y su análisis requiere computadoras más rápidas y, para la etapa de producción, es posible optimizar varias máquinas para que impriman con rapidez. Las ventajas y los posibles ahorros de costos de este entorno heterogéneo deben ponderarse, por supuesto, en relación con los servicios de apoyo y mantenimiento más complicados que son necesarios cuando hay una red de distintos tipos de computadoras.

ii. Últimos adelantos en redes de computación

2.51. El modelo actual de red cliente-servidor será suficiente para cubrir las necesidades de la mayoría de las oficinas de censos durante cierto tiempo, pero es probable que ya haya pasado su hora mejor. La tecnología de Internet y de intranet permite crear un entorno estandarizado independiente de la plataforma. En el futuro, los servidores de la red podrán ser reemplazados por otros de la Web que mantengan archivos y programas y manejen el tráfico, localmente y en comunicación con el mundo exterior. El servidor de la Web actúa como base de datos y de aplicaciones para un número cualquiera de *clientes menores o computadoras en red* (véase el gráfico II.5). Son unidades sencillas, con poca potencia de procesamiento y memoria limitada. Los usuarios simplemente bajan los programas que necesitan del servidor —por ejemplo, un módulo para digitalizar o un programa de diseño cartográfico— junto con los componentes necesarios de la base de datos. Los elementos de este modelo están disponibles a la fecha de redacción de este informe, pero todavía no se ha desarrollado un SIG basado en la Web, plenamente operativo, con funciones de ingreso, manipulación y salida.

Gráfico II.5. El modelo de computación en red



2.52. Muchas oficinas de censos ya están conectadas a Internet y algunas la utilizan como mecanismo principal de comunicaciones y de intercambio de información entre la oficina central y las oficinas locales que se encuentran distribuidas por el país. Si son varios los participantes en el proyecto cartográfico, y la reunión de datos y los mapas básicos se efectúan en el lugar, la Internet también es el medio para intercambiar mapas digitales y otros datos pertinentes, además de informes, directrices y documentación.

2.53. La etapa que sigue a la computación en red se considera de “computación generalizada”: los servidores de la Web no sólo apoyan a clientes menores que son esencialmente computadoras personales de menor escala sino también a otros tipos de dispositivos. Los teléfonos móviles inteligentes, las cajas digitales, los vehículos en red, los asistentes digitales personales y las computadoras portátiles podrán interactuar con los servidores de la Web usando los protocolos estándar de Internet. Es demasiado pronto para especular sobre las repercusiones que esto tendría en la cartografía censal pero es concebible que, en el futuro, los empadronadores reúnan la información con asistentes digitales personales que toman automáticamente las coordenadas geográficas de la vivienda usando un sistema mundial de determinación de posición. La información se transmite de inmediato a un servidor central de la Web en la oficina de censos por medio de la tecnología inalámbrica de transferencia de datos, lo que permite supervisar las actividades de reunión de datos en tiempo real. La tecnología necesaria existe, pero el costo que supone desplegarla en la escala que se necesita para reunir datos censales supera holgadamente a los recursos habitualmente disponibles.

2.54. La tecnología de las redes de computación está cambiando constantemente. Por lo tanto, la planificación del entorno que se necesita para un proyecto cartográfico censal debe incluir un cuidadoso análisis de los adelantos en esta materia. Por supuesto, esto tendrá que estar coordinado con el entorno general de compu-

tación de otros sectores que intervienen en las operaciones del censo a fin de aprovechar al máximo las inversiones en todas las etapas de realización del censo.

iii. *Dispositivos de almacenamiento*

2.55. En general, las aplicaciones de los SIG entrañan grandes volúmenes de datos. Los mapas digitales pueden constar de cientos de miles o incluso millones de coordenadas. Los productos derivados, como los archivos de gráficos y cuadros de datos, también requieren una gran cantidad de espacio para su almacenamiento. Por lo tanto, los planificadores de sistemas deben presupuestar montos suficientes para el almacenamiento, sea interno en el disco duro de la computadora o en dispositivos externos. La capacidad del disco duro aumenta constantemente y sus precios siguen descendiendo. Si bien permite guardar grandes cantidades de datos en el lugar, tiene la desventaja de no ser portátil y tener pocas posibilidades de ampliación. Entre los dispositivos externos cabe mencionar los siguientes:

- Las cintas magnéticas todavía son populares como medio de respaldo. Tienen un costo bajo y una gran capacidad de almacenamiento. Los pasacintas modernos utilizan cintas pequeñas que, sin embargo, pueden contener muchos gigabytes de datos. La desventaja de las cintas es que el acceso a los datos es lento.
- Los CD-ROM (disco compacto con memoria de lectura solamente) son un medio popular para la distribución de datos y programas. Casi todas las computadoras personales están equipadas con un lector interno de CD-ROM y los externos cuestan poco y son fáciles de conectar. El precio de los grabadores de CD también ha bajado mucho y su confiabilidad ha aumentado. Los que se graban una única vez son baratos y, a la vez, un medio conveniente de distribuir conjuntos de datos especiales de poco volumen o de producir una copia maestra para producción externa de gran volumen. Un CD-ROM puede almacenar unos 630 megabytes de datos.
- Los DVD (disco versátil digital) probablemente reemplazarán al CD-ROM como medio de distribución predominante de datos y programas en el futuro ya que tienen mayor capacidad (varios gigabytes). Hay grabadores de DVD de bajo precio aunque en este momento no se sabe con certeza cuál será la norma de regrabación que tendrá aceptación universal. Los DVD grabables tienen una capacidad superior a los 5 gigabytes. Las

unidades de DVD se harán tan comunes como las de CD en los próximos años.

- Es probable que los disquetes de gran capacidad reemplacen a los de 3 ½ pulgadas como elemento flexible para el intercambio de datos. Los modelos actuales usan discos no mucho más grandes que los disquetes actuales, pero tienen una capacidad que varía entre 100 megabytes y 1 gigabyte.

iv. *Dispositivos de entrada*

2.56. Un proyecto cartográfico para un censo implica un enorme esfuerzo en materia de conversión de datos. La información cartográfica y sobre los atributos que proviene de varias fuentes se compila y convierte a forma digital en una base consistente de datos de SIG. Por lo tanto, los dispositivos de entrada son un componente clave del entorno de computación en la oficina de cartografía. A continuación, se enumeran los dispositivos de entrada acompañados por una breve explicación. En la sección D se realiza un análisis más detenido.

- Teclado. La entrada manual de coordenadas desde un teclado es poco frecuente, pero a veces puede ser más rápido escribir las coordenadas a partir de un nomenclátor o una fuente similar en lugar de digitalizar las ubicaciones de ciertos puntos a partir de un mapa.
- Ratón. Este dispositivo estándar de las interfaces gráficas puede ser un dispositivo de entrada de coordenadas cuando las características se digitalizan en la pantalla, usando como fondo un mapa escaneado o una foto satelital.
- Digitalizadores. La conversión de datos de gran calidad de mapas impresos en papel o elaborados en materiales estables, como el mylar, es una tarea en la predominan los digitalizadores, que vienen en muy distintos tamaños—cuanto más grande sea la superficie de digitalización, más grandes serán los mapas que pueden convertirse de una sola vez. Incluso si el proyecto de conversión se basa principalmente en las técnicas de escaneo, el digitalizador resulta útil para aplicaciones específicas. Casi todos los SIG o los programas cartográficos para computadoras personales cuentan con una unidad para los digitalizadores estándar.
- Escáner. Los escáneres grandes pueden reducir significativamente el tiempo y el costo que entraña la conversión de datos. Las características se extraen de los mapas escaneados, sea por medio de una ulterior digitalización en pantalla o por medio de programas de conversión cuadrícula-

vector. Para las aplicaciones que requieren gran calidad, las características similares que aparecen en mapas complejos vuelven a trazarse en hojas separadas de papel o mylar antes de escanear. Las rutinas de conversión cuadrícula-vector están incluidas en algunos programas de SIG, pero para aplicaciones en gran escala es preferible usar un programa especializado.

- Sistemas mundiales de determinación de posición. Los GPS son unidades manuales que permiten captar datos en el lugar. El receptor es activado por un operador y determina su ubicación con un grado bastante elevado de exactitud. Las coordenadas pueden guardarse en el GPS para bajarlas luego directamente al SIG. En el caso de las aplicaciones geográficas, los GPS se han convertido rápidamente en el instrumento más importante de reunión de datos en el terreno.

v. *Dispositivos de salida*

2.57. La elaboración de mapas por computadora es una aplicación gráfica y es esencial contar con dispositivos de salida de alta calidad para trabajar con mapas digitales y presentar los resultados de la compilación y el análisis de datos. Los monitores grandes y de alta resolución son relativamente costosos, pero hacen que sea más fácil trabajar con mapas digitales. Deben comprarse monitores con pantallas de 17 pulgadas o más para las computadoras que se usan para gráficos, aunque una pantalla más chica será suficiente cuando no se trabaja con gráficos, por ejemplo ingreso o procesamiento de datos. Una buena tarjeta de vídeo y una buena cantidad de memoria de vídeo dedicada pueden aumentar significativamente la velocidad de dibujo.

2.58. La copia en papel se produce usando impresoras o trazadores. En un proyecto cartográfico se necesitarán tanto trazadores grandes para imprimir las pruebas de control de calidad y los mapas de supervisión, como impresoras más pequeñas que permitan producir un gran número de mapas de empadronamiento en forma eficaz y económica. Entre los grandes trazadores, la tecnología del chorro de tinta de color ha reemplazado al grafito como norma en las aplicaciones de los SIG. Para imprimir en formato pequeño, las impresoras láser en blanco y negro son rápidas y confiables. Aunque las impresoras color pequeñas basadas en la tecnología del chorro de tinta son muy poco costosas, no alcanzan para producir mapas en grandes volúmenes. La tinta y el tóner también pueden ser bastante costosos, lo que aumenta el precio por página impresa y, en consecuencia, da costos generales más altos en comparación con las impresoras láser que tienen un costo inicial mayor. Las

impresoras y los trazadores se examinan con más detalle en el capítulo III.

vi. *Seguridad y mantenimiento de los sistemas: Suministro ininterrumpido de electricidad y estrategias de respaldo*

2.59. Un entorno seguro de computación requiere un suministro confiable de energía eléctrica. Si el suministro es insuficiente quizás produzca pérdida de datos, apagones de la computadora, daños en los sistemas y pérdida de productividad por el tiempo de trabajo que se pierde. Los problemas eléctricos pueden surgir en varias formas:

- Interrupciones del suministro (apagones o cortes) con pérdida completa de la electricidad, por ejemplo por deficiencias de generación, insuficiente infraestructura de distribución, rayos o lluvias intensas;
- Sobretensión breve (picos, transitorios, o impulsos), un exceso de tensión de corta duración;
- Bajas de tensión (breves o prolongadas) que con frecuencia se deben a insuficiente capacidad de generación de electricidad;
- Sobretensión prolongada, que significa una tensión superior a la normal durante un período más prolongado.

2.60. En las zonas en que el suministro de electricidad no es confiable un componente obligatorio de una instalación de computación es una fuente de energía eléctrica ininterrumpida (UPS). Estos sistemas compensan los excesos y las bajas de tensión y suministran electricidad durante un tiempo suficiente como para cerrar los sistemas si se produce un corte. Las UPS son útiles en todas partes, pero en los países en que los problemas de suministro son frecuentes, tendrán que tener capacidad para hacer frente a exigencias mayores. Si los cortes son habituales, las baterías de las UPS se descargarán y recargarán con mayor frecuencia. Si los cortes duran bastante, los sistemas se descargarán más y con frecuencia no se habrán recargado por completo antes del próximo corte, lo que reducirá el tiempo disponible para las tareas de respaldo del sistema y la vida de las baterías de la UPS. Es por esto que una UPS que trabaje con fallas de electricidad frecuentes tiene que ser de mejor calidad y recibir un mantenimiento más frecuente que los sistemas que trabajan en un ambiente más estable.

2.61. El tamaño de la UPS puede determinarse sobre la base de lo que demanden los sistemas que se conectarán a ella. Los equipos de informática tienen un voltaje (V) y

una corriente (amperio(A)) especificados tanto en la máquina como en el manual. La capacidad de la UPS se mide en volt-amperios (VA). El VA requerido se calcula multiplicando el voltaje y los amperios de cada unidad y sumando los resultados. Por ejemplo, una pequeña computadora con 120V y 2 A, más un monitor con 120 V y 1 A necesitará una UPS de 360 VA o más, que proporcionará potencia auxiliar durante ocho minutos por lo menos. Si se necesita más tiempo, habrá que elegir una UPS más grande.

2.62. Los equipos informáticos requieren un clima controlado para operar sin inconvenientes a largo plazo. Además de una fuente de electricidad confiable, el equipo debe estar protegido de las grandes variaciones de temperatura, como extremos de calor o de frío. Idealmente deben estar ubicadas en un ambiente con aire acondicionado, que también las protege del polvo. Estos requisitos son los mismos que se aplican a las computadoras usadas para entrada y procesamiento de datos censales.

2.63. A nivel operativo, se debe tener una estrategia integral de respaldo mientras se elaboran los datos y durante el mantenimiento. Hay sistemas poco costosos que pueden producir copias de los datos distribuidos en una red. Las tareas de respaldo llevan mucho tiempo y es mejor hacerlas durante la noche. Por lo general, se agregan cada día sólo los archivos que se han creado o modificado. Cada semana se copia la totalidad de los archivos. Las copias de respaldo no necesitan incorporar los archivos y datos que están disponibles en los medios originales. No obstante, se deben hacer sistemáticamente copias de respaldo de los archivos de los parámetros de programas que guardan información específica. Es buena idea guardar las copias de respaldo semanales o mensuales en otro lugar seguro, porque esto impedirá la pérdida de la totalidad de los datos si hay un incendio o sobreviene otro desastre que destruye las computadoras y las copias de respaldo guardadas en el lugar.

2.64. Por último, hay un problema de seguridad de los sistemas que se relaciona con el acceso no autorizado a archivos producidos por el organismo censal. Los mapas en sí no son información delicada. Pero, a los microdatos de los censos se les aplican reglamentaciones de privacidad que impiden la divulgación de información sobre personas u hogares individuales. Aunque en la organización de un censo la conexión a Internet facilita el intercambio de datos y el acceso a la información externa, ciertas deficiencias del sistema también permiten que algunos extraños tengan acceso a los sistemas de archivos internos. Por lo tanto, el sistema en red debe diseñarse para dar seguridad al entorno interno, por

ejemplo con un medio de protección (firewall) y sólo permitir el acceso desde el exterior a un sistema separado que puede contener los mapas y los cuadros de datos que se divulgan en general.

vii. Programas informáticos

2.65. El aumento de las esferas de aplicación de los SIG también ha producido rápidos avances en los programas cartográficos que se utilizan en ellos y en computadoras personales. Este campo está dominado por un número reducido de empresas importantes, además de muchas empresas que proporcionan elementos auxiliares y programas más especializados. Los programas pueden dividirse en rasgos generales en sistemas avanzados y sencillos. Los primeros abarcan programas que tienen cientos de funciones para datos en vectores y en cuadrícula, integración de productos de teleobservación, apoyo para el reconocimiento y otras aplicaciones especializadas y opciones virtualmente ilimitadas para adaptar la instalación. Estos sistemas exigen mucha capacitación, ya que con frecuencia no tienen interfaces intuitivas con el usuario. Hasta hace poco, sólo funcionaban en computadoras poderosas que tenían Unix como sistema operativo. Casi todos se han adaptado actualmente al Windows NT y también podrán usarse con Windows 2000.

2.66. Los sistemas sencillos abarcan los programas para computadoras personales que hacen hincapié en la cartografía temática y en la facilidad de uso y que, a menudo, se venden con programas ya preparados de datos genéricos. Algunos pueden adaptarse usando agregados escritos en un macrolenguaje específico para los programas o en Visual Basic. Los programas cartográficos comerciales para SIG y computadoras personales son tan funcionales y adaptables que prácticamente ha desaparecido el desarrollo interno de programas cartográficos, tarea que hasta poco tiempo atrás era habitual en los grandes proyectos cartográficos.

2.67. La preparación de mapas censales requiere, en primer lugar, la conversión de los datos y la creación de la base de datos, funciones básicas que no necesitan un programa de SIG avanzado. La mayoría de las demandas de un programa de cartografía censal puede satisfacerse, por lo tanto, con programas económicos para la entrada de datos —digitalización y edición— y producción de mapas. Pero, para aplicaciones más avanzadas, como el análisis espacial o las topologías complejas, resulta conveniente tener licencias para programas de SIG de mayor nivel. La elección de una serie de programas apropiados para integrar en otro cartográfico de mayor escala requiere una clara definición de las

tareas que se deben realizar y del número de operadores que interviene en cada etapa.

2.68. Cuando se eligen programas, hay que preguntarse:

- ¿Tiene el programa todas las funciones que se necesitan para el proyecto de cartografía censal?
- ¿Maneja el programa todos los tipos de datos que se usarán en el proyecto (SIG de vectores, SIG en cuadrícula, fotos aéreas, imágenes satelitales y datos de textos)?
- ¿Tiene el programa una interfaz para el programa de gestión de base de datos que emplea la oficina de censos?
- ¿Se requiere una costosa adaptación?
- ¿Son compatibles los programas con los equipos informáticos que ya tiene el organismo?
- ¿Importará/exportará datos de/a otros programas que se usan en la organización o los organismos que colaboran?
- ¿Se ajusta a las normas que ya usan otros organismos de cartografía en el país?
- ¿Tiene el proveedor una buena política de mantenimiento y apoyo a los clientes? ¿Hay un representante conocido en el lugar?
- ¿Ofrece el proveedor condiciones satisfactorias para el otorgamiento de licencias que permitan usar el programa en varias máquinas al mismo tiempo?
- ¿Se dispone de materiales de capacitación u ofrece el proveedor seminarios en el lugar?
- ¿Puede adaptarse o ampliarse fácilmente el programa si se modifican las necesidades durante el proyecto o en una etapa posterior? ¿Es posible pasar a un sistema más poderoso con un costo mínimo de traslado de datos y adaptación de funciones e interfaces diseñadas a pedido?

2.69. El mercado de los programas de SIG evoluciona con rapidez y en direcciones que es difícil prever, incluso a un plazo de unos pocos años pero, afortunadamente, el crecimiento del mercado también significa que se dispone de muchas fuentes de información sobre las tendencias en equipos y programas informáticos.

2.70. Una tendencia reciente en estos programas es el avance hacia la incorporación de tipos de datos geográficos en los sistemas genéricos de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS). La mayoría de los programas de SIG actuales usan formatos de datos geográficos

específicos para los sistemas, al tiempo que guardan la información sobre atributos con el formato de un programa genérico. Una alternativa es almacenar las descripciones geométricas de características espaciales —por ejemplo una zona de empadronamiento o un camino— como un tipo especial de dato (campo ancho, datos abstractos u objetos binarios grandes) en una base de datos. Esta tecnología, que ofrecen los proveedores de RDBMS en cooperación con empresas de programas cartográficos, tiene gran potencial para almacenar las grandes bases de datos geográficos y para agregar un componente espacial a las bases censales tabulares que ya existen.

viii. Importancia de una visión a largo plazo

2.71. Así como es importante maximizar la compatibilidad con censos anteriores, también es conveniente considerar futuras actividades censales durante la planificación de un empadronamiento. Sobre todo en los casos en que no existe una unidad cartográfica permanente en una organización censal, debe darse mucha importancia a la documentación, los metadatos y los archivos. El personal nuevo que se contrata para los próximos censos debe poder reconstruir lo que se ha hecho en empadronamientos anteriores para aprovechar plenamente los materiales cartográficos digitales que ya se tienen.

2.72. En forma similar, cuando se eligen equipos y programas, el organismo censal debe tratar de mantener todos los sistemas tan abiertos como sea posible. Con frecuencia, una organización puede quedar atrapada con una determinada tecnología que, para la fecha del próximo censo, ya estará desactualizada. Migrar en ese momento a una nueva plataforma es muy costoso. Por supuesto, es difícil predecir los cambios en una disciplina dinámica como la informática en un lapso de 10 años o más. Aun así, hay algunas reglas generales que pueden ayudar a asegurar la continuidad de estas operaciones:

- Es más probable que las empresas que hoy son líderes en el mercado se mantengan en el futuro, a diferencia de las que han comenzado recientemente o las pequeñas empresas. Las empresas grandes también tienen fuertes incentivos para proporcionar compatibilidad en términos de formatos de datos para que los usuarios puedan migrar a los nuevos sistemas con poco esfuerzo.
- La oficina de censos debe maximizar el uso de los formatos de datos que pueden ser importados por muchos sistemas. Si se usa un formato registrado, es aconsejable exportar todos los datos en un

formato genérico de uso habitual al final del proceso del censo.

- Habitualmente no es aconsejable crear programas internamente. Antes, las oficinas de censos con frecuencia desarrollaban sus propios sistemas cartográficos porque no había otros adecuados a un costo razonable. Sobre todo en el caso de la divulgación de datos, la falta de programas poco costosos y fáciles de usar obstaculizaba la distribución de los resultados pero, a largo plazo, el mantenimiento de los sistemas desarrollados internamente se vuelve costoso y, en general, este tipo de organización no tiene los recursos necesarios para mantenerse a la par del rápido cambio de la industria de la computación. Las empresas privadas ofrecen hoy día una amplia variedad de programas cartográficos a un costo razonable, y pueden obtenerse sin cargo algunos que son adecuados para la divulgación de los datos censales.

d) Descentralización de las actividades cartográficas censales

2.73. En un país relativamente pequeño, los mapas de los censos pueden elaborarse en una unidad centralizada de la oficina nacional de censos. En cambio, en un país más grande, conviene descentralizar estas actividades. La estructura básica de un proyecto descentralizado debe basarse en el sistema de oficinas censales nacionales y regionales que se crea para el empadronamiento y para otras campañas de reunión de datos estadísticos.

2.74. La descentralización de las actividades cartográficas tiene varias ventajas. El personal local tiene mejor conocimiento de la geografía, la estructura administrativa y los cambios que han ocurrido recientemente en la región asignada. Para una oficina local es más fácil mantener una relación de trabajo constante con las autoridades del lugar. El trabajo en el terreno será menos costoso, ya que las distancias por recorrer son más cortas. En especial en el caso en que los problemas que se plantean durante la preparación de un mapa exigen volver al terreno, se ahorrarán recursos si los funcionarios locales son los que se ocupan de las tareas cartográficas. Por último, un beneficio importante es que se crea especialización local en una importante tecnología nueva, que se traducirá en un gran beneficio para la región, incluso si este personal pasa a ocupar otros puestos una vez que concluye el censo.

2.75. La descentralización de las actividades cartográficas puede tener también algunos inconvenientes. La capacitación y la supervisión en estas actividades tie-

nen que coordinarse entre varios lugares, posiblemente muy distantes. Aunque es posible adiestrar centralmente al personal básico antes de comenzar la tarea censal, las funciones de supervisión deben cumplirse en cada oficina regional mientras duren las actividades. Un enfoque descentralizado también requiere una definición más clara de las tareas respectivas de las oficinas regionales y centrales. La circulación de materiales y productos se debe supervisar con cuidado a fin de asegurar la uniformidad en todo el país. Por último, la infraestructura cartográfica digital debe repetirse en varios puntos del país. Esto no significa mucho problema en el caso de computadoras y digitalizadores relativamente económicos, pero algunas funciones tendrán que estar centralizadas porque requieren equipos especializados y costosos o conocimientos sumamente específicos. Algunos ejemplos son el escaneo de mapas en equipos de alto precio y gran volumen o teleobservación e interpretación de fotos aéreas.

Cuadro II.1. Posible división de tareas entre las oficinas centrales y regionales de cartografía censal

<i>Oficina central</i>	<i>Oficina regional o local</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación y capacitación en general, incluida la colaboración interinstitucional • Funciones especializadas (por ejemplo, escaneo de grandes volúmenes, teleobservación) • Integración general de datos • Garantía de calidad • Producción de mapas de ZE 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo en el terreno • Elaboración básica de datos digitales (digitalización, edición) • Enlace con autoridades locales • Tareas específicas de control de calidad • Producción de mapas de ZE

e) Plazos de las actividades cartográficas censales

2.76. Una parte crítica del proceso de planificación en un proyecto digital de este tipo es definir cabalmente cada tarea que debe realizarse y estimar el tiempo que se necesita para completar cada componente del proyecto. Las tareas y los plazos de las actividades serán muy similares, sea que los mapas se produzcan digital o manualmente. Las descripciones detalladas y los plazos elaborados en BUCEN (1978) serán un excelente punto de partida para

la planificación de uno de estos proyectos. Al igual que en el caso de las técnicas manuales, el tiempo que demanda un mapa digital depende de muchas situaciones y de las elecciones que se realicen. Entre los factores que determinan los plazos de las actividades cartográficas censales cabe mencionar:

- La superficie y la población del país y si es fácil llegar a cualquier parte del país;
- Cuánto trabajo en el terreno se requiere;
- Los recursos disponibles para contratar y capacitar al personal, comprar equipos y adquirir servicios externos;
- Los tipos de recursos materiales disponibles, como series de mapas topográficos, cobertura del país por imágenes satelitales, mapas boceto de alta calidad de censos anteriores, etc.;
- La disponibilidad de bases de datos digitales de las instituciones que colaboran en un formato que pueda adaptarse con rapidez a las necesidades del organismo censal;
- Las técnicas escogidas para la conversión de datos y los tipos de mapas básicos disponibles (por ejemplo, cuánto tiempo puede ahorrarse si es factible escanear las separaciones establecidas por colores de los mapas topográficos en lugar de los mapas enteros mismos).

2.77. No se prevé indicar aquí cuál será el tiempo que demandará cada etapa, porque las condiciones variarán mucho según los países. En el cuadro II.2 aparece una lista de las tareas que deben cumplirse, adaptada de BUCEN (1978), de acuerdo a los requisitos de una estrategia de cartografía digital. El cuadro original también sugiere la secuencia y la duración de cada tarea.

2.78. Algunas de las tareas enumeradas en el cuadro llevarán mucho menos tiempo si se sigue una estrategia digital. Por ejemplo, imprimir un mapa para una zona nueva o no estándar del país no significará volver a dibujar ni pegar manualmente hojas de papel una vez que la base de datos digital está completa. Por otra parte, es poco probable que se ahorre mucho tiempo durante la creación de esta base cartográfica censal, porque la conversión de mapas de papel a mapas digitales lleva mucho tiempo. Sólo se ahorrará tiempo en las actividades posteriores y los empadronamientos censales. En consecuencia, en este tipo de actividades digitales, el esfuerzo y el tiempo mayores recaen más en las primeras etapas que en el caso de los enfoques tradicionales, es decir, más trabajo para la creación de la base de datos mientras que las etapas posteriores —por ejemplo,

los ciclos de producción y revisión— demandarán menos esfuerzo en comparación.

2.79. Otra cuestión que hay que considerar cuando se programan las tareas cartográficas censales es la necesidad de evitar riesgos. Puesto que las etapas posteriores dependen de lo que se produzca en las anteriores, debe haber planes de contingencia para cada tarea crítica del proyecto. El personal de planificación debe plantearse una serie de hipótesis “¿qué pasa si?” para determinar otras opciones si una actividad fundamental no puede completarse a tiempo.

Cuadro II.2. Tareas de un proyecto de cartografía digital para un censo

Planificación, administración, capacitación

1. Determinar el alcance del programa cartográfico
2. Determinar las necesidades y especificaciones de los mapas
3. Identificar las áreas estadísticas
4. Preparar un programa de geocodificación
5. Preparar un calendario detallado de actividades
6. Diseñar procedimientos de control
7. Estimar las necesidades en materia de personal, capacitación, equipos y programas informáticos
8. Preparar el presupuesto
9. Contratar y adiestrar personal adicional
10. Pedir suministros, equipos y programas de computación
11. Instalar y probar todos los equipos nuevos
12. Preparar instrucciones y materiales de capacitación sobre la utilización de los mapas en el empadronamiento
13. Adiestrar al personal en el terreno en cuanto al uso de los mapas en el empadronamiento
14. Recibir y archivar los mapas de empadronamiento que se devuelven después del censo y la encuesta de verificación (EV)

Preparación de los mapas de base

15. Listar y codificar las zonas para las que se necesitan mapas
16. Hacer y mantener un inventario de los recursos existentes
17. Preparar una lista de las prioridades de las zonas para compilar mapas
18. Preparar y verificar los planes de compilación de mapas
19. Convertir a datos digitales (digitalizar, escanear, editar, integrar mapas del terreno derivados del GPS)

20. Revisar y verificar mapas de base digitales – imprimir mapas de formato grande para controlar la calidad

Preparación de los mapas de zonas de empadronamiento

21. Delinear y codificar las zonas de empadronamiento (ZE) y las de supervisión (ZS) para el censo en los mapas de base digitales
22. Revisar y verificar la delineación y los códigos
23. Imprimir los mapas de ZE, ZS y oficinas en el terreno para el empadronamiento
24. Revisar y verificar los mapas de empadronamiento del censo
25. Delinear los segmentos de muestra de las EV
26. Imprimir los mapas de las EV
27. Preparar los mapas de las EV para el empadronamiento

Trabajo en el terreno

28. Tomar contacto con el personal local y otros organismos para agregar lugares a la lista de zonas
29. Adquirir recursos –mapas digitales disponibles, mapas de papel, imágenes satelitales, fotos aéreas, bocetos
30. Actualizar la información de los mapas (límites, nombres, ubicación de las características, etc.)
31. Hacer un rápido conteo de las unidades habitacionales para delinear las ZE del censo
32. Dividir las zonas de muestra de la EV en sectores y hacer un rápido conteo para las muestras

Distribución de los mapas de empadronamiento

33. Distribuir los mapas para el empadronamiento del censo
34. Distribuir los mapas para la sectorización de la EV y conteo rápido
35. Distribuir los mapas para el empadronamiento de la EV

Preparación de mapas y gráficos para publicación

36. Diseñar mapas y gráficos usando programas informáticos de publicación y cartografía
37. Revisar y verificar los mapas y gráficos de los censos
38. Imprimir y publicar los mapas y gráficos de los censos en papel, en CD-ROM o en la World Wide Web
39. Diseñar y poner en práctica un plan para divulgar bases de datos censales geográficos

Fuente: Tomado de BUCEN (1978), exhibit 2-4.

f) Control del proceso

2.80. El calendario de actividades también permitirá que los supervisores sigan la marcha del proyecto y determi-

nen si los productos estarán terminados en las fechas previstas. Los plazos deben cumplirse estrictamente porque el empadronamiento y los mapas dependen mucho de los productos completados en etapas anteriores.

2.81. Para poder determinar en algún momento el estado de cada tarea del proceso de elaboración de mapas, debe ponerse en práctica un sistema de control que implica conocer en todo momento el lugar en que se encuentran los conjuntos de datos, materiales y productos y su situación. Esto asegurará la puntual terminación de los productos y permitirá que los administradores del proyecto tomen medidas ante cualquier demora, obstáculo o ajuste del proceso. Si se observan demoras en una actividad, habrá que intensificar los esfuerzos porque las etapas siguientes del proceso cartográfico dependen de lo que se produce en las anteriores. Análogamente, otras tareas de la preparación del censo dependen del trabajo de la sección de cartografía y los plazos deben coordinarse en consecuencia con el personal que se ocupa de la planificación del censo.

2.82. Los mapas también pueden ser útiles para seguir la marcha de las tareas. Por ejemplo, los informes semanales o mensuales pueden incluir un mapa panorámico de cada etapa importante (trabajo en el terreno, automatización de mapas, demarcación de ZE, etc.) en el que se sombreen las zonas operativas del país según la situación en que se encuentren, o bien según el porcentaje de terminación. Este ejemplo ilustra la utilidad de un SIG como recurso de gestión.

2.83. El control del proceso también cumple importantes funciones de documentación. Si aparecen problemas en alguno de los mapas digitales producidos, los formularios permiten encontrar una “pista” (posiblemente digital) para que el personal encuentre y corrija el problema.

2.84. En general, entonces, el control de proceso se basará en formularios que acompañan a cada producto desde la primera hasta la última etapa del proceso de conversión de datos y producción de mapas. En BUCEN (1978) se examinan el propósito, el diseño y el uso de estos formularios en gran detalle. Los formularios permiten ir siguiendo todas las etapas de procesamiento, dónde se enviaron los materiales o los productos y a quién se enviaron, quién se ocupó de qué tarea, cuándo comenzaron y terminaron las tareas, las fuentes de datos y otra información pertinente.

2.85. En un entorno informatizado, también es posible automatizar el control del proceso. Hay programas comerciales de administración de proyectos que pueden adaptarse a uno de cartografía censal. Las ventajas principales son un alto grado de coherencia, un estricto

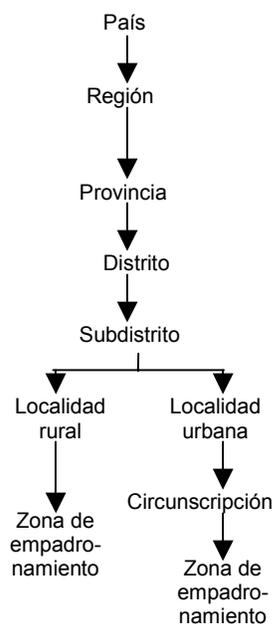
control, seguridad de los datos y la facilidad con que puede consultarse y resumirse la información en cualquier momento dado. Hay varias opciones respecto de un proceso de control automatizado:

- Una base de datos central que contiene todos los formularios como interfaces de entrada de datos y que se puede configurar como una aplicación independiente, implementada en un sistema de gestión de bases de datos estándar o como un sitio de Internet o de intranet protegido por una contraseña, de modo que las oficinas externas también tengan acceso a ella.
- Archivos separados que se guardan con los productos digitales y que esencialmente se convierten en parte de la información sobre el linaje guardada con los mapas digitales en la descripción de los metadatos (véase la sección d) que sigue).
- Un sistema mixto, en el cual parte del control se lleva en papel pero la base maestra es digital. La desventaja de un sistema totalmente digital es que no permite incorporar los productos en papel como los mapas topográficos, las fotos aéreas o los mapas impresos que se envían a los administradores locales para su verificación a la documentación de control. Aunque es buena idea ahorrar papel, probablemente será preferible un método mixto, con formularios acompañados por otros materiales. La información que figura en los formularios de papel puede ingresarse periódicamente a un sistema central para integrarla con toda la demás información sobre el control.

4. Definición de la geografía del censo nacional

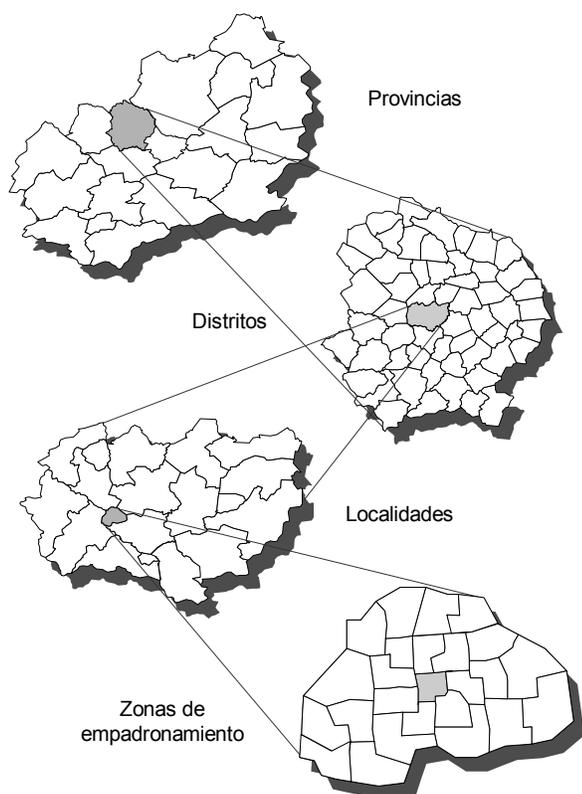
a) Jerarquía administrativa

2.86. Una de las primeras decisiones en la planificación de un censo se refiere a las áreas administrativas sobre las que se darán datos censales. La preparación del censo implica la confección de una lista de todas las unidades informantes administrativas y estadísticas del país y la definición de las relaciones entre todos los tipos de límites de unidades informantes y administrativas. Cada país tiene su propia jerarquía administrativa, es decir, un sistema en que se subdivide el país y cada conjunto de unidades administrativas para formar el nivel inferior (excepto el último). Por ejemplo, a los efectos del censo, un país puede haberse dividido en siete niveles jerárquicos en zonas urbanas y en seis en zonas rurales:



2.87. Tal vez sólo algunas de ellas tengan verdaderas funciones administrativas, por ejemplo, la provincia, el distrito y la localidad pueden tener una capital con oficinas públicas locales que son responsables de esas regiones. El gráfico II.6. muestra como encajan las unidades administrativas y censales usando un ejemplo sencillo con sólo cuatro niveles jerárquicos. No obstante, en algunos casos, tal vez las unidades administrativas no encajen con exactitud y es probable que la oficina de censos tenga que ocuparse de un sistema muy complejo de regiones geográficas, sobre todo cuando se consideran las unidades administrativas como otras unidades informantes estadísticas.

2.88. No todos los niveles tienen la misma importancia. Por ejemplo, muchos países dividen el territorio en regiones principales que a menudo tienen una definición geográfica, como *norte-sur-oeste-este* o *montaña-llanura-costa*. Con frecuencia estas regiones no tienen una función administrativa, pero pueden usarse para notificar información estadística.

Gráfico II.6. Encaje de una jerarquía administrativa

b) Relaciones entre unidades administrativas y otras unidades informantes estadísticas o administrativas

2.89. Además de las unidades administrativas, la mayoría de los países tendrá varios otros conjuntos de zonas que se usan para distintos propósitos y para los que habrá que compilar datos censales. Algunos ejemplos son:

- Regiones sanitarias;
- Zonas de mercados laborales;
- Distritos electorales;
- Zonas postales;
- Zonas culturales o tribales;
- Aglomeraciones urbanas o zonas metropolitanas;
- Unidades de censos agrícolas o económicos;
- Unidades catastrales o de propiedad de la tierra;
- Zonas de servicios públicos (distritos de suministro de agua o electricidad).

2.90. Muchas de estas zonas no encajarán a la perfección dentro de la jerarquía administrativa del país. Cuando se diseñan las zonas de empadronamiento, el organismo de cartografía censal debería considerar en la mayor medida posible estas unidades informantes a fin de facilitar la tabulación de los datos censales correspondientes a esas regiones. El análisis de las necesidades de los usuarios realizado en la etapa de planificación del censo deberá estipular directrices con respecto a las zonas no administrativas a las que se prestará más atención. En general, para orientar el diseño de las zonas de empadronamiento, el organismo debe dividir todos los conjuntos de zonas según si la compatibilidad es obligatoria, conveniente o poco probable y considerarlos en la forma correspondiente.

2.91. En el caso de algunas zonas informantes o administrativas del país, puede que los organismos del caso ya hayan producido datos digitales acerca de los límites. Por ejemplo, varios países que han puesto en marcha programas de reforma agraria usan los SIG para manejar las bases de datos sobre la propiedad de la tierra (información catastral) y muchos organismos nacionales de correo usan las bases de datos de los SIG de códigos postales para facilitar la distribución. Cuando se dispone de bases de datos digitales de tales unidades se facilita la creación de otras con datos geográficos para el censo. Si es posible lograr una gran compatibilidad se obtiene una ventaja adicional, a saber, la posibilidad de combinar con facilidad las estadísticas de otras zonas, por ejemplo demanda de agua o resultados de votaciones, con estadísticas demográficas y sociales.

2.92. Dentro de la oficina de estadísticas, otras actividades censales también requieren que se definan las unidades para las que se reunirán datos y es importante mencionar al respecto que en muchos países se realizan periódicamente censos agrícolas y económicos. Muchas aplicaciones analíticas se benefician del análisis conjunto de la información producida por los censos de población y los datos agrícolas o económicos. Si hay una buena concordancia entre las unidades geográficas usadas para compilar estos tipos de datos, aumentará su utilidad en aplicaciones públicas y privadas.

c) Demarcación de zonas de empadronamiento

2.93. La demarcación de las zonas de empadronamiento se examina exhaustivamente en el manual de BUCEN sobre cartografía censal (BUCEN, 1978, en especial los capítulos 2 y 7). Los conceptos y las directrices de la definición de las zonas de empadronamiento son similares, sea que se usen técnicas cartográficas

manuales o digitales. Por lo tanto, sólo se resumirán brevemente los aspectos más pertinentes.

2.94. El diseño de las zonas de empadronamiento debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Deben ser mutuamente excluyentes (sin superposición) y exhaustivas (cubrir todo el país);
- Deben tener límites fácilmente identificables en el terreno;
- Deben tratar de satisfacer las necesidades de los departamentos públicos y otros usuarios de datos;
- Deben concordar con la jerarquía administrativa;
- Deben ser útiles también para los otros tipos de censos y actividades de reunión de datos;
- Deben ser compactos, sin vacíos ni separaciones;
- Deben tener aproximadamente la misma población;
- Deben ser lo bastante pequeñas y accesibles como para que las pueda cubrir un empadronador durante el censo;
- Deben ser lo bastante pequeñas y flexibles como para permitir la mayor diversidad de tabulaciones para distintas unidades estadísticas informantes;
- Deben ser lo bastante grandes como para garantizar la privacidad de los datos.

2.95. Entre estos criterios hay algunos que facilitan la reunión de los datos censales, mientras que otros se relacionan con la utilidad de las ZE para elaborar resultados —es decir, la relación entre la reunión de datos y las unidades de tabulación. Ha de recordarse que la finalidad del censo es producir datos útiles para los administradores, las autoridades encargadas de las políticas y otros usuarios. En consecuencia, lo más importante es tener un máximo de flexibilidad y de capacidad de adaptación para producir los mejores resultados posibles antes que contar con el empadronamiento más conveniente.

2.96. El tamaño de las zonas de empadronamiento puede definirse en dos formas; por superficie o por población. Para los mapas de un censo, la población es el criterio más importante, pero también deben tenerse en cuenta superficie y accesibilidad para asegurar que un empadronador puede ocuparse de una ZE en el tiempo asignado. El tamaño de la población que se escoge varía de un país a otro y se determina sobre la base de resultados probados previamente. El tamaño medio de la población también puede variar entre zonas urbanas y rurales, puesto que el empadronamiento puede hacerse

más rápido en las ciudades que en el campo. En circunstancias especiales, tal vez tengan que definirse zonas de empadronamiento que son más grandes o más pequeñas que el promedio. Para casi todos los fines prácticos, el tamaño de la población de una ZE irá de 100 a 150.

2.97. Antes de demarcar los límites de la ZE, es necesario estimar el número de personas que viven en la zona y su distribución geográfica. A menos que se tenga información de una encuesta reciente, un sistema de registro o alguna otra fuente, estas cifras tienen que determinarse contando las unidades habitacionales, determinando el consiguiente número de hogares y multiplicando por un tamaño medio de hogar. El número de unidades habitacionales puede determinarse cartográficamente o, en algunos casos, por medio de fotografías aéreas, como se analiza en una sección más adelante.

2.98. Los límites de las zonas de empadronamiento deben poder observarse con claridad en el terreno. Todos los empadronadores, incluso si no tienen mucho entrenamiento geográfico, deben poder hallar los límites de la zona que tienen a su cargo. En consecuencia, puede variarse el tamaño de la población entre las zonas de empadronamiento para producir una demarcación identificable. Las características naturales que pueden usarse a este fin son los caminos, las vías férreas, arroyos y ríos, lagos, alambrados o cualquier otra que defina un límite nítido. Las características que tienen bordes menos definidos, como arbustos, bosques o curvas de nivel como cordones montañosos, no son tan útiles. En algunos casos, es inevitable usar límites de ZE que no pueden verse con claridad en el suelo. En este caso, se necesita una descripción verbal exacta y la correspondiente anotación en los mapas de las ZE; algunos ejemplos son las líneas paralelas o acodadas y las prolongadas. Por ejemplo, el límite de una ZE puede ser paralelo a un determinado camino en un tramo claramente definido. O bien una parte de un límite de una ZE puede definirse como la prolongación de un camino claramente visible hasta otra característica también bien definida como un río o una vía férrea.

2.99. En muchos países quizás haya problemas específicos relacionados con la demarcación de las ZE. Por ejemplo, mientras que los poblados pueden ser asignados a unidades administrativas específicas, tal vez no esté definido el límite real de la zona que abarca el poblado. Asimismo, es necesario asignar una referencia geográfica a ciertas poblaciones especiales, como las circunstanciales, los nómades o el personal militar. Por ejemplo, con frecuencia el personal naval se asigna al puerto de origen. Estas cuestiones se examinan en detalle en la versión revisada de Principios y recomenda-

ciones para los censos de población y habitación (Naciones Unidas, 1998).

d) Demarcación de zonas de supervisión

2.100. Una vez demarcadas las ZE, el diseño de los mapas de supervisión suele ser sencillo. Las zonas de supervisión constan de grupos de 8 a 12 ZE contiguas que comparten algunas de las mismas características. Las ZE asignadas a la misma zona de supervisión deben ser compactas para reducir al mínimo el tiempo de viaje, y aproximadamente del mismo tamaño. Deben estar incluidas en la zona que abarca la misma oficina local que, por lo general, se define de acuerdo a las unidades administrativas.

2.101. Dependiendo del tamaño del país, pueden diseñarse niveles adicionales de zonas censales. En países grandes, con frecuencia coincidirán con las oficinas de estadística provinciales o regionales.

e) Concordancia con censos anteriores

2.102. Un censo proporciona un corte transversal del tamaño y las características de la población de un país y una de sus aplicaciones más importantes es el análisis de las variaciones de la composición de la población en el curso del tiempo. Con frecuencia, este análisis se realiza únicamente en niveles bastante agregados, por ejemplo el del país o de las provincias, pero las variaciones en las zonas locales tienen la misma importancia porque la dinámica de las zonas pequeñas afecta las decisiones en materia de planificación local. El análisis de las variaciones a nivel local resulta mucho más fácil si las unidades de empadronamiento siguen siendo compatibles de un censo a otro. Aunque existen técnicas estadísticas y de otros tipos que concilian la información en el caso de unidades incompatibles, estos procedimientos introducen errores en los análisis ulteriores. La mayoría de los usuarios de los datos de los censos carece, además, del conocimiento y los recursos especializados que se requieren para esas interpolaciones. El problema de modificar la base geográfica de un censo a otro es tan grave como la modificación de las definiciones de los puntos del cuestionario de un censo.

2.103. Por lo tanto, cuando se diseña la geografía censal, la oficina de censos debe tratar de mantener, tanto como sea posible, los límites de los censos anteriores. Quizás tengan que definirse nuevas zonas debido al aumento de la población. En estos casos, siempre es preferible subdividir la zona de empadronamiento existente antes que modificar los límites. Un analista puede simplemente hacer una agregación de una zona de empadronamiento subdividida para que los datos del nuevo censo sean compatibles con la información de un empadronamiento anterior.

Si los límites se alteran, habrá que recurrir a métodos de ajuste más complicados.

2.104. Un componente de la demarcación de las ZE que puede facilitar el análisis de las variaciones es la compilación de archivos de compatibilidad o equivalencia, que enumeran los códigos de cada zona de empadronamiento del censo en realización y el código correspondiente en un empadronamiento anterior. Si las unidades se han dividido o agregado, esto queda indicado en estos archivos.

f) Programa de codificación

2.105. Se debe asignar un código único a cada zona de empadronamiento, que se usará en el procesamiento de los datos para compilar la información obtenida sobre los hogares de cada ZE y para agregarla en zonas administrativas o estadísticas con fines de publicación. El código numérico también establece el vínculo entre los datos censales agregados y la base de datos digitales de los límites de la ZE que se guarda en un SIG. La codificación geográfica se examina en BUCEN (1978) (capítulos 2, 6 y 7). El programa ideal de codificación tiene que determinarse según cada país, pero siempre las normas que se usan para asignar códigos deben ser no ambiguas y estar diseñadas en colaboración con el personal que se ocupa de los aspectos geográficos y con el procesamiento de datos. Cuando se elabora un programa de codificación, los principios más importantes son la flexibilidad, la intuición y la compatibilidad con otros programas que se usan en el país. La oficina de estadística suele ser la que custodia estos códigos en el país y también ha de ser el punto focal para el diseño de los códigos de los mapas censales.

2.106. Si el programa de codificación es jerárquico será más fácil garantizar la coherencia y la claridad de los identificadores numéricos. Según este método, las unidades geográficas se numeran en cada nivel de la jerarquía administrativa —por lo general, dejando blancos entre los números para permitir la inserción en el futuro de zonas de creación reciente en ese nivel. Por ejemplo, en el nivel de la provincia, las unidades pueden numerarse 5, 10, 15, y así sucesivamente. Para las unidades administrativas de menor nivel y las zonas de empadronamiento puede usarse un programa similar. Puesto que con frecuencia son más los distritos de una provincia que las provincias de un país, en los niveles más bajos pueden necesitarse más dígitos. El identificador único para cada unidad del nivel menor —es decir, la zona de empadronamiento— consta entonces meramente de los identificadores concatenados de las unidades administrativas dentro de las que cae.

2.107. Por ejemplo, un país pequeño podría utilizar el siguiente programa:

Provincia	2 dígitos
Distrito	3 dígitos
Localidad	4 dígitos
ZE	4 dígitos

2.108. Un código de ZE 12 035 0175 0023 indica que la zona de empadronamiento 23 está ubicada en la provincia 12, distrito 35 y localidad 175. Este código único se almacena en la base de datos como un entero largo o una variable de 13 caracteres. El tipo de variable tiene que ser igual en la base de datos censales y en la geográfica. El almacenamiento como una variable de enteros tiene la ventaja que los subconjuntos de registros pueden seleccionarse con facilidad usando comandos de consulta estándar en cualquier sistema de gestión de bases de datos o SIG. Por ejemplo, con la consulta siguiente se encontrarán todas las zonas de empadronamiento dentro de la localidad número 175 en la base de datos o en el mapa digital:

```
SELECCIONAR ID > 1203501750000 E
          ID < 1203501760000
```

2.109. Por otra parte, el almacenamiento del código como una variable de caracteres puede mejorar la coherencia, por ejemplo usando ceros a la izquierda. En este caso, el código se considera una denominación antes que un número en secuencia.

2.110. En los casos en que las unidades administrativas e informantes no son jerárquicas, habrá que desarrollar convenciones especiales de codificación. De cualquier modo, es importante mantener una consistencia total en la definición y uso de los identificadores de unidades administrativas, ya que son el vínculo entre los límites de los SIG y los datos censales tabulares. En consecuencia, la oficina de censos debe mantener una lista maestra de ZE y unidades administrativas y sus códigos respectivos, y pasar todos los cambios que se hagan en dicha lista a las bases de los SIG y censales.

5. Diseño de la base de datos del sistema de información geográfica

a) Alcance de las actividades cartográficas

2.111. Una vez que el organismo censal ha tomado la decisión de que los beneficios que conlleva un programa cartográfico digital son superiores a sus costos, el paso siguiente será definir el alcance de las actividades cartográficas. Evidentemente, no existe un método uniforme que sea apropiado para todos los países. Según

el tiempo y los recursos disponibles, el país puede preferir iniciar un programa cartográfico integral que produzca una base de datos completa de los límites de las zonas de empadronamiento, o tal vez el objetivo sea confeccionar un mapa digital de unidades más agregadas, como los distritos para los mapas posteriores al censo. En los párrafos que siguen se describe la serie de opciones disponible.

i. Programa cartográfico completo de un censo (base de datos completa de las zonas de empadronamiento)

2.112. En el caso de los mapas censales, una estrategia ambiciosa sería producir una base completa de datos digitales de las zonas de enumeración, que estará debidamente georreferenciada y permitirá la agregación, la combinación con otras capas de mapas digitales y la divulgación a usuarios que necesitan datos demográficos detallados con referencias espaciales. Una vez más, las opciones para crear esta base son varias. Los límites digitales pueden extraerse de los mapas dibujados en papel producidos para el censo anterior. Las técnicas para convertir las líneas de los mapas de papel en límites digitales se examinan en la sección D que sigue. Otro enfoque es crear nuevas zonas de empadronamiento a partir de los mapas topográficos, lo que permite asignar con mayor facilidad coordenadas geográficas consistentes, o bien las coordenadas que definen la ZE pueden obtenerse trabajando en el terreno con sistemas mundiales de determinación de posición.

2.113. Dejando de lado el enfoque que se escoja, el desarrollo de una base completa de datos de zonas de empadronamiento es una tarea difícil. Es probable que en la mayoría de los países demande varios años de trabajo y la dedicación de un personal numeroso, así como muchos recursos de informática. No obstante, éste debería ser el objetivo a largo plazo de cualquier proyecto de censo.

Recuadro II.2. La experiencia de México en cartografía censal

2.114. Con el fin de formarse una idea del esfuerzo que implica un proyecto integral de cartografía censal, resulta instructivo examinar lo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas para la Geografía y la Informática (INEGI) en materia de mapas digitales para el censo de población de 1990^a. En 1987, el INEGI tomó la decisión de preparar mapas digitales para los 32 estados, 2.403 municipios, 24.131 AGEB (unidades estadísticas integradas por 25 a 50 bloques) y 905.576 bloques censales. La base resultante se denomina sistema automatizado de información geoestadística (SAIG).

2.115. Las fuentes de los datos sobre límites eran una diversidad de productos cartográficos estándar —mapas planimétricos de las ciudades y mapas topográficos— además de ortofotos digitales y mucho trabajo en el terreno a cargo del personal de varias oficinas regionales del organismo censal. Todo el proceso llevó aproximadamente dos años e intervinieron 123 empleados. El tiempo necesario para digitalizar, trazar y controlar la calidad en la producción de un mapa AGEB descendió de 4,5 horas al principio del proyecto a unos 45 minutos en las etapas finales.

2.116. El INEGI utilizó al principio programas estándar: AUTOCAD, un programa de diseño con la ayuda de la computadora (CAD) que respalda la digitalización y la edición básica, y Arc/Info, un programa integral de SIG. Más adelante, el INEGI desarrolló internamente un programa cartográfico que también se usa para divulgación (SCINE – sistema para consultar datos censales). Luego, el sistema fue adaptado para usarlo en los censos agrícolas y económicos y se crearon otros productos especiales como mapas del delito y bases de datos sobre incapacidades. El INEGI también prestó servicios de asesoría para el desarrollo de bases de datos censales de SIG en varios países latinoamericanos.

2.117. Entre los factores que han facilitado el éxito de proyecto de México se destacan el firme compromiso del INEGI con respecto al proyecto; en este organismo estadístico grande y bien financiado se tomó prontamente la decisión de aprovechar las nuevas tecnologías que surgían en cartografía no sólo para los mapas de los censos sino también para otras aplicaciones, y las estrechas vinculaciones institucionales entre las oficinas de estadística y de cartografía, que forman parte del mismo organismo, han permitido crear una sinergia que beneficia a las dos: la de censos tuvo acceso a la tecnología y el asesoramiento del organismo cartográfico y éste pudo integrar la información socioeconómica en sus propios productos. Además, el INEGI sigue una estrategia a largo plazo de cartografía censal que se caracteriza por la actualización y el perfeccionamiento constantes de la base digital. Después del enorme esfuerzo inicial que significó digitalizar cientos de miles de polígonos e integrarlos con los datos tabulares, el mantenimiento no resulta muy costoso y asegura un alto nivel de calidad de los censos y otras operaciones estadísticas. Por último, la disponibilidad de productos censales con referencias espaciales ha creado un nuevo mercado para estos datos entre las empresas privadas, los institutos educativos y los investigadores.

^a Este resumen se basa en Espejo (1996) y en comunicaciones personales con funcionarios del INEGI.

ii. Información de referencia en formato de vectores

2.118. Los límites de las ZE no son suficientes por sí mismos para las finalidades del empadronamiento, cuyos mapas deben mostrar otras características tomadas de los de base que permiten a los empadronadores encontrar la región que se les ha asignado y navegar dentro de la unidad censal. Dichas características incluyen las redes de calles, las líneas ferroviarias, accidentes hidrológicos como ríos y lagos, edificios destacados como templos, escuelas, fábricas o aeropuertos, asentamientos en escalas cartográficas pequeñas y construcciones individuales en escalas grandes e información sobre el terreno. Algunas de estas características definen los límites naturales de las zonas de empadronamiento. Por ejemplo, si las ZE se definen como manzanas urbanas delimitadas por calles, para el empadro-

nador es más fácil identificar la unidad censal que le han asignado.

2.119. Las características que deben captarse digitalmente para la preparación de mapas de empadronamiento dependen de los recursos disponibles. Parte de la información quizás pueda obtenerse de otros organismos gubernamentales o del sector privado. De lo contrario, la organización censal debe ponderar cuidadosamente las ventajas de tener otros datos en forma digital frente al tiempo y el personal que se requieren para producir otra capa de datos geográficos.

2.120. En la etapa de diseño conceptual hay que tomar también otras decisiones acerca de la forma en que se representarán las características en la base de datos. Por ejemplo, las calles pueden digitalizarse como lí-

neas dobles o simples; las casas, como polígonos que reflejan su forma real o con símbolos uniformes.

2.121. Las necesidades de recursos también dependen de la cantidad y complejidad de los atributos que se reúnen para las características geográficas. Por ejemplo, la base de datos de las calles de una ciudad podría constar simplemente de un conjunto de líneas, sin otras características. Si se almacena información sobre nombres de calles, tipo de superficie, cantidad de carriles, dirección (una o dos manos) o serie de direcciones postales en cada segmento, aumenta significativamente el tiempo que se requiere para completar la base, pero esta inversión adicional hará que el conjunto de datos sea más útil a los fines del censo y de muchas otras aplicaciones. En cada caso, habrá que ponderar las ventajas y desventajas por separado.

iii. Información de referencia en formato de cuadrícula escaneada

2.122. Una alternativa para el prolongado desarrollo que exige una base de datos vectorial de características geográficas de referencia es escanear y georreferenciar mapas topográficos ya existentes sobre los que puedan imprimirse después los límites de la ZE. Esto tiene la desventaja de que los cambios en la información de fondo —como nuevos caminos— no puede incorporarse con facilidad. Además, no hay ninguna información sobre atributos registrada para las características de fondo que pueda usarse para seleccionar o simbolizar características individuales. Por otra parte, el escaneo de los mapas topográficos es considerablemente más rápido y menos costoso que la digitalización, y el diseño cartográfico de mapas topográficos permite representar con claridad una información geográfica densa, algo que es difícil de lograr con los programas de SIG comerciales.

iv. Registro de centroides de zonas de empadronamiento únicamente

2.123. La tecnología informática ha permitido que un usuario medio emplee grandes y detalladas bases de datos geográficos de zonas de empadronamiento sólo en los últimos años. Antes de que se difundiera ampliamente este potencial económico de la computación, algunas oficinas de estadística usaban un método más sencillo para representar espacialmente la información censal. En lugar de representar una zona de empadronamiento como un polígono completo, cada ZE se representaba sumariamente con un punto representativo —habitualmente el centroide. Un ejemplo son los puntos representativos ponderados por población de los distritos de empadronamiento (DE) (la zona más pequeña

sobre la que se dan datos) correspondientes al censo de 1991 del Reino Unido (Openshaw, 1995). Las ubicaciones de los puntos se determinaban visualmente durante el diseño de la geografía censal en la Oficina de Censos y Encuestas Demográficas.

2.124. La ventaja de este método es su sencillez, ya que se usa la coordenada de un único punto para representar cada zona de empadronamiento, lo que produce archivos de tamaño pequeño y visualización rápida. Las coordenadas pueden determinarse a partir de los mapas disponibles o reunirse por medio de trabajo en el terreno, usando un sistema mundial de determinación de posición. Los datos de los censos pueden vincularse a los centroides de la base de datos de los SIG y mostrarse como símbolos puntuales. La desventaja es que una base de datos de centroides de ZE no tiene utilidad para los empadronadores durante la realización del censo. Por lo tanto, sólo sería un componente agregado dentro del método tradicional de dibujar mapas. Además, sobre todo en zonas rurales, donde el tamaño de las zonas de empadronamiento varía mucho, una única coordenada no proporciona suficiente información sobre la extensión real de cada zona. En consecuencia, la visualización cartográfica que usa símbolos puntuales puede dar lugar a errores de interpretación.

v. Mapas de verificación únicamente

2.125. Fueron pocos los países que utilizaron una estrategia cartográfica totalmente digital para la serie de censos de 1990; es probable que para la del 2000 el número aumente, pero sólo podemos esperar que la mayoría de los países emplee técnicas de SIG desde el principio al fin del proceso en las rondas censales siguientes. No obstante, muchos países han usado cartografía digital en las actividades posteriores al censo o de verificación para presentar y divulgar los resultados de los datos reunidos en la ronda de 1990. En el caso de los países que no han usado los SIG en las actividades previas, los mapas de verificación de los censos de nivel más agregado (es decir, distrito, arrondissement o municipio) brindan la posibilidad de familiarizarse con las técnicas, respaldar la presentación de los datos censales y ampliar la base de usuarios de información estadística.

2.126. Los mapas de verificación necesitan muchos menos recursos que los de zonas de empadronamiento completos, ya que habitualmente sólo hay que digitalizar unos pocos centenares de unidades administrativas. Esta actividad puede realizarse centralmente en una oficina de censos que luego podrá distribuir la información a las autoridades regionales de planificación y administrativas.

vi. *Método mixto*

2.127. Habida cuenta del tiempo que se necesita para formular un programa cartográfico completo, las oficinas nacionales de censos pueden preferir optar por seguir un método gradual para llegar a los mapas digitales. Por ejemplo, un país puede decidir usar los SIG para las zonas de empadronamiento de las ciudades más grandes únicamente y las técnicas manuales tradicionales para el resto del país. En censos futuros también se usarán los SIG para estas zonas.

2.128. En algunos casos, tal vez sea provechoso usar nuevas tecnologías como las fotos aéreas digitales o las imágenes de satélites en zonas remotas si no se dispone de mapas actualizados o resulta difícil trabajar en el terreno. En zonas urbanas en rápido crecimiento, las técnicas de teleobservación también permiten a la oficina de censos actualizar los mapas de las ciudades. Así pues, las nuevas tecnologías pueden ser útiles en el caso de deficiencias difíciles de salvar con los métodos tradicionales. Otro método mixto podría ser determinar las coordenadas que definen los límites de las ZE usando sistemas mundiales de determinación de posición y agregar manualmente edificios, caminos y otras características útiles para orientarse en la ZE.

vii. *Registro de direcciones georreferenciadas*

2.129. Algunos países no se limitan a digitalizar los límites de la zona de empadronamiento o área del censo. En lugar de producir mapas de pequeñas zonas informantes, crean bases de datos en las cuales la dirección de cada edificio está representada por una coordenada en un sistema adecuado de referencia geográfica. Cabe mencionar como ejemplo el sistema Address-Point desarrollado y comercializados por Ordnance Survey en el Reino Unido (Ordnance Survey, 1993), que tiene una precisión geográfica —aunque no necesariamente exactitud— en un nivel inferior al metro. Hay dos formas de crear estas bases de datos.

2.130. La primera opción es obtener una coordenada para cada edificio del país, sea por medio de la digitalización de los mapas disponibles urbanos y topográficos de pequeña escala o consiguiéndola por medio de las técnicas tradicionales. Por ejemplo, Statistics Canada está realizando pruebas experimentales de las actividades del censo de 2001; los empadronadores obtendrán una coordenada para cada estructura habitacional del país usando un sistema mundial de determinación de posición (Li, 1997). El marco resultante de viviendas georreferenciadas será el sistema de referencia más detallado de información censal del país. Los puntos que representan viviendas que cuentan con datos censales

podrán agregarse luego según las zonas de información estadística que se desee, usando operaciones sencillas de los SIG.

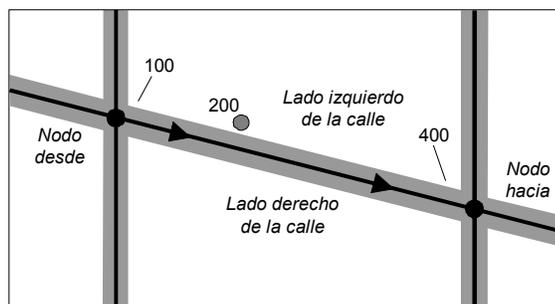
2.131. Hay otro método que resulta factible si se tiene una base de datos integral de la red vial y un archivo maestro de direcciones de la población. Una base de datos de la red vial consta de segmentos de caminos o calles. Un segmento de una calle es el tramo entre dos intersecciones, y la intersección se define como el lugar en que se reúnen tres o más segmentos de calles o el lugar en que la calle cambia de nombre. En los SIG, las calles están definidas por líneas que representan su centro y las intersecciones, como nodos (véase el gráfico II.7). En el cuadro de atributos geográficos internos, se enumera, para cada segmento, un nodo-desde y un nodo-hacia que se determinan por la dirección en que se digitalizó la línea. Una vez dada la dirección puede determinarse cuál lado del segmento es el izquierdo y cuál el derecho.

2.132. Para cada segmento de la base de datos de las calles hay que registrar la serie de números de dirección de ambos lados. Por lo tanto, el cuadro de atributos tiene por lo menos cinco campos, con un registro para cada segmento de calle:

- El nombre de la calle;
- La primera dirección del lado derecho de la calle;
- La última dirección del lado derecho;
- La primera dirección del lado izquierdo de la calle;
- La última dirección del lado izquierdo.

2.133. En la mayoría de los países que tienen sistemas de direcciones de calles, los números de un lado son pares y los del otro impares. Con esta información, un SIG puede ubicar cualquier dirección de la red de calles por medio de un proceso conocido como *comparación de las direcciones* (también llamado a veces *geocodificación*). Cada dirección de calle de la lista se evalúa y equipara con una ubicación en el correspondiente segmento. La ubicación se escoge sobre la base del número de la dirección en proporción con la gama de direcciones que comprende cada segmento. Por ejemplo, si las direcciones de un segmento van de 100 a 400, un valor de 200 se ubicaría en un tercio de la longitud del segmento (gráfico II.7). La determinación de la ubicación de la dirección requiere interpolación y, en consecuencia, no es exacta, pero suele ser bastante aproximada para cualquier propósito.

Gráfico II.7. Comparación de direcciones (geocodificación)



2.134. El sistema de geocodificación de las direcciones tiene una serie de ventajas obvias. Puesto que se conoce la ubicación de cada dirección de una calle y, por lo tanto, de cada vivienda, una oficina de censos puede volver a agregar espacialmente la información censal según cualquier conjunto nuevo de zonas informantes —por ejemplo, códigos postales, distritos sanitarios o unidades administrativas.

2.135. La creación de una base de datos de direcciones geocodificadas requiere, sin embargo, una inversión considerablemente mayor que la que representa zonas informantes. En consecuencia, habitualmente sólo la usan los países en que hay otro organismo, como la oficina de correos, interesado en su creación. En algunos países, el sector privado se encarga de crear bases de datos de direcciones de calles para aplicaciones comerciales —en general, de comercialización.

2.136. La comparación automatizada de las direcciones requiere una base de datos integral, que tenga también información sobre las series de direcciones. Este método no podrá usarse si los números de las direcciones no están asignados en secuencia. En algunos países, las casas se numeran según su fecha de construcción y no la secuencia que siguen en la calle. Por lo tanto, no podrán compararse las direcciones recurriendo a la interpolación. En este caso una estrategia más adecuada es registrar explícitamente la ubicación de cada vivienda produciendo un archivo maestro, con la dirección y la coordenada de cada unidad habitacional, siempre que se disponga de los recursos para compilar estos datos. Si bien es útil en un marco avanzado, no es probable que se adopte la geocodificación de las direcciones para la cartografía censal en muchos países en desarrollo.

2.137. Los registros de direcciones georreferenciadas o bases de datos de unidades habitacionales exigen que se consideren en especial los aspectos de confiabilidad de los datos. Puesto que cada vivienda puede ser identificada por su coordenada, incluso si no se tiene

información sobre la dirección textual, la oficina de censos debe mantener un total control de la base de datos maestra y divulgar la información sólo en forma agregada y anónima.

viii. Captación de información relacionada

2.138. La preparación de mapas censales demanda mucho trabajo en el terreno, lo que suele implicar que los cartógrafos tienen que visitar todos los puntos del país. Este proceso de reunión de datos constituye una oportunidad excepcional para obtener información adicional, con sólo un poco más de esfuerzo. Un producto útil es una lista completa de las coordenadas y nombres de todos los pueblos y otros asentamientos en el país. Los organismos nacionales de cartografía preparan estos nomenclatores, pero en general no se los actualiza sistemáticamente y se vuelven anticuados. La oficina de censos podría colaborar con dichos organismos en la tarea de actualización de los nomenclatores y, al mismo tiempo, verificar todas las coordenadas usando técnicas tradicionales o sistemas mundiales de determinación de posición.

2.139. Además, con un poco más de esfuerzo, es posible hacer un inventario detallado de la ubicación y las características de los centros de servicios. Muchos organismos estatales necesitan esa información para estudiar y planificar el acceso de la población a servicios públicos como hospitales, escuelas u oficinas públicas. Una base de datos geográficos de la ubicación de esos centros de servicios combinada con datos censales con referencia espacial amplía mucho las opciones en materia de análisis y planificación normativa.

b) Opciones de implementación

2.140. Después de definido el alcance de un proyecto de cartografía digital censal, habrá que tomar otras decisiones más con respecto a la implementación de la estrategia seleccionada.

i. Con georreferencia o sin georreferencia

2.141. Lo que diferencia a los SIG de los sistemas CAD o los gráficos por computadora es la capacidad que tienen los sistemas de información espacial para contribuir a lograr una referenciación geográfica consistente. Esto significa que cada entidad geográfica, como una unidad administrativa, un poblado o la ubicación de un centro de servicios, está definida por coordenadas geográficas del mundo real. La georreferenciación permite combinar conjuntos de datos de mapas espaciales procedentes de distintas fuentes (por ejemplo, distritos y regiones ecológicas) en un marco cohe-

rente y también que los usuarios fusionen subconjuntos individuales de un conjunto de datos más grande. Por ejemplo, pueden agregarse los límites distritales de varias provincias que fueron creados por separado para producir un conjunto de datos de nivel nacional.

2.142. En principio, a los fines de la realización de un censo, no se necesita la georreferenciación de los mapas de empadronamiento censal. Tradicionalmente se han usado mapas bosquejados a mano, que proporcionan información suficiente para que cada empadronador cumpla con su tarea. En general, estos mapas no se combinan para producir otros que cubran una región más grande, de modo que no importa si los límites de zonas de empadronamiento adyacentes trazados en mapas distintos se ajustan perfectamente. Por supuesto, los mapas también pueden dibujarse con un programa informático de gráficos. En este caso, cada mapa se referencia en su propio sistema relativo de coordenadas, que se mide en centímetros o en pulgadas a partir de un punto de origen en el ángulo inferior izquierdo de cada página de un mapa. La preparación de un mapa boceto usando un programa de gráficos facilitará las correcciones y las actualizaciones así como la producción de múltiples copias. Estos programas, en comparación con los SIG, suelen ser más baratos, más fáciles de aprender y, además, no necesitan computadoras tan poderosas.

2.143. La utilización de un SIG o un programa informático de cartografía aumentará los costos de producción de los mapas censales. Además, y más importante, la georreferenciación requiere conocimientos para manejar las coordenadas geográficas (véase el anexo II). Esto significa que se requiere más capacitación y más tiempo para terminar la fase de cartografía censal. Además, no todos los programas informáticos de cartografía y pocos sistemas CAD o de gráficos tienen las funciones que se necesitan para la georreferenciación. Estas funciones se usan para definir y modificar la proyección cartográfica de un mapa y eliminar las distorsiones que tienen los mapas bosquejados a mano.

ii. Nueva demarcación o conversión de la ya existente

2.144. El organismo nacional de censos debe decidir también si recurrirá a los productos cartográficos censales como los mapas boceto de censos anteriores o si demarcará nuevamente las zonas de empadronamiento. En la práctica, en la mayoría de los casos, se usará una combinación de datos de mapas existentes y trabajo en el terreno con fines de actualización y verificación. En la sección D que sigue, se examinan técnicas para convertir los datos en papel existentes y otras técnicas modernas para trabajar en el terreno.

iii. Preparación interna o contratación externa del trabajo cartográfico

2.145. Una oficina de estadística puede reducir o desplazar los costos que implica el establecimiento de un programa de SIG en varias formas y la más eficaz es compartir los costos con otros organismos del país. El ejemplo de las oficinas de estadística de América Latina, que con frecuencia se encuentran dentro de la misma organización marco que el organismo geográfico o cartográfico, ha demostrado la sinergia que se logra con una colaboración estrecha. Dichas oficinas se benefician de la capacidad cartográfica y los SIG de la división geográfica, mientras que la división de cartografía puede integrar información censal con referencias espaciales en su labor y productos cartográficos. Incluso cuando no existen esas vinculaciones institucionalizadas, una estrecha colaboración entre los organismos que tienen necesidades similares en materia de datos será beneficiosa. Por ejemplo, una oficina de estadística podría coordinar las campañas de reunión o compra de datos con los departamentos de planificación, educación o recursos naturales, lo que puede reducir en medida significativa el costo que supone adquirir, por ejemplo, datos obtenidos mediante teleobservación.

2.146. Una alternativa es asignar la totalidad del proceso cartográfico a otro organismo gubernamental o a una empresa del sector privado. Por ejemplo, para el censo de 1991, el Australian Bureau of Statistics trabajó con una empresa privada que produjo mapas de zonas de empadronamiento de todo el país. En los convenios celebrados entre la compañía y la oficina de estadística se establecen las normas de uso y ulterior comercialización de los datos.

2.147. La contratación externa plantea muchos de los problemas examinados en la sección 3 b) que trata la cooperación institucional. La ventaja para la oficina de estadística es la menor inversión en capacitación y equipos, y el ahorro de tiempo que supone un acceso inmediato a amplios conocimientos de los SIG. Las desventajas son la pérdida de control sobre el proceso cartográfico, el hecho de que no se crea experiencia en la institución y, posiblemente, un costo más alto a largo plazo, ya que el organismo pasa a depender de proveedores externos. En algunos países, quizás también sea difícil encontrar una empresa nacional que pueda prestar servicios en la escala necesaria para realizar un proyecto grande de cartografía censal. En la práctica, lo más apropiado es una combinación de actividades internas y servicios de consultoría externos.

iv. La importancia de evitar riesgos

2.148. Cuando se elige un enfoque adecuado para la cartografía censal, habrá que adoptar al mismo tiempo una estrategia apropiada de control del riesgo. Puesto que todo el censo depende de que se complete a tiempo el programa de los mapas de las zonas de empadronamiento, debe haber un cierto nivel de redundancia y planes alternativos en estas operaciones censales. Si se quiere actuar con un máximo de cautela, podría ser necesario seguir un enfoque paralelo de mapas digitales y manuales. Esta doble estrategia puede aplicarse hasta tener la plena seguridad de que los mapas digitales estarán listos a tiempo.

2.149. Para que los riesgos sean mínimos también se pueden realizar primero los mapas digitales de una región antes de ampliar el programa a todas las demás — algo similar a una etapa experimental prolongada— o bien limitar el método digital a ciertos aspectos seleccionados del proceso de cartografía censal. Por ejemplo, los mapas del terreno pueden hacerse manualmente y luego digitalizar los bocetos en lugar de utilizar técnicas digitales desde el principio. Aunque el tema de evitar los riesgos no debe obstaculizar la adopción de técnicas innovadoras, la consideración más importante cuando se elige una estrategia de ejecución es poder terminar las tareas cartográficas a tiempo.

c) Definición de la estructura de una base de datos de un sistema de información geográfica

i. Bases de datos relacionales

2.150. Antes de analizar la estructura específica de una base de datos censales de SIG, se examinarán los conceptos relativos a las relacionales, que se usan en la mayoría de los programas de SIG. El modelo de base de datos relacionales se utiliza para almacenar, recuperar y manipular cuadros de datos acerca de las características geográficas en la base de datos de las coordenadas. Se basa en el modelo de entidad-relación.

2.151. En un contexto geográfico, una entidad puede ser una unidad administrativa o censal, o cualquier otra característica espacial sobre la que se compila información. Por ejemplo, una entidad podría representar la característica “zona de empadronamiento” (véase el gráfico II.8). Cada zona de empadronamiento de un distrito o un país es una instancia de esta entidad y se representa como una fila en el cuadro de la entidad. En cambio, el tipo de entidad se refiere a la estructura del cuadro de la base de datos: los atributos de la entidad que se almacenan en las columnas del cuadro y que, en el caso de una zona de empadronamiento, pueden ser el identificador único, la superficie, la población, el código

de la zona de supervisión (ZS) a la que se asignó esa ZE y así sucesivamente. Cabe mencionar que el tipo de entidad solamente se refiere a la definición genérica del cuadro, no a los valores registrados para cada instancia. Uno o más atributos (columnas) en el tipo de entidad se usan como claves o identificadores; uno de ellos es la clave primaria, que funciona como identificador único del tipo de entidad y que, en el caso una base de datos de una zona de empadronamiento, es su código.

Gráfico II.8. Ejemplo de un cuadro de entidades – zona de empadronamiento

Entidad: zonas de empadronamiento

Tipo (atributos)

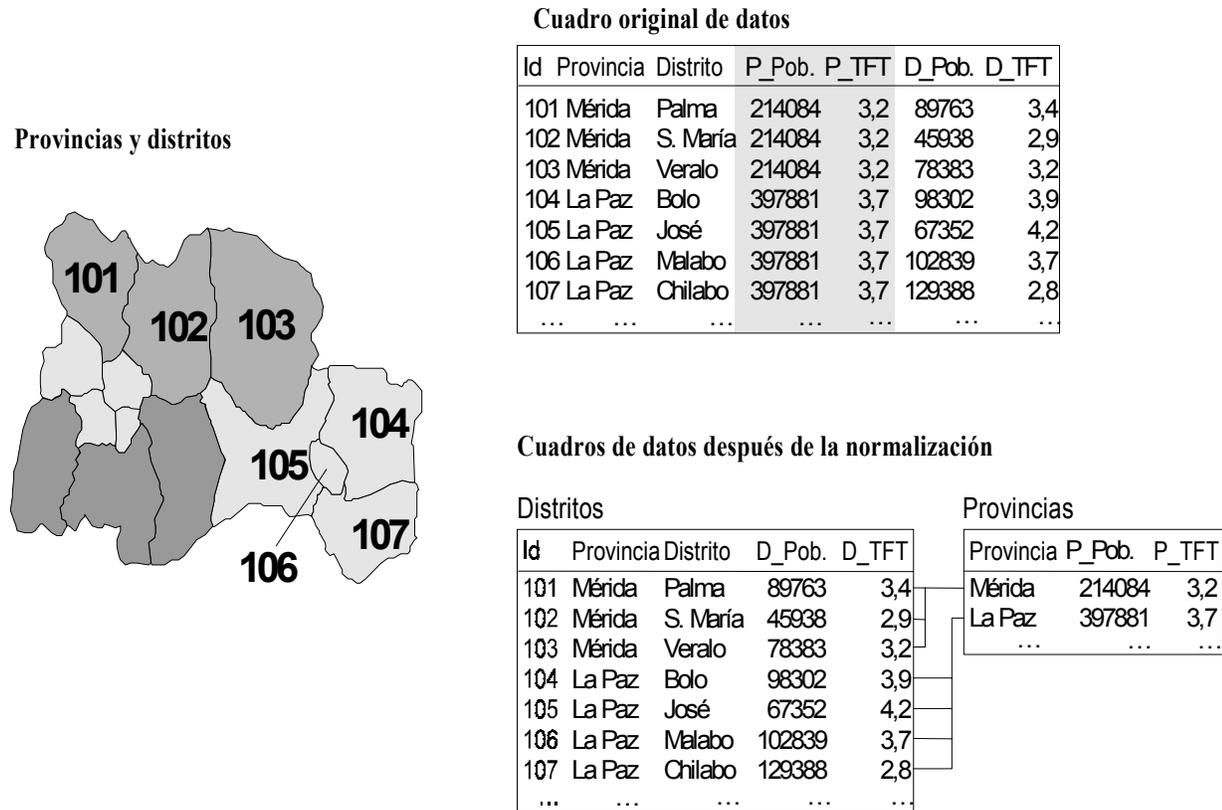
	Cód.ZE	Superficie	Pobla.	Cód. ZS
<i>Instancias</i>	723101	32,1	763	88
	723102	28,4	593	88
	723103	19,1	838	88
	723201	34,6	832	88
	723202	25,7	632	89
	723203	28,3	839	89
	723204	12,4	388	89

Clave primaria

2.152. Las relaciones definen la asociación entre las entidades. Por ejemplo, se puede vincular un cuadro que describe las zonas de empadronamiento con otro de la zona de supervisión de la entidad. Este cuadro tiene atributos como el nombre del supervisor, la oficina regional responsable e información sobre los contactos. La clave primaria del cuadro es el código del supervisor, que también aparece en el cuadro de las ZE. Así pues, un sistema de gestión de bases de datos relacionales puede unir los dos cuadros de manera tal que cada instancia en el cuadro de las ZE quede equiparada con la correspondiente del cuadro de la ZS.

2.153 El procedimiento por el cual se define una base de datos relacionales mediante una serie de pasos se denomina normalización y se obtiene así una base con redundancia mínima. En otras palabras, los datos se organizan en una serie de cuadros, con lo que se evitan los valores que se repiten muchas veces. Esto reduce el espacio necesario para el almacenamiento y evita errores que podrían cometerse en operaciones normales de las bases de datos como la inserción, la eliminación o la actualización.

Grafico II.9. Cuadros de bases de datos relacionales



2.154. En el gráfico II.9 puede verse la diferencia que hay entre un simple cuadro de datos y su forma normalizada, tomando como ejemplo una base de datos de un distrito. En el primer caso, la información sobre las provincias se repite para cada distrito que se encuentre en ellas, desperdiciando espacio de almacenamiento y, además, dificultando la actualización o modificación de dicha información, pues habría que reemplazar los valores correspondientes a cada distrito. En la estructura normalizada, se reemplazó el nombre de la provincia por un código numérico más compacto, que sirve de vínculo con un segundo cuadro, en el que el código de la provincia es la clave primaria de la información para ella, que incluye su nombre, población y tasa de fecundidad total. Después de unir las dos bases de datos en forma temporal por medio del código de la provincia, se puede tener acceso a la información sobre la provincia para cada instancia del cuadro del distrito.

2.155 Definir una estructura nítida para la base de datos no es tarea trivial. Algunos programas de gestión de bases de datos tienen funciones de normalización que crean automáticamente una estructura de base de datos

relacionales pero, por lo general, ésta no puede sustituir el diseño integral de toda la base de datos. El modelo entidad-relación se describe con más detalle en Hohl (1998) en el contexto de la conversión de datos de SIG. Batini y otros (1992) ofrecen una introducción más genérica e integral.

ii. Componentes de la base de datos de un censo

2.156. Una base de datos integral de un SIG está integrada por un mapa digital de las zonas de empadronamiento de un censo y, en la mayoría de los casos, también por una serie de capas de mapas básicos que aportan el contexto y la orientación de los mapas de empadronamiento definitivos. Las capas de datos básicos pueden ser los caminos, los ríos, los edificios o los asentamientos, cada uno de los cuales estará en una base de datos de SIG distinta; es decir que los caminos y los ríos, por ejemplo, no estarán almacenados en el mismo archivo digital, aunque ambos se representan como líneas.

2.157. Antes de comenzar a ingresar y a convertir los datos, los funcionarios de la oficina de cartografía cen-

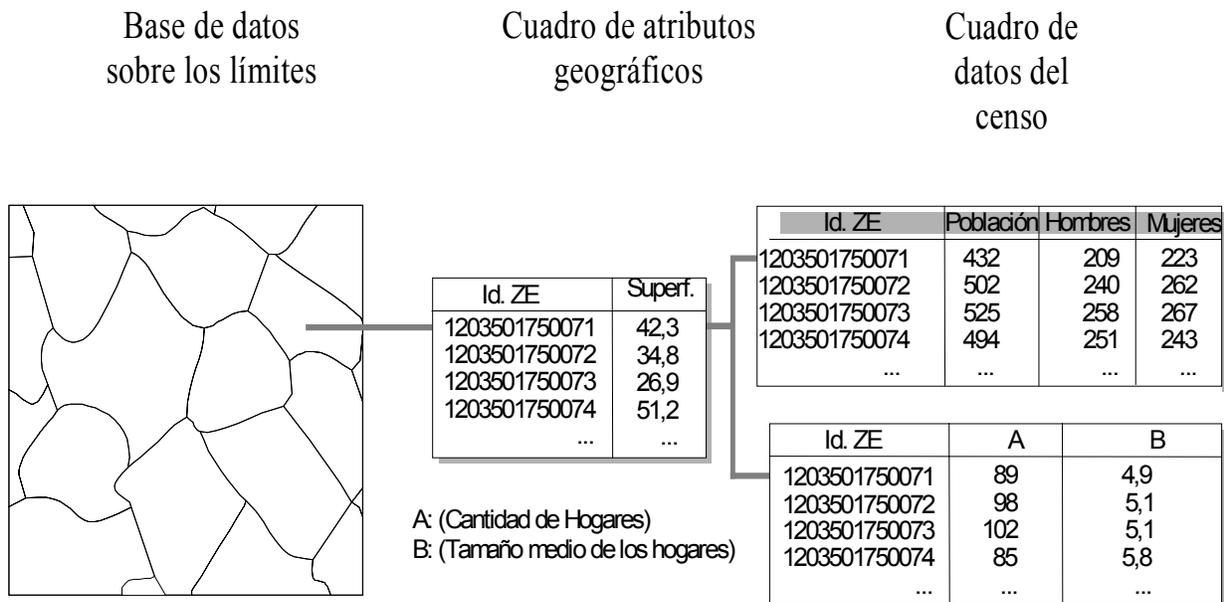
sal deben diseñar la estructura de todos los conjuntos de datos de SIG que se producirán. La definición de la estructura constará de una descripción detallada de todas las convenciones y directrices que hay que cumplir para asegurar la consistencia de los productos finales. Una buena planificación evitará confusiones e incompatibilidades en etapas siguientes.

2.158. El primer paso es pensar en el aspecto que tendrán los productos finales. Por ejemplo, es probable que la base de datos digital y completa de las zonas de empadronamiento tenga los siguientes componentes (véase el gráfico II.10):

- La base de datos espaciales sobre los límites, con las superficies (polígonos) que representan las unidades censales;

- El cuadro de atributos geográficos. Un archivo de la base de datos que está vinculado internamente con la base de datos espaciales y contiene un registro de cada polígono. El cuadro contiene al identificador único de cada unidad censal y, posiblemente, algunas otras variables estáticas, es decir, invariantes, como la superficie de la unidad en kilómetros cuadrados;
- Los cuadros de datos censales, que contienen los atributos no espaciales, esto es, los indicadores censales de las unidades espaciales. Cada uno de estos archivos debe contener el identificador único de la unidad censal, que proporciona el vínculo con los registros correspondientes en el cuadro de atributos de los polígonos. Habrá un registro para cada unidad censal.

Gráfico II.10. Componentes de una base digital de datos espaciales de un censo



2.159. La base de datos de los límites y el cuadro de atributos geográficos están estrechamente vinculados – de hecho, representan un solo conjunto de datos. Durante la planificación del censo, se compilará, para cada zona de empadronamiento, cierta información básica relacionada, como las estimaciones de las unidades habitacionales o de la población, y algo de documentación. Esta información externa sobre las unidades censales se almacenará en cuadros de datos separados en un sistema genérico de gestión de bases de datos y, desde allí, se puede vincular, según sea necesario, con los datos sobre los límites en el cuadro de atributos geográficos mediante el identificador en común –el código de la ZE. De manera similar, después del censo, la información se almacena por separado en un sistema de gestión de bases de datos. Para crear mapas temáticos de los resultados del censo, se vinculan los datos de los límites y los del censo mediante los identificadores únicos del cuadro de atributos de los polígonos. Es evidente que las secciones de cartografía censal y de procesamiento de datos deben cooperar estrechamente para asegurar que las bases de datos censales producidas por el programa de entrada y tabulación de datos se correspondan con los archivos de los límites geográficos.

2.160. Habitualmente, se preparan bases de datos distintas de cada nivel administrativo o conjunto de zonas

estadísticas sobre el que se publican datos censales. Cuando se actualizan los límites a cualquier nivel, habrá que cambiar todas las otras bases de datos que los contengan. Lo mejor es hacer todos los cambios en la base maestra de datos de los límites en el nivel más bajo de agregación (es decir, la base de datos al nivel de las ZE) y producir cada base de un nivel más alto de unidad administrativa o estadística usando operaciones corrientes de agregación.

2.161. Algunas de estas capas de datos básicos pueden ser mucho más sencillas que el mapa digital de la zona de empadronamiento. Por ejemplo, en el caso de una base de datos de caminos, pueden haberse reunido sólo unos pocos atributos —el nombre o el identificador de los caminos, si se lo tiene, el tipo de superficie y la cantidad de carriles. En este caso, puede no ser necesario almacenar la información descriptiva de los atributos en un cuadro distinto sino que, para simplificar, es posible incluirlos a todos en el cuadro de atributos geográficos.

2.162. En ciertas etapas, entre y durante los censos, se deberían crear conjuntos de datos de referencia. Por ejemplo, debería haber una única versión de la base de datos cartográficos de un censo nacional que se corresponda con cada actividad de reunión de datos o con cada aplicación estadística relacionada. Se pueden producir distintos conjuntos de datos agregados de los límites correspondientes a cada unidad informante sobre la que se requieran datos. Estos conjuntos de datos de referencia deberían archivarse en forma permanente, para que pueda haber, a partir de la misma base maestra, datos del censo de 1995, de una encuesta grande de 1997 y de una elección de 1998.

iii. Definición del contenido de una base de datos (modelización de los datos)

2.163. Una vez determinado el alcance de las actividades geográficas, la oficina de censos debe definir y documentar la estructura de las bases de datos geográficos con más detalle. Este procedimiento se conoce como modelización de los datos e implica la definición de las características geográficas que han de incluirse en la base de datos, sus atributos y sus relaciones con otras características. Se obtiene así un diccionario detallado de datos que sirve de guía para el desarrollo de la base de datos y también como documentación en etapas posteriores.

2.164. Cabe destacar que muchas bases de datos de SIG se crean sin ningún tipo de modelización detallada. Esta etapa exige tiempo y un determinado nivel de conocimiento de los conceptos relativos a las bases de da-

tos. La inversión adicional que implica se justifica en un proyecto integral de cartografía censal. La modelización de los datos impone un nivel de rigurosidad y consistencia que garantiza una alta calidad y un fácil mantenimiento de la base de datos. Cuando una oficina de cartografía censal realiza este procedimiento por primera vez, sería conveniente que consulte a un experto en bases de datos de SIG para que dirija al grupo de trabajo.

2.165. Como se dijo antes, muchos organismos nacionales e internacionales ya han comenzado a elaborar modelos genéricos de datos de información espacial como parte de la infraestructura nacional de datos geográficos (a veces conocida como infraestructura geomática). Muchas veces, la oficina de censos podrá simplemente adaptar la norma nacional para los datos espaciales a las necesidades específicas de la reunión de datos estadísticos. Cuando no se dispone de esta información, hay que elaborar internamente un modelo de datos y para esta tarea serán útiles las plantillas de las oficinas de cartografía o estadística de otros países.

2.166. En el anexo III se da un ejemplo del aspecto que tendría la descripción de un modelo de datos en un diccionario. Las normas para los metadatos, que se estudian en la siguiente sección, y los diccionarios de datos más sencillos que acompañan a las bases que se distribuyen al público, se relacionan con estos modelos (véase el anexo IV).

d) Desarrollo de metadatos

2.167. En este manual se recomienda considerar a la cartografía censal como un procedimiento a largo plazo, y no como una actividad que se realiza de cuando en cuando. Se entrará muchas veces a los elementos de una base de datos durante períodos largos, aunque quizás no constantemente. La posibilidad de que haya cambios frecuentes de personal significa que la memoria institucional debe basarse en algo más que los recuerdos de los analistas que desarrollaron los datos al comienzo. Es esencial, por ende, documentar detalladamente todos los pasos que se cumplieron para desarrollar la base de datos espaciales digitales para el censo.

2.168. La información sobre la calidad, el formato y las etapas de procesamiento de los datos, así como toda otra información relativa a un conjunto de datos se denomina metadatos o “datos sobre los datos”. Los metadatos cumplen varias funciones, a saber:

- Facilitan el mantenimiento y las actualizaciones de los conjuntos de datos digitales de un organismo;

- Ayudan a distribuir los datos, proporcionando información sobre su aptitud para ser usados por usuarios externos;
- Sustentan la integración de los conjuntos de datos producidos en forma externa en los datos que ya posee un organismo.

2.169. Es evidente que no todos los productores de datos considerarán esenciales a los mismos metadatos. Por ello, muchos países han comenzado a elaborar normas generales para los metadatos geográficos, con el fin de unificar las convenciones para documentar la información espacial, convenciones que respaldan el desarrollo de una infraestructura nacional de datos espaciales, pues facilitan el intercambio y la integración de los datos espaciales. En el nivel internacional, varios organismos intentan coordinar el desarrollo de normas para metadatos espaciales entre grupos de países, como el Working Group on Geographic Information/Geomatics de la ISO (www.statkart.no/isotc211/), el Open Information Interchange Service de la Comisión Europea (www2.echo.lu/oii/en/oii-home.html) y el Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific (www.permcom.apgis.gov.au).

2.170. Como los datos de los censos referenciados espacialmente son una parte integral de la infraestructura nacional de datos espaciales, se debería integrar la elaboración de mapas digitales de los censos con otras actividades cartográficas del país. En lo que se refiere a los metadatos, esto significa que la oficina de censos debe adoptar una norma nacional o regional, si es que existe. Una estrecha cooperación con las autoridades nacionales responsables —por lo general, la oficina nacional de cartografía o una junta consultiva interdepartamental— hará más fácil la introducción de estas normas. Si no hay una norma nacional, la oficina de censos ahorrará tiempo y recursos adaptando una adecuada de otro país en lugar de elaborarla desde el comienzo.

2.171. Un ejemplo de una norma de metadatos bien desarrollada y muy usada es Content Standards for Digital Geospatial Metadata (Normas de contenido para los metadatos digitales geoespaciales, CSDGM), elaborado por el National Geographic Data Committee en los Estados Unidos (www.fgdc.gov), que muestra los tipos de información que se incluyen en una base de metadatos. La norma es muy amplia y varias comisiones especializadas elaboran directrices para tipos específicos de datos. El Subcommittee on Cultural and Demographic Data (Subcomisión de datos culturales y demográficos), por ejemplo, forma parte de la oficina de censos de los Estados Unidos (www.census.gov/geo/www/standards/scdd; véase FGDC, 1997b). En el

párrafo que sigue, sólo se examinan los componentes principales de la definición de los metadatos.

2.172. Las CSDGM constan de siete secciones principales y se pueden considerar como una plantilla de una base de datos con campos que describen diferentes aspectos de un conjunto de datos espaciales. Algunos campos contienen ciertos conjuntos de códigos o atributos predefinidos, pero muchos de los elementos son campos de texto, donde el productor de los datos describe características de la base de datos, como la calidad o el linaje. Los elementos más importantes se consideran obligatorios, y deben registrarse para cada conjunto de datos. Este conjunto de campos obligatorios es un buen punto de partida para la definición de la plantilla de metadatos de la oficina de censos. Otros campos se etiquetan “obligatorio, si se aplica” u “opcional”.

2.173. Los componentes principales de la norma son:

- *Información relativa a la identificación*, incluido el título del conjunto de datos, su cobertura, las palabras clave, su objetivo, un resumen y las restricciones de acceso y uso;
- *Información sobre la calidad de los datos*, como una evaluación de la exactitud horizontal y vertical, la consistencia lógica, la exactitud semántica, la información temporal, y la integridad y linaje de la base de datos. El linaje incluye la fuente de datos que se usó para producir el conjunto, las etapas de procesamiento y los productos intermedios;
- *Información sobre la organización de los datos espaciales*, que se refiere a la forma en que se almacenan los datos como puntos, vectores o cuadrícula, e incluye información digital sobre las distintas placas de los mapas;
- *Información sobre la referencia espacial*, incluida la proyección cartográfica y todos los parámetros que definen el sistema de coordenadas;
- *Información sobre las entidades y los atributos*, que contiene definiciones detalladas de los atributos del conjunto de datos: los tipos de datos, los valores permisibles y las definiciones. Es prácticamente la misma información que contendría un diccionario de datos, tal como se lo describió antes;
- *Información sobre la distribución*, incluido el distribuidor de los datos, el formato de los archivos, los tipos de medios fuera de línea, los vínculos a los datos en línea, procedimiento para los pedidos y cargos;

- *Información de referencia sobre los metadatos*, que aporta información sobre los metadatos mismos, en particular, quién los creó y cuándo.

2.174. Además de las siete secciones principales, la norma de contenidos incluye tres elementos de menor importancia, a los que se hace referencia con frecuencia en las secciones principales. No es necesario repetir estos elementos muchas veces, sólo hay que almacenarlos en un lugar. Estas tres secciones son:

- *Información sobre las citas* que asegura que se haga referencia cabal a la fuente de los datos, su título, fecha de publicación y editor;
- *Información temporal*, que puede incluir una única fecha, varias fechas o un período;
- *Información de contacto*, como la persona y/o el organismo al que se puede llamar, su domicilio, teléfono y dirección de correo electrónico.

2.175. Una ventaja de la normalización de la información sobre los metadatos entre productores oficiales y de otra índole es que se pueden crear sistemas genéricos para su gestión y utilización. Por ejemplo, existen una serie de instrumentos de administración del CSDGM, entre ellos, los formularios de registro en formato de texto, de base de datos o de buscador Web (mediante Internet o una intranet) y los lectores de los metadatos que se pueden usar en bibliotecas o sistemas de distribución de datos por Internet. Los proveedores de programas comerciales también agregaron instrumentos de documentación a sus programas para facilitar la creación de metadatos en formato CSDGM.

2.176. La definición de la plantilla que se usará para el proyecto de cartografía censal es sólo un aspecto de la gestión de los metadatos; el otro aspecto es la aplicación de procedimientos de mantenimiento. La oficina de censos debe decidir cuándo se registrarán los metadatos y quién lo hará, en qué formato se almacenarán —formularios de papel o archivos digitales— y quién supervisará la integridad, exactitud y utilidad de la información resultante. La creación de metadatos debe acompañar cada paso de la creación de la base de datos y no ha de considerarse simplemente la última etapa de la documentación. En beneficio de usuarios externos o futuros, hay que considerar que los metadatos son tan importantes como las propias bases de datos espaciales.

- e) *Cuestiones relacionadas con la calidad de los datos*

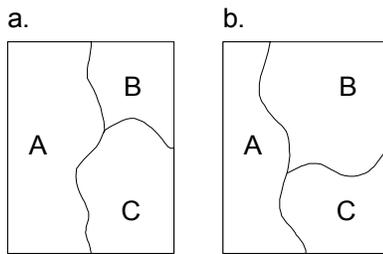
- i. *Requisitos de exactitud*

2.177. La creación de normas aceptables de exactitud para los datos es, quizá, una de las tareas más importantes cuando se planifica un proyecto de elaboración de una base de datos digitales. Estas normas ya existen en algunas esferas, como en la gestión de servicios públicos y de instalaciones, o en la elaboración de mapas del terreno o hidrológicos; y pueden adoptarse para cualquier proyecto nuevo. En cambio, la cartografía censal siempre se ha realizado en forma ad hoc, con técnicas manuales y mapas boceto y muy poca preocupación por la exactitud geográfica. Esto era suficiente siempre y cuando los mapas se usaran solamente para el censo. Pero con los SIG, los mapas censales se han convertido en una parte integral de muchas aplicaciones analíticas del sector público, del sector privado y del ámbito académico. Este es un factor de peso que justifica la inversión en cartografía digital. Cuando se combinan los mapas censales con otras fuentes de datos geográficos digitales, se ponen de manifiesto de inmediato las deficiencias de exactitud. Por lo tanto, los requisitos de exactitud para la cartografía censal digital son mayores que los que exigen las técnicas tradicionales.

2.178. En un SIG la exactitud se refiere tanto a los datos de los atributos —el cuadro de atributos geográficos y los datos de los censos que se le pueden adjuntar— como a los datos geográficos. Las cuestiones relativas a la exactitud de los datos de los atributos son similares a las que se relacionan con las actividades de ingreso y procesamiento de los datos de los censos y, por lo tanto, serán analizadas brevemente. La exactitud de los datos geográficos se refiere a los puntos, líneas y polígonos que se almacenan en una base de datos de SIG y que describen las características sobre la superficie terrestre.

2.179. La exactitud de los datos geográficos puede ser lógica y posicional. Esta última también se denomina a veces exactitud absoluta. La primera se refiere a la integridad de las relaciones entre las características geográficas. Por ejemplo, un camino en una capa de datos de SIG debe conectarse con un puente en otra capa. Un río almacenado en una base hidrológica que define el límite entre dos unidades administrativas debe coincidir con el límite entre esas dos unidades. Y una ciudad representada como un punto en una base de datos debe caer en su correspondiente unidad administrativa en otra capa de SIG. Las mismas relaciones lógicas se pueden representar correctamente en mapas diferentes de distinto aspecto. Por ejemplo, en el gráfico II.11, los dos mapas representan correctamente las relaciones de vecindad entre tres unidades administrativas.

Gráfico II.11. Exactitud lógica

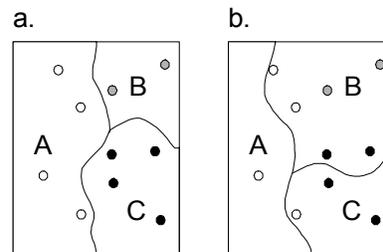


2.180. En cambio, la exactitud posicional indica que las coordenadas de las características de una base de datos de SIG son correctas en relación con sus verdaderas posiciones en la superficie terrestre. Esto significa que las mediciones cartográficas deben realizarse con un grado suficiente de precisión, utilizando dispositivo exactos, como los sistemas mundiales de determinación de posición. Claro está que un conjunto de datos que no tiene errores posicionales también representará exactamente las relaciones lógicas entre las características geográficas.

2.181. En algunas aplicaciones, la exactitud lógica es más importante que la posicional. Para una base de datos censal, puede ser más importante saber que una cierta calle define el límite de una zona de empadronamiento que saber que las coordenadas representan la ubicación de la calle en el mundo real con mucha exactitud. De hecho, los mapas boceto producidos en actividades tradicionales de cartografía censal suelen ser lógicamente exactos, pero tienen poca exactitud posicional. Esto no constituye un obstáculo cuando los mapas sólo se utilizan para facilitar el empadronamiento, en tanto las distorsiones no impidan orientarse en dichas zonas. Pero si los mapas censales se usan luego para otras finalidades, pueden aparecer problemas significativos.

2.182. En el gráfico II.12, por ejemplo, se muestra un conjunto de puntos de muestreo para una encuesta, que se han determinado usando un sistema mundial de determinación de posición muy exacto. El mapa de base es muy exacto en términos posicionales y, por lo tanto, los puntos están en la unidad administrativa correcta. El mapa de base del gráfico II.12b, en cambio, es exacto lógicamente, pero tiene un nivel bajo de exactitud posicional. Algunos de los puntos medidos con el GPS de modo exacto, por ende, caen en unidades administrativas equivocadas. Esto dará a resultados incorrectos cuando se agreguen las respuestas a la encuesta por unidad administrativa.

Gráfico II.12. Problemas que surgen si no se mantiene la exactitud posicional



○A ○B ●C

2.183. En consecuencia, lograr un grado suficiente de exactitud posicional debería ser el objetivo de un procedimiento de cartografía censal digital si los límites resultantes van a usarse en otras etapas, además del empadronamiento en sí. Indudablemente, hay muy pocos conjuntos de datos geográficos que sean 100 por ciento exactos. En cualquier proyecto cartográfico, manual o digital, se debe compensar la exactitud que se puede lograr y el tiempo y los fondos que se necesitan para alcanzar este nivel de calidad de los datos. Normalmente, un aumento incremental de la exactitud de más del 90 al 95 por ciento requiere de más tiempo y recursos de lo normal. De hecho, algunas estimaciones sostienen que aumentar la exactitud del 95 al 100 por ciento requeriría de un 95 por ciento del total del presupuesto de un proyecto (Hohl, 1998).

2.184. En la cartografía topográfica es habitual definir las normas de exactitud en función de la ubicación de lugares puntuales. Las alturas, por ejemplo, deben estar dentro de los x metros de su verdadera posición en y por ciento de todos los casos. El error aceptable aumenta a medida que disminuye la escala cartográfica. Por ejemplo, en un mapa de escala 1:25.000, el error debería ser menor que en un mapa de escala 1:100.000. Como los mapas censales se basarán en gran medida en los mapas topográficos disponibles, se deben establecer las normas de exactitud de los primeros con ayuda de los expertos de los organismos nacionales de cartografía. Esto también asegurará la compatibilidad entre la calidad de los productos del proyecto de cartografía censal y los de otras series de mapas nacionales digitales.

2.185. Aunque sería deseable un alto grado de exactitud posicional, las normas muy estrictas se traducirán en costos más altos, excesivas expectativas de los usuarios y posiblemente frustración entre los cartógrafos, quienes no siempre podrán lograr objetivos muy exigentes. Las normas muy poco rigurosas pueden resultar en productos de calidad insuficiente. Los usuarios los rechazarán si conocen sus limitaciones o los utilizarán

con demasiada confianza, lo que puede provocar errores graves en los resultados de los análisis. Un concepto popular en la creación de bases de datos de SIG es el de “apto para uso”, que toma en cuenta el hecho de que los datos espaciales digitales nunca son perfectos; aunque pueden ser adecuados para una tarea, su calidad tal vez sea insuficiente para otra.

2.186. Cuando se determinan las normas de calidad, la oficina de censos debe tener en cuenta no solamente sus necesidades internas, sino también las de los usuarios externos. Por ello, las directrices relativas a la exactitud de los datos deben elaborarse en colaboración con todos los interesados, como parte de la evaluación de las necesidades de los usuarios. Las normas también se verán afectadas por los recursos disponibles, la calidad de los materiales fuente —la información de las diferentes capas de datos puede tener calidad variable— y la tecnología elegida para reunir los datos en el terreno.

ii. Control de calidad

2.187. El control de calidad es el conjunto de procedimientos y convenciones que aseguran que las bases de datos que se elaboran durante el proceso de cartografía censal cumplen con las normas de exactitud que se definieron. La versión revisada de *Principios y recomendaciones para los censos de población y vivienda* (Naciones Unidas, 1998) hace hincapié en la importancia del control de calidad y proporciona un panorama general de estas cuestiones en el proceso censal. Estos conceptos generales también se aplican a la cartografía censal.

2.188. Las pruebas y la verificación de errores constituyen la parte esencial del procedimiento de control de calidad. Pero también es una cuestión de actitud del personal de la oficina de cartografía censal, que debe tratar de limitar los errores en cada etapa del procedimiento de conversión de datos. Se los debe alentar a que informen sobre los problemas que tienen los productos, pues los problemas recurrentes pueden indicar que los procedimientos son inadecuados o que hay deficiencias en la capacitación de los funcionarios que requieren un cambio de tareas o la modificación del equipo o las técnicas. Por lo tanto, es importante que los funcionarios no teman informar sobre los problemas que surjan en su propio trabajo y que comprendan claramente el objetivo general de los procedimientos de control de calidad.

2.189. Si bien la especialización en diferentes tareas puede mejorar la calidad general de los datos en la mayoría de los casos, las numerosas tareas que intervienen en la creación de una base de datos de SIG son bastante

repetitivas. Un trabajo monótono puede provocar más errores, porque hace que disminuya la concentración. Esto se puede evitar rotando las tareas, lo que además permitirá al personal conocer los diferentes aspectos de todo el procedimiento de conversión de datos y comprender mejor sus tareas y, por lo tanto, la calidad general del producto mejoraría. También se debería pedir a los funcionarios que recomienden cambios en los procedimientos para lograr una mejor calidad de los datos. Estas recomendaciones deben evaluarse en un ambiente controlado —no durante las actividades corrientes— antes de poner en práctica los cambios. Así pues, la tarea de lograr datos de la mayor calidad posible se convierte en un procedimiento continuo.

2.190. Los procedimientos de control de calidad consisten en métodos manuales y automatizados, que son preferibles por ser rápidos y confiables. Pero muchos aspectos de la conversión de los datos se pueden evaluar solamente por medio de la inspección visual y la comparación. En el caso de los datos de atributos geográficos, las técnicas automatizadas son similares a las que se utilizan para la entrada de datos censales. Las verificaciones de los intervalos y los códigos aseguran que los campos de atributos sólo contienen valores permitidos. La cantidad de unidades administrativas o censales en una base digital de datos debe corresponderse con la respectiva cantidad en la lista maestra de zonas geográficas. El identificador de la zona geográfica es el campo principal en la base de datos censales de SIG, pues asegura la correspondencia entre los mapas básicos digitales y los datos censales agregados. Por lo tanto, la mayor parte de los recursos dedicados a la verificación —automatizada y manual— de los datos de atributos se deberían destinar a asegurar que no haya errores en este atributo.

2.191. Las opciones de control automatizado de la calidad de los datos geográficos son bastante limitadas. Algunos programas de SIG controlan la exactitud de la topología de la base de datos: por ejemplo, si cierran todas las zonas y conectan todas las líneas. Una base de datos de un poblado se puede combinar con un conjunto de datos sobre los límites de una unidad administrativa de calidad conocida para asegurar que los identificadores administrativos en la base de datos del poblado son correctos (una operación de punto en polígono). Algunos errores son evidentes, como cuando los límites de dos unidades administrativas que se digitalizaron independientemente no se corresponden. Otros son más difíciles de detectar, por ejemplo, cuando faltan algunos límites internos o caminos de un conjunto de datos de SIG. Por ello, el control de calidad de los productos cartográficos depende, en su mayor parte, de la compa-

ración visual de los materiales fuente (mapas, fotografías aéreas, etc.) con los datos digitalizados. Con esta finalidad, se imprimen los mapas digitales preferiblemente en la misma escala que los mapas fuente. Luego se comparan el material fuente y el producto, ya sea poniendo uno al lado del otro, o superponiéndolos en una mesa iluminada. Cualquier error sistemático apunta a un problema en los procedimientos de conversión de datos, que debe tratarse inmediatamente. Nunca se debe dejar el control manual de los errores en manos del funcionario que produjo los datos.

2.192. Hay que documentar todos los pasos del control de calidad. Por lo general, el medio más adecuado es un formulario de papel, aunque también se pueden usar formularios automatizados y digitales. Este formulario debe especificar el procedimiento de control de calidad que se realizó, cuándo y quién lo realizó, quién elaboró los datos que se verificaron y los resultados de las pruebas. Estos registros no solamente documentan la exactitud de un conjunto de datos y su linaje, sino que también pueden señalar cuáles son los funcionarios que necesitan recibir más capacitación.

2.193. El resultado de la aplicación de un conjunto uniforme de procedimientos de control de calidad debería ser un producto final de exactitud aceptable. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos, se agrega un último paso conocido como garantía de calidad, que consiste de otra serie de verificaciones y un último procedimiento de resolución de problemas. La garantía de calidad se examina en la sección E.

f) División del territorio nacional en zonas operativas

2.194. Una base completa de datos digitales de las zonas de empadronamiento consta de miles de unidades. En el caso de los países más grandes, no resulta muy práctico almacenar todos los polígonos que representan las ZE en la misma capa de datos físicos. En cambio, se puede dividir el territorio nacional en zonas operativas. En una estructura censal descentralizada, las diferentes oficinas regionales y sus operadores pueden trabajar simultáneamente en distintas partes de la base de datos. Si se logra que haya consistencia entre los límites de las subsecciones de la base de datos nacional, las partes separadas se pueden combinar en etapas posteriores para producir mapas distritales, provinciales o nacionales. Pero este proceso requerirá un cierto ajuste de bordes, lo que implica que se deberán vincular manualmente las características conectadas que cruzan dos o más placas.

2.195. En el caso de los países más grandes, es probable que la labor cartográfica esté descentralizada. Si es así, las zonas operativas quedan definidas naturalmente por el sector que es responsabilidad de cada oficina regional de censos. Por ejemplo, un país puede encargarse de un trabajo de cartografía censal a cuatro oficinas regionales, y la oficina central actúa simultáneamente como organismo de coordinación general y como una oficina regional. En cada oficina, las bases de datos se pueden subdividir en zonas más pequeñas. Si se trabaja con bases de datos de menor tamaño, es menos lo que se necesita en términos de informática. La división en partes más pequeñas también permite que varios operadores trabajen simultáneamente en partes distintas de la base de datos.

g) El mapa básico digital administrativo

2.196. Si se elige un enfoque descentralizado, la oficina nacional de censos debe crear primero una plantilla de todo el país con los límites de los principales niveles administrativos. Por ejemplo, debería crear, adquirir o encargarse de la preparación de un conjunto de límites espaciales digitales de las provincias, los distritos e, idealmente, también de los subdistritos. Estos límites deben ser muy exactos y suficientemente detallados de modo que sirvan para elaborar de los mapas de las ZE en escalas cartográficas más grandes (por ejemplo, por lo menos 1:250.000). Además deberán usarse durante todo el procedimiento de elaboración de los mapas del censo y también para la distribución de la información referenciada y agregada en estos niveles administrativos.

2.197. Es posible que la oficina nacional de cartografía ya haya elaborado estos límites en formato digital. En este caso, constituirán el mapa básico digital de las unidades administrativas del país reconocido oficialmente (véase el examen de las infraestructuras nacionales de datos espaciales en la sección 3 b) anterior). Los códigos de la base administrativa deben corresponder con los que se usaron en la base de datos del censo.

2.198. Los límites distritales oficiales de cada zona operativa se deben enviar a las oficinas encargadas de demarcar las zonas de empadronamiento. Los límites de éstas se registran entonces en estos polígonos que representan las unidades administrativas oficiales, lo que garantiza que, en cualquier agregación posterior, los límites de los distritos aledaños encajarán perfectamente. Si cada oficina local digitalizó los límites de los distritos por separado, es muy probable que los límites no coincidan perfectamente, y será necesario editarlos. Además, se duplicaría el trabajo, pues los mismos límites serían digitalizados por la oficina o el operador de cada región aledaña.

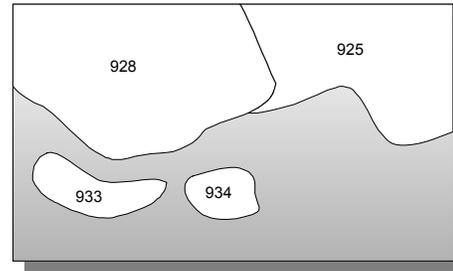
h) Unidades zonales disjuntas

2.199. Por lo general, las unidades administrativas se dividen en unidades o polígonos espaciales distintos y separados. Por ejemplo, un distrito puede estar formado por un sector en el continente y una serie de islas. Para el procesamiento de los datos del censo, esto no constituye un problema, pues habrá sólo un registro en cada cuadro de datos que se aplica al distrito, pero en la base de datos de los atributos geográficos, este distrito tendrá dos o más registros –uno para cada polígono, lo que ocasionará problemas cuando se vincule la información sobre los atributos con los polígonos mediante un cuadro de atributos geográficos. En un sistema de base de datos relacionales, el registro de los datos del censo se vincula con cada polígono de la base de datos de SIG que tiene el mismo identificador distrital. La representación de densidades o valores medios en un mapa no presenta problemas. El ingreso medio o la densidad de población son los mismos en todo el distrito, pero los datos de conteo, como la población total o la cantidad de hogares, sí presentan problemas cuando se quiere la suma del total de la población de todos los distritos. Como los registros se repiten para cada polígono del mismo distrito, habrá cierto doble conteo y el total final será exagerado. Hay dos formas de encarar este problema.

2.200. Algunos programas avanzados de SIG permiten definir regiones, que pueden constar de uno o más polígonos, pero hay solo un registro de cada región en el cuadro de atributos geográficos. El sistema lleva el control de cuáles son los polígonos que pertenecen a cada región. En algunos programas, las regiones se pueden incluso superponer, aunque no es útil para las aplicaciones censales, donde las zonas de empadronamiento deben ser mutuamente excluyentes.

2.201. Muchos programas sencillos de SIG no tienen esta opción. En este caso, una solución fácil es agregar un campo de datos adicional (un “valor marcador”) al cuadro de atributos geográficos. Este campo tomará el valor de uno para el polígono más grande en el distrito y de cero para los más pequeños. Antes de sumar o promediar el valor de cualquier atributo, el usuario puede seleccionar primero solamente los polígonos que tengan un valor de uno en este campo. Se podría agregar otro campo que contenga la cantidad de polígonos que pertenecen a la misma unidad. Esta información se puede generar rápidamente, usando la operación de frecuencia o de tabulación cruzada del programa.

Gráfico II.13. Unidades administrativas de varios polígonos



Identifi. interno	Identifi. admin.	Nombre admin.	Marcador
925	02015	Kalana	1
928	02012	Bagor	1
933	02012	Bagor	0
934	02012	Bagor	0

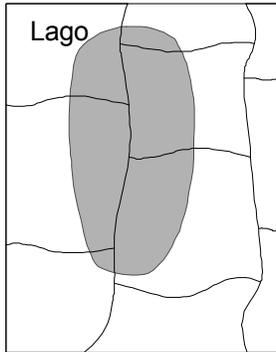
i) Cálculo de superficies

2.202. La utilidad de las bases de datos censales será mayor si se incluyen una serie de variables geográficas corrientes. La más importante es la superficie de cada zona de empadronamiento o unidad administrativa. Cualquier programa de SIG puede calcular la superficie de un polígono si la base de datos está bien referenciada en una proyección de área equivalente. Pero dependiendo de la resolución y exactitud de los límites digitalizados, puede haber un error considerable en las mediciones, por exceso de generalización e islas sin computar porque su escaso tamaño no permite incluirlas en un mapa de escala pequeña. Por ello y si las hay, es preferible usar las cifras más exactas que produce la oficina nacional de cartografía.

2.203. Las cifras de superficie se utilizan para producir estimaciones de la densidad, en especial, de la población. Las cifras que se publican generalmente se refieren a la superficie de toda la jurisdicción de la unidad administrativa –es decir, su superficie total. A veces, esto puede producir estimaciones algo erróneas. En un caso, por ejemplo, una publicación sobre un censo nacional notificaba la superficie de varios distritos alrededor de un gran lago, que incluía en los distritos la porción del lago desde la costa hasta la línea central (véase el gráfico II.14), lo que duplicaba la superficie total de algunos distritos. En consecuencia, las densidades de población se subestimaron por un factor de dos. Cuando se utilizan estadísticas oficiales de la densidad de población, por ejemplo, como criterio para la asignación de recursos, o para determinar la elegibilidad de

una zona para ciertos programas públicos, la definición de la densidad puede tener consecuencias graves.

Gráfico II.14. Lago que cubre una superficie muy grande de varias unidades administrativas



2.204. En los países que tienen este problema, la oficina de censos puede optar por registrar dos campos: la superficie total de una unidad administrativa, y la superficie terrestre, es decir, la superficie total menos la superficie cubierta por masas de agua y posiblemente otras zonas deshabitadas, como las zonas protegidas, y algunos países también dan a conocer la superficie de las tierras agrícolas. Esto permite a los usuarios calcular las densidades de población agrícola o bien la cantidad de hectáreas de tierra agrícola disponible por habitante en el distrito. Estas superficies son muy fáciles de calcular en un SIG si se usan las capas de datos adecuadas, teniendo en cuenta las advertencias en cuanto a la generalización mencionada antes. De cualquier forma, es importante que las definiciones de superficies netas se documenten apropiadamente.

2.205. Como la mayoría de los programas de SIG clasifican cada polígono de la base de datos como un registro separado, las superficies de las unidades administrativas o censales que se componen de más de un polígono no servirán para calcular densidades. En cambio, hay que agregar las superficies de todos los polígonos que pertenecen a la misma unidad administrativa o censal, lo que se puede hacer con las funciones adecuadas de tabulación cruzada de los SIG.

D. Desarrollo de la base digital de datos cartográficos

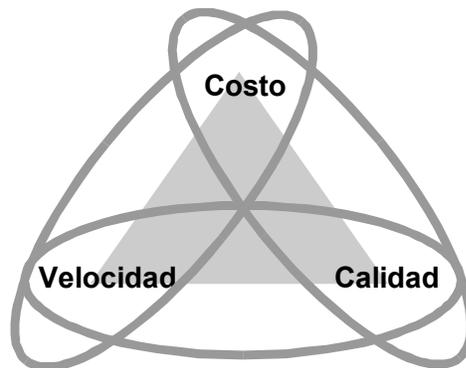
1. Panorama general

2.206. En el desarrollo de la base digital de datos de los censos se utilizan dos fuentes: la conversión e integración de los productos cartográficos existentes, que

pueden estar impresos en papel o digitalizados, y la reunión de datos adicionales, mediante el trabajo en el terreno, las fotografías aéreas o las imágenes satelitales. La expresión conversión de datos se usa para referirse colectivamente a estos pasos (véanse Montgomery y Schuch, 1994; Hohl, 1998).

2.207. La estrategia que será mejor para convertir los datos depende de muchos factores, entre ellos la disponibilidad de datos y las limitaciones que imponen el tiempo y los recursos. Siempre habrá que sopesar el costo del proyecto, el tiempo necesario para completar la conversión y la calidad del producto final (gráfico II.15). Por lo general, sólo es posible optimizar dos de los tres objetivos, a expensas del tercero. Por ejemplo, es posible crear con rapidez una base de datos de alta calidad, pero a un costo muy alto. Se pueden producir datos buenos a un precio bajo, pero esto lleva mucho tiempo. O bien se puede desarrollar una base de datos rápidamente y a un costo bajo, pero el producto resultante será de escasa calidad.

Gráfico II.15. Ventajas y desventajas del proceso de conversión de datos (según Hohl, 1998)



2.208. En el gráfico II.16, se esbozan los pasos básicos del procedimiento de conversión de los datos que producirá una base digital de datos completa para un censo. Un examen de las fuentes impresas o digitales permitirá identificar los datos faltantes. Tal vez los mapas existentes estén desactualizados, o la escala de los mapas topográficos sea insuficiente para los fines censales. Cuando la calidad de los materiales existentes para ciertas zonas es insuficiente, hay que crear una estrategia para reunir datos en el terreno o por medio de algún otro método.

2.209. Los límites y las ubicaciones puntuales de las características geográficas que se necesitan para el censo —las ubicaciones de los edificios y de los poblados, la infraestructura de caminos, los ríos y cualquier otra

información utilizada para demarcar las zonas de empadronamiento— deben delinearse en forma digital a partir de mapas de papel, mapas boceto, fotografías aéreas impresas o imágenes satelitales que hayan sido publicados. Esto se puede hacer digitalizando — trazando las características con un cursor tipo ratón— o escaneando para luego convertir la imagen al formato vectorial. A pesar de que la tecnología de digitalización y de escaneo se perfecciona constantemente, ésta sigue siendo la parte más tediosa de la conversión de datos. A la captación de los datos le sigue la edición, la construcción de la topología de una base de datos de SIG y el referenciamiento de todas las coordenadas en una proyección cartográfica adecuada (a veces, este paso se puede integrar en las actividades de digitalización).

2.210. Al mismo tiempo, hay que importar al SIG las bases de datos digitales de, por ejemplo, productos creados por otro organismo público y las coordenadas reunidas en el terreno usando sistemas mundiales de determinación de posición. Puede ocurrir que haya que convertir las coordenadas del GPS de ubicaciones puntuales a líneas y límites que muestren las características lineales y poligonales, como los ríos o las ciudades. Después de unir los códigos de los atributos con todas las características de la base de datos, se pueden juntar los mapas digitales que se crearon por separado, para formar una base de datos continua de toda la región, que mostrará, según el alcance de las actividades cartográficas, las características geográficas principales, los puntos de referencia, la infraestructura, los asentamientos y los edificios. Sobre la base de esta información, los funcionarios de la oficina de censos pueden demarcar las zonas de empadronamiento en forma interactiva usando la información de referencia geográfica.

2.211. Paralelamente al desarrollo de datos, los funcionarios de la oficina de censos deben mantener una lista de todas las zonas administrativas y de empadronamiento que están delineadas en la base. Esta lista computarizada es el cuadro de atributos geográficos y se vinculará con la base de datos de SIG completada.

2.212. El diagrama de flujo del gráfico II.16 muestra solamente una de las posibles secuencias que se seguirán en la conversión de datos. Es posible delinear, en especial, los límites de las zonas de empadronamiento en varios momentos del proceso. Por ejemplo, las fotografías aéreas escaneadas y adecuadamente referenciadas muestran suficiente detalle como para que un operador pueda demarcar los límites digitales de las zonas de empadronamiento en la pantalla, usando dichas fotos como referencia. Los límites también se pueden dibujar a mano en mapas adecuados de papel y digitalizarlos junto con otra información proveniente de esas

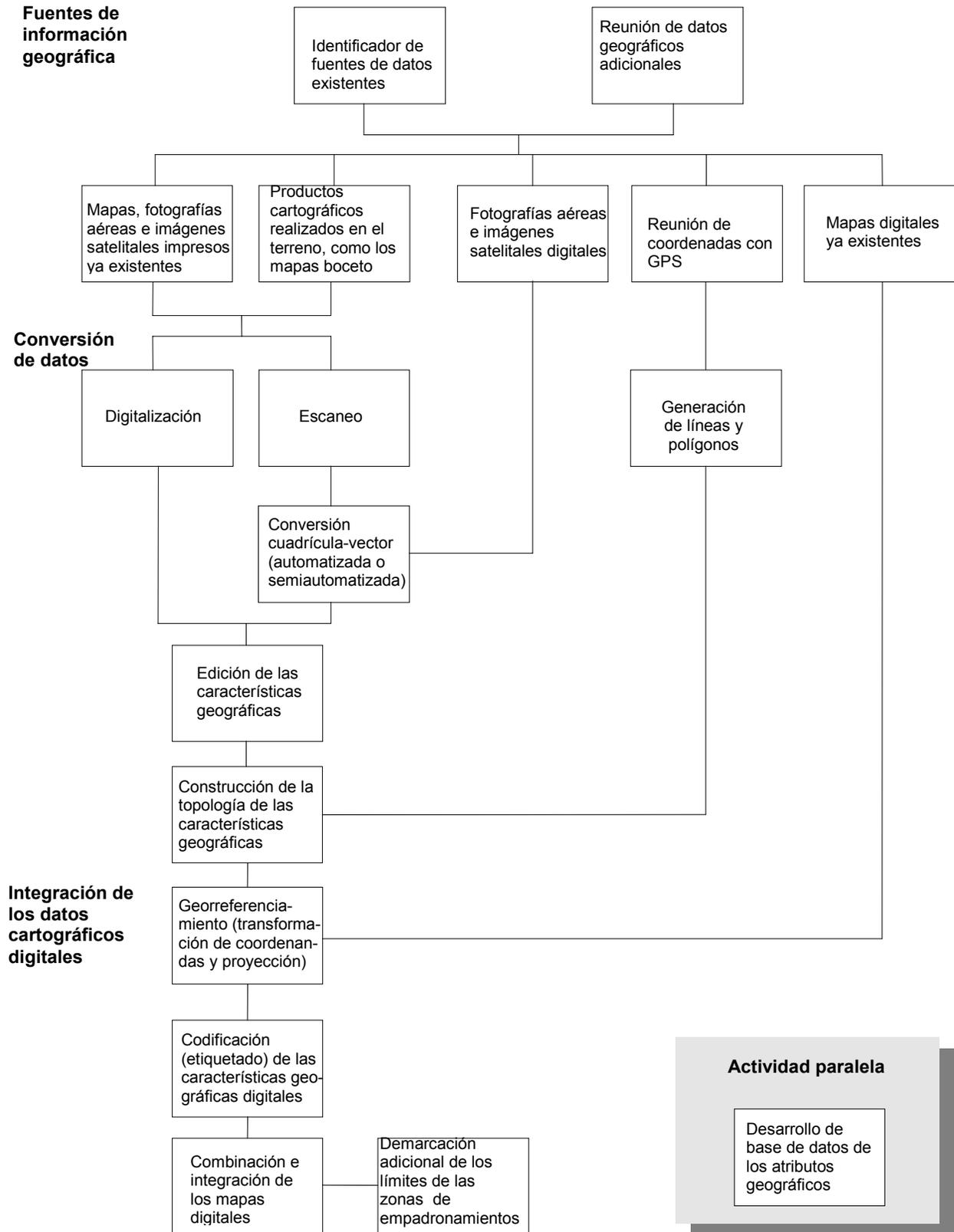
fuentes impresas. Hay otros pasos que se pueden cumplir en orden diferente. Por ejemplo, la mayoría de los programas de SIG permiten realizar la georreferenciación al comienzo de la digitalización, eliminando así un paso adicional en una etapa posterior.

2.213. Cualquiera sea el proceso que se elija, la oficina de censos debe evaluar la viabilidad del método por medio de un estudio piloto, que habitualmente implica una prueba de la metodología en una zona de muestra pequeña. El estudio piloto permitirá identificar pronto los problemas, y así se podrán ajustar mejor la tecnología y los procedimientos, o modificarlos o, en el peor de los casos, descartarlos. La información que se obtenga de las pruebas piloto también facilitará las actividades de programación y presupuestación, pues permiten evaluar cabalmente los requisitos de personal y equipo y el tiempo requerido para realizar todas las actividades.

2.214. La zona piloto debe ser representativa de la mayor parte de las regiones del país que sea posible. En otras palabras, debe incluir un alto grado de variación, abarcando zonas urbanas y rurales, regiones con modalidades de asentamiento características, tierras agrícolas y zonas de vegetación tupida o de otras características que impiden la reunión de datos en el terreno.

2.215. Con frecuencia, los proveedores de programas y equipos de SIG están dispuestos a cooperar en un estudio piloto porque esperan beneficiarse de la venta de sus productos si son adecuados para el proyecto de cartografía censal. Los proveedores también aportarán datos de referencia, lo que es importante para las aplicaciones de alta capacidad, como la producción de un gran volumen de mapas y el acceso generalizado a la base de datos. Es muy fácil probar algunas técnicas en una parte del territorio del país. Por ejemplo, los receptores GPS no son costosos y los funcionarios de la oficina de censos pueden evaluar las técnicas de datos en el terreno. Pero puede resultar muy costoso obtener fotografías aéreas digitales de un sitio pequeño que se escoge para la prueba piloto. En este caso, se podrían obtener productos más antiguos o muestras de fotos aéreas de un país con condiciones similares.

Gráfico II.16. Pasos para el desarrollo de una base de datos de SIG de un censo



2. Fuentes de datos cartográficos para la elaboración de mapas de las zonas de empadronamiento (adquisición secundaria de datos)

a) Tipos de mapas requeridos

2.216. En casi todos los casos, un programa de cartografía censal deberá consultar los mapas impresos ya existentes para producir una base digital de datos cartográficos o para actualizar una base de datos de SIG que ya se tiene. Los geógrafos de la oficina de censos deben obtener todos los mapas actualizados del territorio de un país, incluidos los siguientes tipos de mapas (véase también BUCEN, 1978, capítulo 2):

- Mapas nacionales generales, normalmente en escalas entre 1:250.000 y 1:5.000.000, según el tamaño del país. Estos mapas deberían mostrar las principales divisiones civiles, la ubicación de las zonas urbanas, y las características físicas más importantes, como los caminos, ríos, lagos, alturas y puntos especiales de referencia. Estos mapas se usan para la planificación;
- Mapas topográficos en escalas grandes y medianas. La disponibilidad de estos mapas variará según el país (véanse Boehme, 1991; y Larsgaard, 1993). Algunos países tienen una cobertura completa en una escala de 1:25.000 o 1:50.000, pero en otros países la serie completa de mapas más grande está en una escala de solamente 1:100.000 o 1:250.000;
- Mapas de ciudades en escalas grandes, que muestren los caminos, las manzanas, parques, y demás;
- Mapas de las unidades administrativas en todos los niveles de división civil;
- Mapas temáticos que muestren la distribución de la población en la fecha de los censos anteriores, o cualquier característica que pueda ser útil para la cartografía censal.

2.217. En teoría, si se quiere incorporar estos mapas a una base de datos de SIG, deberían tener una documentación integral, incluida la información de referenciamiento geográfico, con la escala cartográfica y el datum geográfico, la fecha de compilación, el organismo que lo compiló y la leyenda completa. Pero incluso sirven los mapas que no están adecuadamente georreferenciados si muestran información pertinente para la elaboración de mapas censales. En estos casos, las ventajas de la información adicional normalmente serán mayores que los recursos necesarios para integrar estos datos en la base censal de los SIG y también mayores

que los problemas asociados con cualquiera de esos productos.

b) Inventario de las fuentes existentes

2.218. Todos los mapas obtenidos deben estar bien documentados y ordenados según la organización del programa de cartografía censal –esto es, por región o distrito censal. En BUCEN (1978, cap. 6) se examinan los inventarios de mapas y la creación de una biblioteca cartográfica.

2.219. Además de las fuentes de mapas impresos, habrá cada vez más fuentes cartográficas digitales de muy distintos orígenes. Sin duda, los mapas digitales tienen la ventaja de que se pueden manipular y adaptar con más facilidad a los objetivos de la cartografía censal, pero no siempre directamente. Si no hay documentación, a menudo no es posible determinar la proyección correcta, y es difícil evaluar la calidad de los datos. Se debe tomar contacto con los siguientes organismos e instituciones para saber si pueden aportar mapas impresos o digitales que sean útiles:

- Instituto geográfico nacional/oficina de cartografía. Este es el organismo cartográfico principal del país, pero en algunos de ellos, carece de los recursos necesarios para producir mapas topográficos en escalas cartográficas grandes o para convertir los mapas en una base de datos digitales;
- Servicios militares de cartografía. En algunos países, la principal organización de cartografía es parte de las fuerzas armadas. El fuerte de estas organizaciones es la fotografía aérea y la interpretación de datos obtenidos mediante teleobservación;
- Gobiernos provinciales, distritales o municipales. Los organismos públicos locales utilizan los SIG cada vez con mayor frecuencia para administrar la información sobre el transporte, los servicios sociales y los servicios públicos, así como para planificar la información pertinente;
- Varios organismos públicos o privados que trabajan con datos espaciales:
 - El organismo que se ocupa del reconocimiento geológico o hidrológico;
 - El organismo de protección ambiental;
 - El organismo de transportes;
 - Las compañías del sector de servicios públicos y de comunicaciones;

- Los organismos encargados de otorgar los derechos de propiedad;
- Las actividades de los donantes. Las actividades a nivel de proyecto llevadas a cabo por organismos multinacionales o bilaterales de ayuda a veces tienen componentes cartográficos. Estos proyectos frecuentemente cuentan con los medios para comprar y analizar los datos obtenidos mediante teleobservación o fotografías aéreas, que pueden resultar muy útiles para el organismo cartográfico.

c) Importación de datos digitales existentes

2.220. La importación directa de datos digitales es, en la mayoría de los casos, la forma más sencilla de convertir los datos espaciales digitales. Lamentablemente, hasta ahora no se ha logrado una norma aceptada en forma universal para la transferencia de datos espaciales. Por lo tanto, la transferencia se basa en el intercambio en formatos de archivo en su mayoría patentados, usando las funciones de importación/exportación de los programas comerciales de SIG.

2.221. Todos los sistemas informáticos tienen vinculaciones para otros formatos, pero la cantidad y funcionalidad de las rutinas de importación varían según el programa. Con frecuencia surgen problemas porque los productores de programas no están dispuestos a dar a conocer públicamente los formatos de archivo exactos de sus sistemas. Sus competidores utilizan alguna forma de tecnología inversa para determinar los formatos de archivo exactos y permitir así a sus clientes importar archivos externos. En consecuencia, las rutinas de importación a veces son inestables y a menudo pierden parte de la información de los archivos originales. En algunos casos, es mejor pasar por un tercer formato en lugar de intentar importar directamente el archivo de intercambio de otro programa. Por ejemplo, la mayoría de los programas de SIG permiten utilizar el formato de intercambio de dibujo de Autocad (DXF), que está bien documentado. Por lo tanto, las funciones de exportación e importación de DXF de otros programas comerciales suelen ser bastante confiables.

2.222. Habrá menos problemas si la oficina de cartografía censal emplea programas de SIG integrales y de uso generalizado. Es más probable que los sistemas avanzados contengan funciones de importación para una gran cantidad de formatos de intercambio. También es más probable que otros productores puedan ofrecer datos de SIG en el formato original de esos programas. La capacidad de importación es un criterio importante

para elegir un programa de SIG. También se puede usar un programa de conversión de un tercer productor.

2.223. Además de los problemas de convertir los archivos de datos de un formato a otro, la dificultad más común cuando se usan datos digitales ya existentes es la ausencia o la insuficiencia de los metadatos. Sin esta información, es difícil evaluar la calidad de la información digital. Lo que es peor, si falta la información sobre el marco de referencia geográfico, puede ser imposible convertir los datos desde el sistema de coordenadas del conjunto de datos externo al que se usa en la oficina de censos. De manera similar, si faltan los códigos o el diccionario de datos, será complicado interpretar los atributos geográficos y de los datos incluidos en los cuadros de atributos del conjunto de datos de SIG. En consecuencia, cuando los datos se obtienen de fuentes externas, la oficina de censos debe insistir siempre en que se le entregue toda la documentación.

2.224. Otros problemas que se pueden presentar son las diferencias en las definiciones y métodos de codificación, el uso de sistemas cartográficos de referencia distintos, escalas espaciales incompatibles y normas de exactitud dispares, que provocan el desplazamiento de características que deberían corresponderse en dos bases de datos distintas. Para resolver estos problemas, será necesario procesar y editar los datos en medida considerable, a fin de poder aprovechar la totalidad de los mapas digitales existentes.

3. Reunión de datos geográficos adicionales (adquisición primaria de datos)

a) Panorama general de las técnicas que se usan en el terreno

2.225. A pesar del advenimiento de tecnologías como los sistemas mundiales de determinación de posición, contar con la especialización tradicional para la reunión de datos en el terreno sigue siendo útil para la cartografía censal. Muchas veces, funcionarios capacitados de la oficina de cartografía censal deberán actualizar los mapas en el terreno, lo que puede incluir la preparación de mapas boceto, que se georreferencian más tarde con información derivada por el GPS. Las técnicas tradicionales que se usan en el terreno para las aplicaciones censales se describen en detalle en BUCEN (1978, cap. 5) y por ello no se examinarán en este manual.

b) Sistemas mundiales de determinación de posición

2.226. En los últimos años, la tecnología GPS ha revolucionado la cartografía en el terreno. Como los precios de los receptores de GPS han bajado, se han integrado

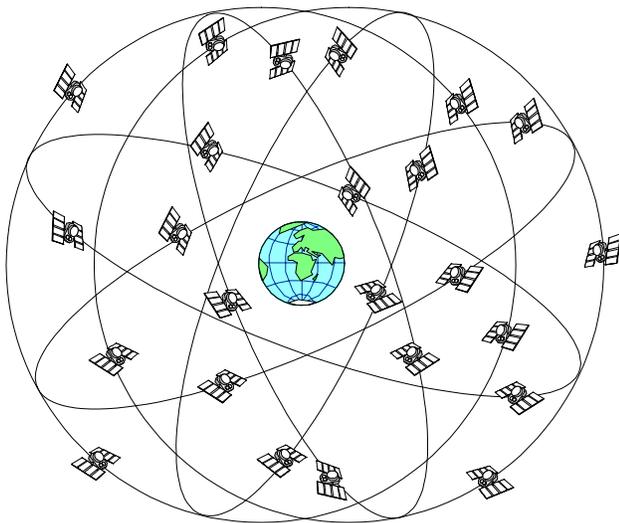
sus métodos en muchas aplicaciones. El grupo de usuarios más grande se encuentra en las esferas de administración de servicios públicos, reconocimientos y navegación. Pero el GPS también contribuye a mejorar la investigación en esferas como la biología, la explotación forestal y la geología, y se aplica cada vez más estudios epidemiológicos y demográficos. También se está convirtiendo en una de las principales herramientas en las aplicaciones de cartografía censal.

2.227. Gran parte de este análisis se refiere al sistema estadounidense comúnmente conocido como GPS. Es el sistema que más se usa y para el cual se ha creado ya un gran mercado comercial de productores de receptores y servicios de reconocimiento. Más adelante, se estudia un segundo sistema satelital de determinación de posición, el sistema ruso conocido como GLONASS.

i. Cómo funcionan los sistemas mundiales de determinación de posición

2.228. Los receptores GPS reúnen las señales transmitidas desde un sistema de 24 satélites –21 satélites activos y tres auxiliares (véase el gráfico II.17, véanse Leick, 1995; French, 1996; Schmidt, 1996; Kennedy, 1996, y Dana, 1997). El Departamento de Defensa de los Estados Unidos mantiene el sistema, llamado NAVSTAR. Los satélites circundan la tierra en seis planos orbitales a una altitud de aproximadamente 20.000 km. En cualquier momento dado, de cinco a ocho de los satélites GPS se encuentran dentro del “campo visual” de un usuario en la superficie terrestre.

Gráfico II.17. El sistema mundial de determinación de posición

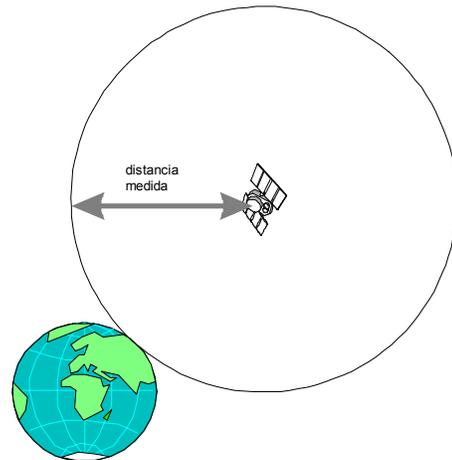


2.229. La posición en la superficie terrestre se determina midiendo la distancia desde varios satélites. Tanto el satélite como el receptor producen una señal sincronizada con precisión (un código denominado pseudoaleatorio). La sincronización resulta factible gracias a relojes muy precisos ubicados en el satélite y en el receptor. Este último puede medir el desfase entre la señal interna y la señal recibida desde el satélite. Este desfase es el tiempo que necesita la señal para ir desde el satélite hasta el receptor. Como se desplaza a la velocidad de la luz, simplemente hay que multiplicar el retardo por la velocidad de la luz para obtener la distancia.

2.230. Una vez que se conoce la distancia desde varios satélites, se puede determinar la posición mediante trilateración. Como es difícil mostrar esto en forma gráfica en tres dimensiones, los gráficos que siguen muestran el principio en una forma bidimensional simplificada. En el primer gráfico (gráfico II.18a), tenemos un solo satélite sobre la superficie terrestre. El círculo alrededor del satélite tiene un radio que corresponde a la distancia medida entre el usuario de GPS y el satélite. Indudablemente, en este punto no sabemos exactamente en qué lugar del círculo estamos.

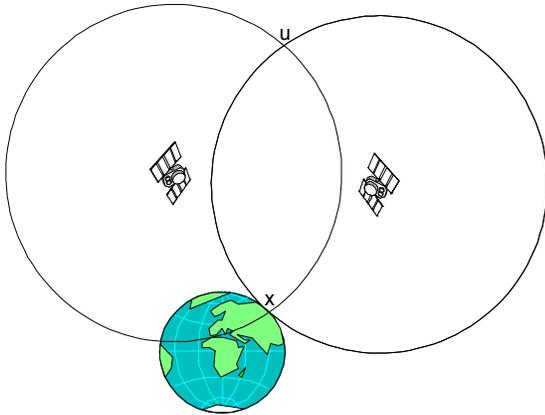
Gráfico II.18. Cómo determina el GPS las coordenadas de un lugar

a.



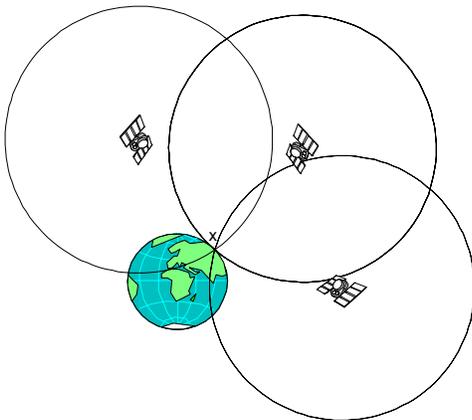
2.231. Si obtenemos una medida de la distancia de un segundo satélite, podemos limitar nuestra posición a dos puntos, x y y, donde los dos círculos se intersecan. Normalmente, bastan estas dos mediciones, porque una de las posiciones posibles suele no ser realista.

b.



2.232. Pero a fin de confirmar nuestra posición exacta, deberíamos determinar la distancia desde un tercer satélite. Los círculos alrededor de los tres satélites se intersecan en un solo punto, que es nuestra verdadera posición.

c.



2.233. Sin duda, en realidad nuestro mundo es tridimensional. Con una única medición satelital de la distancia, podríamos estar en cualquier lugar sobre la superficie de una esfera que rodea al satélite. Con dos mediciones, podríamos estar en cualquier lugar de un círculo formado por la intersección de dos esferas. Por último, la esfera que rodea a un tercer satélite se interseca con este círculo en dos lugares. Nuevamente, solo una de éstas se ajusta a la realidad. Pero para mejorar la estimación de la posición se toma una cuarta medición, que además contribuye a corregir cualquier imprecisión en el reloj interno del receptor. El reloj atómico del satélite es, por el contrario, muy preciso.

ii. Exactitud del sistema mundial de determinación de posición

2.234. Hay receptores GPS poco costosos que aportan información razonablemente exacta sobre la latitud, longitud y altitud de la posición del usuario en cualquier lugar del mundo y en cualquier momento. Según la mayoría de los proveedores de GPS económicos, la posición registrada es exacta dentro de los 15 a 100 metros para las aplicaciones civiles. Según las especificaciones más precisas del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, hay una posibilidad de un 95 por ciento de que la posición registrada sea exacta dentro de los 100 metros, y una posibilidad del 50 por ciento de que sea exacta dentro de los 40 metros. En la práctica, normalmente se puede lograr una exactitud de 30 a 50 metros. La información sobre la altitud es un poco menos confiable que la de la latitud y longitud. En este caso, la regla empírica es una exactitud de alrededor de 80 metros.

2.235. Hay muchos factores que influyen en la exactitud como, por ejemplo, la cantidad y la posición de los satélites que, idealmente, están distribuidos por el cielo para permitir un cálculo geométrico óptimo. Los que trabajan en el terreno pueden identificar los mejores períodos para la reunión de datos consultando un calendario que establezca un cronograma detallado de todos los satélites del GPS. Otras fuentes de error son las perturbaciones atmosféricas que modifican la señal cuando viaja a través de la atmósfera, y el error denominado multirayectoria, causado por la dispersión de las señales por los edificios u otros objetos sólidos. Estos errores representan más o menos el ruido errático – fluctuaciones aleatorias y de corto plazo de la posición (Lang, 1997).

2.236. Sin embargo, estos errores representan solamente alrededor de una cuarta parte del error total de los receptores GPS estándar. La mayor fuente de error es, con mucho, la denominada disponibilidad selectiva. Para evitar que los países hostiles usen el GPS de alta precisión, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos introduce ruido en la señal en forma deliberada. Sólo las fuerzas armadas tienen acceso a la información para corregirlo. Está previsto eliminar la disponibilidad selectiva paulatinamente en los próximos años, ya que, como se describe a continuación, su finalidad queda sin efecto recurriendo a otros métodos de mejorar la exactitud de la señal de GPS. Inclusive sin la disponibilidad selectiva, la exactitud de las coordenadas GPS no será perfecta.

2.237. La estimación de las coordenadas no necesariamente mejorará con lecturas repetidas de las coordenadas de GPS, porque el error que introduce la disponibilidad selectiva no está disperso aleatoriamente alrededor de la verdadera posición y porque la mayoría de los sistemas promedian en alguna forma las mediciones repetidas, lo que reduce la varianza de las posiciones medidas. Si se enciende y apaga el GPS después de cada medición, se tendrá una mejor indicación de la exactitud disponible (véase Lange, 1997). Para obtener posiciones más exactas, habría que promediar las lecturas de las coordenadas que se realizaron durante un largo período —es decir, de más de 24 horas. En la práctica, hay mejores opciones para mejorar las coordenadas de GPS.

iii. Sistemas mundiales de determinación de posición diferenciales

2.238. En el caso de las aplicaciones que requieren más exactitud, los sistemas mundiales de determinación de posición diferenciales (DGPS) utilizan información transmitida desde una estación de base con coordenadas conocidas en forma precisa para corregir las señales del satélite. Las señales que recibe la estación de base del DGPS y la unidad móvil de GPS están expuestas a los mismos errores, con lo que la estación de base puede comparar la diferencia entre la posición calculada y su posición correcta conocida, y enviar esta información a la unidad móvil (véase el gráfico II.19). La exactitud que se puede lograr con el DGPS depende del sistema y del procedimiento de reunión de coordenadas. Se puede alcanzar una exactitud de 3 a 10 m con equipos bastante económicos y tiempos de observación más breves. Si se utilizan sistemas más costosos y se reúnen datos durante más tiempo para cada lectura de coordenadas, se puede lograr una exactitud de menos de un metro.

2.239. Hay una serie de opciones para realizar la corrección del GPS en tiempo real. Los organismos estatales de muchos países están instalando estaciones de DGPS que difunden continuamente información sobre la corrección. Por lo general, estas estaciones están ubicadas cerca de las zonas costeras, donde también dan apoyo a la navegación marítima. A veces, grupos de usuarios dedicados, por ejemplo, a la agricultura de precisión construyen estaciones de DGPS relativamente económicas. Además, algunas unidades portátiles muy avanzadas de GPS, que valen varios miles de dólares, se pueden convertir en estaciones de base de DGPS que transmiten información de las correcciones. El usuario tiene que encontrar una ubicación conocida en forma precisa, alrededor de la cual es posible enton-

ces realizar mapas también precisos. Por último, los satélites geoestacionarios también emiten información sobre las correcciones, por ejemplo para la aeronavegación. En el futuro, es probable que el usuario medio pueda utilizar estas opciones, con lo que habrá información sobre las correcciones en cualquier lugar y en cualquier momento.

2.240. El procesamiento posterior de las coordenadas de GPS es una opción menos complicada y menos costosa. En este caso, el usuario reúne las coordenadas con un receptor de GPS estándar. Para cada coordenada, se registra en la memoria de los receptores el tiempo y los satélites que se usaron. Una vez en su oficina, el usuario puede descargar la información sobre las correcciones para ese período y aplicar los factores de corrección a todas las coordenadas reunidas. En muchos países, los archivos con los datos de corrección se pueden obtener de varias fuentes comerciales o públicas. Cuando esta información no se puede obtener de fuentes secundarias, es posible establecer una estación de base del DGPS en una ubicación central. Para facilitar la cartografía censal, se podría establecer una estación en la capital, de modo tal que los datos de las coordenadas reunidas en el terreno con receptores estándar económicos se pueda corregir más tarde. En los países más grandes, quizás haya que establecer varias estaciones de base.

iv. Sistema Mundial de Navegación por satélite

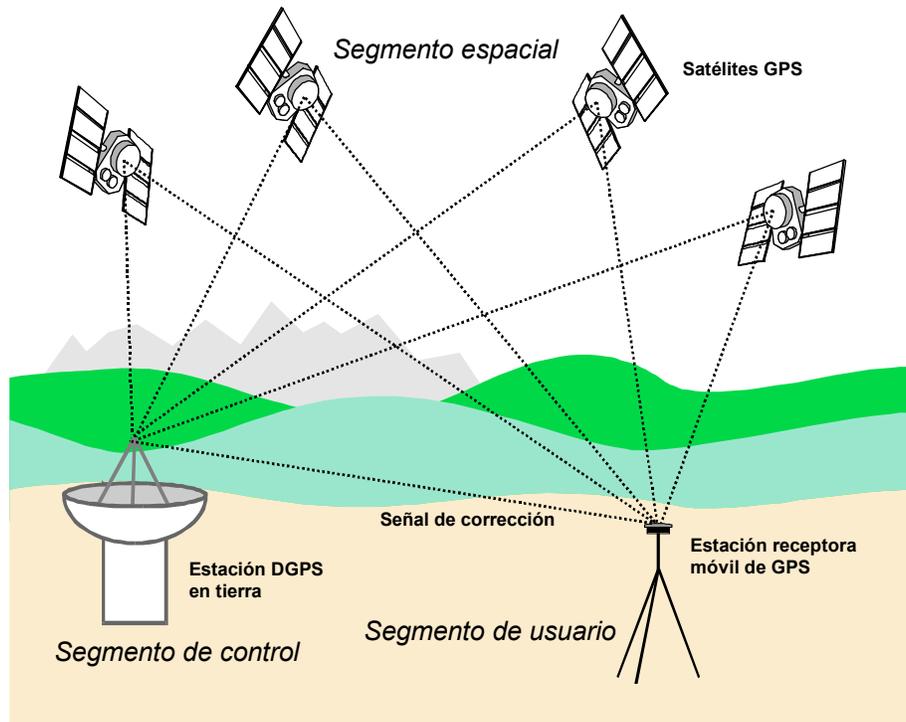
2.241. La contrapartida rusa del GPS es el GLONASS, operado por el Ministerio de Defensa de la Federación de Rusia. Este sistema también se basa en un conjunto de 24 satélites activos que circundan la tierra en tres planos orbitales (a diferencia de los seis del GPS). Ambos sistemas tienen características similares, pero una diferencia es que el GLONASS no aplica la disponibilidad selectiva para los usuarios civiles, lo que significa que proporciona posiciones con más exactitud que el GPS en un modo autónomo (es decir, no diferencial). Aunque el proyecto GLONASS comenzó en 1982, el conjunto de satélites sólo llegó a completarse en 1996. Desde esa fecha, se ha pospuesto el lanzamiento de nuevos satélites y, debido a la avería de varios de ellos, la cantidad de satélites utilizables ha variado entre 11 y 16.

2.242. Los receptores exclusivos del GLONASS no se usan en forma generalizada, aunque varios institutos de investigaciones académicas y compañías privadas han desarrollado sistemas de determinación de posición que combinan las señales de este sistema y del GPS, lo que significa que, en cualquier lugar y momento dados, habrá más satélites dentro del campo visual del usuario

que si se usara sólo un sistema. Esto es de particular importancia en las zonas donde parte del horizonte está obstruido, como los enclaves urbanos, las zonas montañosas o las zonas forestales. En el cuadro II.3 se muestra que la combinación del GPS y del GLONASS mejora la exactitud de las mediciones de posición en forma considerable, a comparación del GPS con disponibilidad selectiva. Aunque los números muestran so-

lamente un mejoramiento marginal comparado con el GLONASS solo, el hecho de que haya disponible una cantidad reducida de satélites de GLONASS significa que el sistema combinado producirá resultados más confiables.

Gráfico II.19. Sistemas mundiales de determinación de posición diferenciales



Cuadro II.3. Exactitud de la determinación de posición del GPS y del GLONASS

	Error horizontal (metros)		Error vertical (metros)
	(50%)	(95%)	(95%)
GPS (Disponibilidad selectiva apagada)	6	18	34
GPS (Disponibilidad selectiva encendida)	25	72	135
GLONASS	7-10	26	45
GPS y GLONASS	8	20	38

Fuente: Misra, 1993, y Hall y otros, 1997.

v. Elección de una unidad del sistema mundial de determinación de posición

2.243. Los receptores comerciales de GPS varían en precio y capacidad. Las especificaciones técnicas determinan la exactitud con que se pueden obtener las posiciones. Cuanto más potente sea un receptor, más costoso será. El usuario debe decidir si lo que gana en exactitud compensa el costo adicional. En muchas aplicaciones de cartografía, la exactitud de los sistemas estándar es suficiente. Los receptores también varían en cuanto a facilidad de uso, su capacidad de seguimiento, que es útil en la navegación –muchos receptores pueden trazar mapas sencillos –y en términos de las proyecciones cartográficas y los sistemas de referencia geográfica que respaldan. Otros factores que se deben tener en cuenta cuando se elige un receptor son la solidez de las unidades, el consumo de electricidad (como

las baterías son costosas, se pueden usar adaptadores para encendedores de los automóviles), la capacidad de almacenamiento de coordenadas y la facilidad para transferir las coordenadas almacenadas a una computadora portátil o de mesa.

2.244. La mayoría de los proveedores ofrecen productos integrados que combinan un receptor de GPS con una computadora portátil o agenda electrónica para que se puedan trazar en la pantalla, en forma inmediata, las coordenadas encontradas, solas o en un mapa digital. Para las aplicaciones censales, es probable que el equipo que requieren los que trabajan en el terreno sea excesivo para los recursos del proyecto. Una opción de bajo costo sería almacenar las coordenadas en el sistema y, como resguardo, registrarlas manualmente en planillas.

vi. Sistemas mundiales de determinación de posición en aplicaciones de cartografía censal

2.245. Evidentemente, la tecnología GPS tiene aplicaciones en cualquier tipo de actividad cartográfica, incluida la preparación de mapas de empadronamiento para las tareas censales (por ejemplo, Tripathi, 1995). Con las ubicaciones geográficas exactas del DGPS de las zonas de empadronamiento, pueden determinarse los límites con un GPS y obtenerse en forma eficaz y económica la ubicación de características como centros de servicios y poblados. Las coordenadas se pueden descargar o ingresar manualmente en un sistema digital de cartografía o SIG, y se pueden combinar con la información georreferenciada que ya se tiene.

2.246. La forma exacta en que las coordenadas GPS se usarán en la cartografía censal variará según la estrategia elegida. Se puede usar un GPS en modo puntual para captar la coordenada de, por ejemplo, cada edificio en un poblado o de cada intersección de la red vial de una ciudad. Los mapas disponibles o los mapas boceto dibujados durante la reunión de datos ayudarán a interpretar la información sobre las coordenadas al regresar a la oficina. Una segunda posibilidad es reunir las coordenadas GPS, registrándolas a intervalos regulares. De esta forma, se pueden registrar las características lineales automáticamente caminando por una calle o viajando en un vehículo o bicicleta. Esta es una forma eficaz y económica de crear una base de datos sobre la red de calles o caminos (véase el recuadro II.3: el ejemplo de Eritrea), aunque la exactitud de las líneas será suficiente o no según la norma de calidad de los datos que se escoja.

2.247. Es evidente que pueden surgir inconvenientes en la aplicación del GPS. En un entorno urbano denso, el

error posible del GPS estándar (de hasta 100 metros) es insuficiente para definir exactamente las zonas de empadronamiento adyacentes. En estos casos, hay que usar el DGPS o hay que verificar en forma cruzada las lecturas del GPS con otras fuentes de datos como los mapas publicados, las fotografías aéreas o hasta los mapas boceto producidos durante el trabajo en el terreno. Algunas ciudades, como Doha, han desarrollado un sistema de estaciones de base de GPS que permiten realizar mapas con mucha exactitud utilizando un DGPS. Pero en muchos países en desarrollo, estas redes todavía no existen. Los edificios altos o las calles con árboles tupidos dificultan la recepción de las señales de una cantidad suficiente de satélites, pues éstas no pueden penetrar objetos sólidos. Si quien reúne los datos tiene los conocimientos suficientes, podrá obtener información sobre las coordenadas yendo hasta algún lugar más abierto y corrigiendo la coordenada registrada.

vii. Sistemas integrados de cartografía en el terreno

2.248. La reunión de datos en el terreno en el sector de las empresas de servicios públicos y en otras aplicaciones cartográficas depende mucho del SIG. En muchas de estas aplicaciones, se integra el GPS con una computadora portátil o un asistente personal digital. Se captan las coordenadas e inmediatamente se las muestra en la pantalla. Si se dispone de un mapa de base digital, se pueden mostrar las coordenadas encima de él. El personal en el terreno puede agregar cualquier información sobre los atributos que sea necesaria y almacenar estos datos en una base de datos de SIG. Luego, se puede incorporar esta información en el SIG de la oficina central. Como las computadoras y otros dispositivos informáticos portátiles bajan de precio constantemente, es posible que los sistemas integrados de cartografía en el terreno se conviertan muy pronto en una opción viable para reunir datos para los censos. De manera similar, los receptores GPS siguen disminuyendo de tamaño y de costo. Cuando se redactó este manual, se anunciaba el primer receptor GPS incorporado a un reloj de pulsera. Es muy probable que se integre también en automóviles y equipos electrónicos.

viii. Resumen: ventajas y desventajas de los sistemas mundiales de determinación de posición

2.249. Entre las ventajas del GPS cabe mencionar:

- Es bastante económico, permite la reunión de datos en el terreno de forma sencilla. Las unidades más nuevas no requieren demasiada capacitación para usarlas correctamente;

- Los datos reunidos se pueden leer directamente en las bases de datos de SIG, lo que hace que las etapas de entrada y conversión de datos sean innecesarias;
- Está disponible en todo el mundo;
- Tiene una exactitud suficiente para las aplicaciones de cartografía censal –se puede lograr más exactitud con la corrección diferencial.
- La exactitud estándar puede ser insuficiente en zonas urbanas y para captar características lineales, lo que hace que se requieran técnicas diferenciales;
- El DGPS es más costoso, necesita más tiempo para la reunión de datos en el terreno y un procesamiento posterior más complejo para que la información sea más exacta;

2.250. Las desventajas son las siguientes:

- La señal puede quedar obstruida en zonas urbanas densas o con mucha forestación;
- Es posible que se necesiten muchas unidades GPS para reunir datos solo durante un período muy corto.

Recuadro II.3. Preparación de mapas para un censo en Eritrea

2.251. Se está utilizando mucho el GPS en la preparación de los mapas de empadronamiento de la serie de censos de 2000 en Eritrea (véase Oficina Nacional de Estadística de Eritrea, 1996). En colaboración con especialistas de Statistics Canada, la oficina nacional de estadística eligió un método digital. Las características básicas, como la hidrografía de transporte, las alturas puntuales y las cadenas montañosas, se digitalizaron manualmente a partir de mapas en escala de 1:100.000. Como no había mapas confiables de las ciudades, se usó el GPS para registrar una coordenada de cada poblado integrado por una única zona de empadronamiento (menos de 100 hogares).

2.252. Para los poblados más grandes y las ciudades, el personal de la oficina de censos recorrió la línea media de todos los caminos y calles del asentamiento y registró las coordenadas GPS en intervalos regulares en forma automática. Al mismo tiempo, se trazaron mapas boceto básicos a mano, lo que ayudó a vincular los conteos de viviendas con las manzanas de la ciudad que se habían dibujado en el mapa.

2.253. Para que los empadronadores pudieran interpretar fácilmente los mapas de las zonas, también se registraron las ubicaciones de los hitos de la ciudad (lugares de culto, escuelas, y demás), reuniendo información sobre sus coordenadas en la red de calles más cercana a cada hito y registrando la corrección y dirección desde ese punto hasta ese hito. En las ciudades más grandes, se registraron las manzanas en intervalos regulares usando un GPS ubicado en un vehículo.

2.254. Los datos de las coordenadas se reunieron usando receptores de GPS estándar y económicos. Se hicieron archivos auxiliares de estos datos en computadoras portátiles económicas y en disquetes después de cada día de trabajo. Un problema operacional que se presentó fue la recarga de las baterías de los GPS en zonas remotas. Todas las lecturas se corrigieron a posteriori con información reunida por una estación de base ubicada en el techo de la Oficina Nacional de Estadística. La ubicación de esta estación de base en la oficina central ofrecía varias ventajas: se tenía una fuente fija, permanente y comprobada de datos de corrección; se aseguraba una operación continua porque había una fuente confiable de electricidad, y se trabajaba en un ambiente controlado y seguro instalado en el techo del edificio. El hecho de que estuviera a unos cientos de kilómetros de lugar donde se realizaba el trabajo en el terreno no introdujo inexactitudes graves a los efectos del censo, aunque en países más grandes pueden ser necesarias varias estaciones de base.

2.255. Es interesante notar que las coordenadas GPS de algunos poblados mostraron inconsistencias en la estructura administrativa del país. Ocurrió que algunos poblados estaban ubicados fuera de los límites de las unidades administrativas a las que habían sido asignados. Estos problemas subrayan la importancia de que haya una colaboración estrecha entre la oficina de censos y las estructuras administrativas locales. También se contó con la colaboración del personal del gobierno local para la revisión de todos los mapas producidos por la oficina de censos antes de producir los mapas definitivos de las zonas de empadronamiento.

c) Fotografía aérea

i. Consideraciones generales

2.256. La fotografía aérea es el método preferido para las aplicaciones cartográficas que exigen un alto grado de exactitud y velocidad (Falkner, 1994). Se usa la fotogrametría —la ciencia de obtener mediciones a partir de las imágenes fotográficas— para crear y actualizar los mapas topográficos básicos y para realizar reconocimientos agrícolas y del suelo, así como en muchos aspectos de la planificación urbana y rural. Los proyectos censales también han aprovechado con frecuencia los reconocimientos con fotos aéreas para crear rápidamente mapas de zonas para las que no hay mapas actualizados o que son difíciles de reconocer usando los tradicionales métodos en el terreno. Un reconocimiento aéreo realizado poco antes del censo proporcionará la base más completa para la demarcación de las zonas de empadronamiento en un período razonablemente breve.

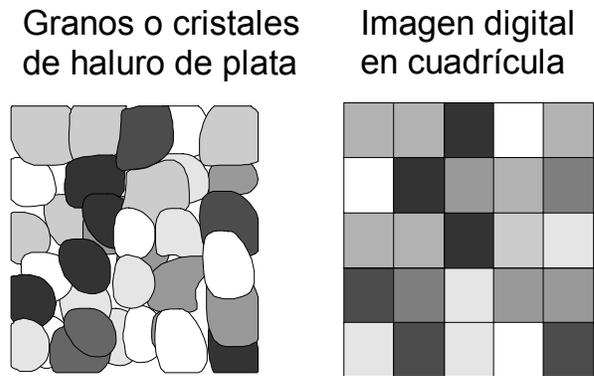
2.257. Las fotografías aéreas se comenzaron a usar en cartografía poco después de la invención de los aviones. Las primeras aplicaciones utilizaban cámaras estándar, pero muy pronto se montaron sistemas de cámaras especialmente diseñadas para minimizar las distorsiones en aviones adaptados para que el sistema pudiera orientarse directamente hacia el suelo a través de una abertura en el piso. Los equipos para interpretar las fotos y convertir la información que contienen en mapas avanzaron mucho en poco tiempo. Por ejemplo, la interpretación de pares de imágenes en estéreo se transformó en el método predominante de producción de los mapas de curvas de nivel. En el manual de cartografía censal BUCEN (BUCEN, 1978) figura una reseña detallada de las técnicas tradicionales de interpretación de fotos aéreas. En consecuencia, en los párrafos siguientes solo se describen algunas innovaciones recientes en los métodos de fotografía aérea con ayuda de la computadora.

2.258. Las fotografías aéreas se obtienen usando cámaras especializadas a bordo de aeronaves que vuelan a poca altura (Michael, 1997). La cámara capta la imagen en una película fotográfica que sigue teniendo una resolución muy superior (es decir, la capacidad de distinguir detalles pequeños) comparada con los sistemas de sensores digitales. Sin duda, esto puede cambiar en el futuro cercano teniendo en cuenta el rápido desarrollo de las imágenes digitales. Tradicionalmente, los productos finales de un proyecto de fotografía aérea son las fotos impresas de una zona del terreno. El reconocimiento por medio de fotografías aéreas está diseñado de modo tal que las fotografías resultantes se superponen en un 30 a un 60 por ciento. Se pueden combinar estas fotos para producir un mosaico ininterrumpido de

toda la región que, cuando se imprime, se puede usar en la misma forma que un mapa: es posible anotar y darle una referencia para el trabajo en el terreno y digitalizar características para crear o complementar las bases de datos de SIG.

2.259. La película fotográfica en blanco y negro (gráfico II.20), por ejemplo, consta de una capa de gelatina que tiene incorporados cristales de haluro de plata muy pequeños y sensibles a la luz, de tamaño y forma irregulares. La imagen escaneada, en cambio, es un conjunto regular de píxeles (elementos de imagen).

Gráfico II.20. Película fotográfica e imágenes escaneadas

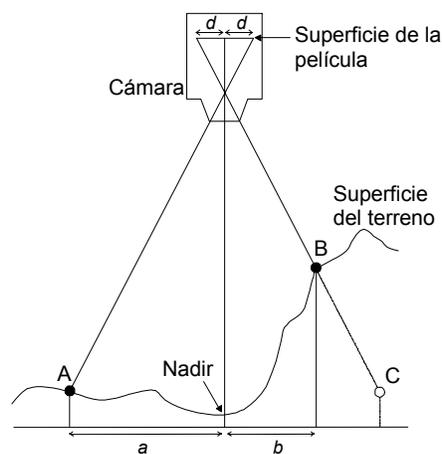


2.260. Las fotografías aéreas son similares a los mapas porque ambos proporcionan una vista desde arriba de las características de la superficie terrestre, pero se diferencian en que solo muestran las características que son verdaderamente visibles. Faltan los límites artificiales, la información temática y las anotaciones. Tampoco tienen la exactitud geométrica de un mapa si no se las procesa posteriormente. El ángulo de la cámara y la variación del terreno distorsionan la vista de una foto aérea. Por ello, es preciso procesarlas para producir los denominados mapas ortofotográficos, que combinan la exactitud geométrica de un mapa topográfico con la amplitud de detalle de una fotografía (véase II.4).

Recuadro II.4. Elaboración de mapas ortofotográficos digitales

2.261. Para producir ortofotos digitales similares a los mapas, hay que eliminar las distorsiones de la imagen producidas por el ángulo de la cámara y la variación del terreno. La distorsión producida por esta última se ilustra en el gráfico II.21 (según Jones, 1997). La fotografía es esencialmente una proyección de la superficie terrestre en perspectiva. El punto B está a una altura mayor que el punto A. En la realidad, B se encuentra a una distancia b del nadir, que es el punto por debajo, en sentido vertical, del centro de perspectiva del lente de la cámara. Pero la proyección en perspectiva de la cámara da una impresión errónea. B parece estar ubicado en el punto C y, por lo tanto, se proyecta a la misma distancia d desde el centro de la superficie de la película que el punto A.

Gráfico II.21. Distorsión debida a las variaciones del terreno



2.262. Para corregir las distorsiones de una fotografía aérea, hay que conocer la altura de cada punto del terreno, que se puede determinar a partir de pares de fotos aéreas en estéreo, es decir, fotos que cubren aproximadamente la misma zona pero que están desplazadas en una distancia corta. Los estereotrazadores analíticos permiten que el operador registre correcta y simultáneamente el par de imágenes y obtenga las ubicaciones de las características en tres dimensiones. Los sistemas más modernos de cartografía registran las imágenes y eliminan las distorsiones en forma casi totalmente automática. Se pueden tomar en cuenta todos los parámetros pertinentes, como la inclinación de la cámara durante el vuelo y las distorsiones del lente. Así, el operador puede obtener datos digitales georreferenciados correctamente a partir de las fotos aéreas. Los productos incluyen datos de SIG en vectores generados directamente a partir de las fotos, mapas que muestran el terreno, o modelos digitales de la altura –una imagen en cuadrícula que corresponde a la foto aérea, donde cada valor de píxel indica la altura de ese punto en el terreno. Si bien estos modelos no son demasiado útiles para la cartografía censal, los datos resultan bastante convenientes en aplicaciones ambientales y de recursos naturales, especialmente en hidrología.

2.263. Después de este procedimiento de registro en un sistema adecuado de referencia geográfica y de eliminación de las distorsiones, las fotos aéreas se habrán transformado en mapas ortofotográficos digitales. Normalmente se producen en escalas de 1:2.000 a 1:20.000, según la altitud de la aeronave y el procesamiento. Se pueden combinar digitalmente ortofotografías de zonas aledañas para crear bases de datos en imágenes continuas de toda una ciudad, región o país. Los cartógrafos pueden obtener o delinear las características en estos mapas mediante la digitalización en pantalla, o simplemente pueden usarlas como referencia para dar contexto a las capas de datos de SIG ya existentes.

ii. Cuestiones institucionales y de ejecución

2.264. La creación de ortofotografías digitales requiere considerable conocimiento de los métodos fotogramétricos, algo no habitual en las oficinas de censos; éstas tendrán que celebrar acuerdos de cooperación con otro organismo nacional, probablemente el departamento de cartografía o una unidad de reconocimiento de la fuerza aérea. También se puede encargar el trabajo a alguna empresa comercial de cartografía aérea. Hay varias de éstas que operan en el ámbito internacional y que proporcionan la aeronave, la cámara y el equipo de procesamiento.

2.265. Pero el costo de estos servicios no es bajo. Afortunadamente, las fotos aéreas son útiles para muchas aplicaciones diferentes, incluida la planificación de la prestación de los servicios, la actualización de los mapas de las ciudades y los proyectos de otorgamiento de títulos de propiedad (por ejemplo Ahmed, 1996; y Clarke, 1997). La oficina de censos puede reducir los gastos considerablemente si comparte los costos con otros departamentos gubernamentales que tengan interés en estos servicios, y posiblemente también con el sector privado. En el caso que no sea posible lograr una cobertura nacional con las fotos aéreas porque los recursos son limitados, es posible producirlas para zonas específicas. Un ejemplo de esto es la utilización de fotos aéreas por parte de la oficina de estadística de Hong Kong para estimar la cantidad de personas que viven en embarcaciones (NIDI, 1996), que pone de manifiesto la forma en que se pueden usar estas técnicas para contar una población difícil de empadronar. Otros ejemplos son las poblaciones nómades o de refugiados, las zonas urbanas que crecen rápidamente o las regiones que son inaccesibles en ciertas estaciones del año.

2.266. Como se ha mencionado antes, el desarrollo de mapas ortofotográficos requiere bastantes conocimientos y equipo especializado. En cambio, el uso de estos mapas no precisa capacitación especial. Una base de datos de una ciudad, por ejemplo, puede constar simplemente de un mosaico de varias imágenes en un CD-ROM que se puede visualizar completamente con un programa de cartografía o de SIG estándar. Los mapas ortofotográficos digitales se pueden obtener en formatos gráficos estándar (como el formato de archivos de imágenes marcadas TIFF). El usuario no necesita tener programas especializados de procesamiento de imágenes. De hecho, se puede usar cualquier programa de gráficos para obtener las características de las imágenes, aunque se perderá la información sobre el georreferenciamiento. Esta información consta de las dimensiones y las coordenadas del mundo real de la imagen digital y generalmente se encuentra en un pequeño archivo de encabezamiento. Con esta información, la

mayoría de los programas de cartografía pueden registrar las imágenes con cualquier otro conjunto de datos de SIG que esté almacenado en el mismo sistema de referencia geográfica.

iii. Aplicación de las fotografías aéreas en la cartografía censal

2.267. Los mapas ortofotográficos sirven para los conteos de las unidades de vivienda y la estimación de la población, que a veces se denominan reconocimientos por techos. En un ámbito rural, donde los asentamientos pueden distinguirse claramente en la fotografía aérea y las casas están más o menos dispersas, es posible determinar la cantidad de unidades de vivienda con bastante facilidad. Un cálculo confiable de la cantidad media de habitantes por hogar permite obtener una estimación de la población suficientemente exacta para fines censales. En ámbitos urbanos, las casas suelen estar muy cerca unas de otras, y también puede ser difícil determinar la cantidad de familias que viven en edificios de muchos pisos. Aun así, con algo de capacitación y conocimiento de la zona, será posible lograr un grado de exactitud suficiente en las estimaciones de la población. El personal de la oficina de censos puede marcar los límites de la zona de empadronamiento de modo que incluyan una cantidad específica de unidades de vivienda. Como las ortofotos están referenciadas correctamente, las zonas de empadronamiento resultantes también se registrarán en una proyección cartográfica adecuada con parámetros conocidos. Esto significa que no será necesario realizar un georreferenciamiento para compatibilizar los límites digitales con otros datos de SIG, posiblemente una tarea tediosa.

2.268. La interpretación de las fotografías aéreas es, la mayoría de las veces, de naturaleza visual, y el personal no necesita capacitación especial en técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes. Los límites de las ZE se pueden marcar sobre la foto aérea. También es factible obtener a partir de ella otras características geográficas que proporcionen la referencia geográfica para los empadronadores. Estas características se pueden marcar interactivamente en la computadora con un ratón o cualquier dispositivo similar (véase el gráfico II.22). También es posible imprimir las fotos y trazar las características en películas plásticas (de acetato o mylar) transparentes, que luego se pueden escanear y vectorizar. Este procedimiento implica un paso adicional y más materiales, pero muchas veces mejora la exactitud del producto resultante (véanse también las secciones 4 b) y 4 c) sobre digitalización y escaneo).

Gráfico II.22. Demarcación interactiva de los límites de los sectores censales en una ortofotografía digital



Fuente: MIT/Mass GIS Digital Orthophoto Project <http://ortho.mit.edu>.

2.269. Los mapas ortofotográficos también sirven como contexto para visualizar las ubicaciones puntuales reunidas usando las características de un GPS o digitalizadas, como los centros de salud y las redes de transporte. Además de los mapas de las ZE, se podría dar a los empadronadores impresiones de ortofotos digitales que muestren los límites de la ZE para ayudarlos a orientarse en la zona que se les ha asignado.

2.270. Un problema que dificulta la aplicación de esta tecnología en las oficinas de censos es el gran volumen de datos que implica trabajar con mapas ortofotográficos digitales de alta resolución de zonas grandes. Por ello, puede ser mejor para una oficina de censos obtener fotografías aéreas digitales de menor resolución, que muestren suficiente detalle para las aplicaciones censales y sean más fáciles de procesar y almacenar. Las ortofotografías digitales suelen tener muy alta resolución, con tamaños de píxeles en el terreno en la gama de los centímetros (generalmente de 5 a 30 cm).

Las imágenes digitales ortofotográficas con tamaños de píxeles de entre 0,5 y 2 metros son suficientes para demarcar los límites de las zonas de empadronamiento en las zonas urbanas.

2.271. En el futuro, la fotografía aérea será un procedimiento completamente digital, y así se eliminará la necesidad de producir fotografías impresas intermedias. Ya están funcionando sistemas que usan controles de GPS y cámaras digitales en aeronaves (Bossler y Schmidley, 1997). Estas últimas utilizan dispositivos de acoplamiento por carga (CCD) que puede crear imágenes de 9.216 por 9.216 píxeles, con una exactitud posicional de 1 a 4 centímetros. Como se eliminarán las etapas intermedias de la producción de las impresiones fotográficas y el ulterior escaneo, esta tecnología es considerablemente más barata y más rápida que la tecnología fotográfica tradicional. La resolución de las cámaras digitales y la velocidad de procesamiento de las computadoras aumentarán. Es probable, por lo

tanto, que la cartografía aérea exacta, en tiempo real y completamente digital, reemplace a la fotografía aérea convencional en el futuro cercano.

iv. Resumen: ventajas y desventajas de las fotografías aéreas

2.272. Las ventajas de las fotos aéreas son, entre otras, las siguientes:

- Proporcionan muchos detalles y se pueden interpretar visualmente. Muestran información sobre muchos tipos de características a la vez: caminos, ríos, edificios;
- La reunión de datos es más rápida y los datos de los mapas se pueden producir en menor tiempo que con los reconocimientos cartográficos del terreno. En comparación con los mapas que no se actualizan con demasiada frecuencia, las fotos aéreas recientes son una base más confiable para la cartografía censal;
- Las fotos aéreas se pueden usar para producir mapas de zonas de difícil acceso o de zonas en las que el trabajo en el terreno es complicado o peligroso;
- La cartografía topográfica que usa fotografías aéreas puede ser menos costosa que la que emplea técnicas de reconocimiento tradicionales. Pero como los requisitos de exactitud de los mapas censales son menores que los de los mapas topográficos, los costos altos no se justifican necesariamente si los productos sólo se usarán para la cartografía censal;
- Las fotografías aéreas impresas son útiles durante el trabajo en el terreno porque dan una “visión general”. El personal puede ver el terreno visible desde su punto de visión en el contexto más amplio de la zona aledaña. Las fotos aéreas digitales sirven como referencia para mostrar los conjuntos de datos de SIG.

2.273. Las desventajas son las siguientes:

- El procesamiento de las fotos aéreas requiere un equipo costoso y conocimientos especializados. Las oficinas de censos deben, por tanto, contar con apoyo externo;
- Las fotos aéreas precisan información sobre los nombres de las características que deben obtenerse de mapas que posiblemente estén desactualizados. La fotografía aérea no significa que pueda prescindirse necesariamente del trabajo en el terreno;

- La interpretación de las fotos aéreas puede ser complicada cuando las características están ocultas bajo vegetación densa o nubes, o cuando hay poco contraste y no se puede distinguir claramente entre las características adyacentes (por ejemplo, entre las casas construidas con materiales naturales y el suelo alrededor de ellas);
- Las fotos aéreas digitales constan de gran cantidad de datos y sólo se pueden mostrar y procesar en computadoras bastante potentes.

d) Teleobservación por satélite

i. Principios

2.274. Las técnicas de teleobservación no tienen algunas de las desventajas de las fotografías aéreas —la cobertura relativamente reducida del suelo y la necesidad de realizar un reconocimiento especial (Lillesand y Kiefer, 1994; Jensen, 1996; y Gebizlioglu y otros, 1996). Las imágenes satelitales se reúnen en sistemas con base en el espacio, la mayoría de los cuales utiliza sensores ópticos pasivos para medir la radiación reflejada desde los objetos en la superficie terrestre en el espectro electromagnético visible e invisible (gráficos II.23 y II.24). Los sistemas satelitales no usan películas fotográficas para registrar la energía reflejada, sino que tienen detectores electro-ópticos —similares a una cámara CCD— que mide la intensidad de la radiación electromagnética y la registra digitalmente como una imagen regular de filas y columnas.

Gráfico II.23. El procedimiento de teleobservación

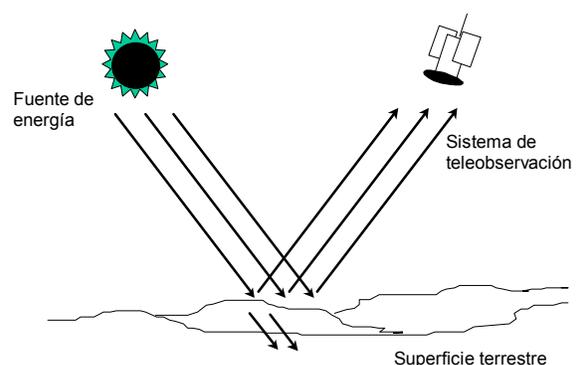
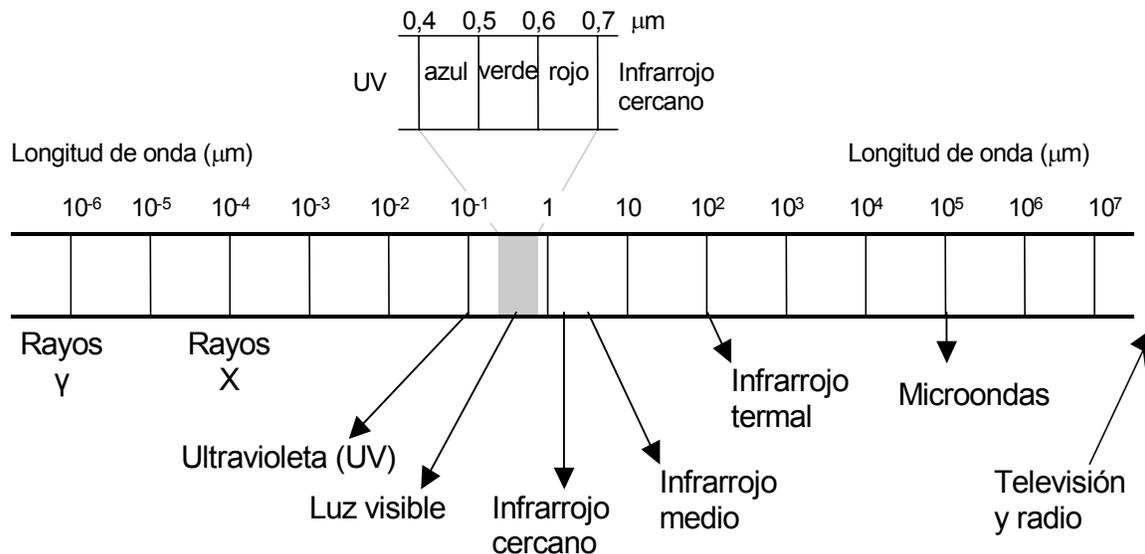


Gráfico II.24. El espectro electromagnético



2.275. Los sensores satelitales operan en modo multispectral o pancromático. Multiespectral significa que el satélite reúne varias imágenes (o bandas), cada una de las cuales mide la energía reflejada en una parte diferente del espectro electromagnético, generalmente en el intervalo visible y en el infrarrojo cercano. La capacidad de separar una imagen en diferentes bandas y de combinar las bandas específicas para el análisis de la imagen facilita la clasificación de las características según sus propiedades de reflectancia. Por ejemplo, los campos de arroz pueden mostrar una señal fuerte en una banda determinada, mientras que las zonas con construcciones aparecerán con más claridad en otra. Los sensores satelitales pancromáticos captan la energía reflejada en un intervalo amplio del espectro. Las imágenes resultantes son similares a las fotografías en blanco y negro. Por lo general también tienen más resolución que las imágenes multispectrales y, en consecuencia, se las prefiere como base de las aplicaciones cartográficas.

2.276. Los datos digitales que producen los sistemas de sensores consisten en una serie de números que indica el nivel de energía reflejado en el lugar correspondiente en la superficie terrestre. El satélite envía estos datos a un receptor que pertenece a un sistema de estaciones en tierra, donde se los corrige en términos geométricos y se los georreferencia. Las imágenes resultantes, digitales o impresas, se pueden interpretar visualmente, igual que las fotografías aéreas examinadas antes. Las imágenes satelitales digitales se pueden mostrar en un SIG,

donde un operador capacitado puede marcar las características sobre la imagen. Para muchas aplicaciones, como los reconocimientos del uso de la tierra o la ordenación de los recursos naturales, sin embargo, las imágenes multispectrales se clasifican usando técnicas estadísticas, que predicen las clases de cobertura terrestre basándose en una relación calibrada entre los sitios de control de una categoría conocida y su signatura espectral.

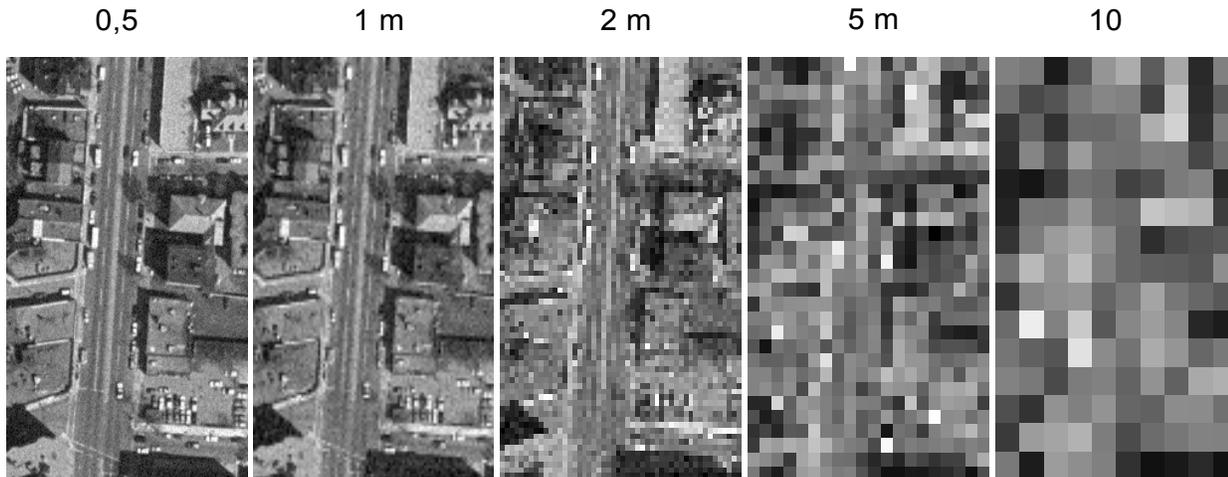
ii. Resolución

2.277. La resolución de las imágenes satelitales se mide por el tamaño de un píxel en el suelo. En el caso de los satélites comerciales, este tamaño varía de 10 a 80 metros para los sistemas más populares, como el sensor pancromático de SPOT y las imágenes multispectrales del Landsat. Estas resoluciones permiten crear mapas en escalas de 1:25.000 a 1:50.000 o menores. En el gráfico 2.25 se comparan los tamaños de los píxeles que se simularon por agregación a partir de una foto aérea digital con resolución de 0,5 metros. La imagen cubre un área de 100 x 150 metros sobre el suelo. Con una resolución de 2 metros se pueden distinguir las casas y hasta los automóviles, pero no con píxeles más grandes. Se puede extraer más información de los datos obtenidos mediante la teleobservación usando métodos avanzados de procesamiento de imagen, incluidos los algoritmos para la detección de bordes y de filtración especial. Se han usado satisfactoriamente estas técnicas para crear mapas y detectar los cambios en las zonas de construcción reciente en algunas ciudades de crecimiento rápido.

do de los países en desarrollo. Los datos satelitales también se emplearon en las regiones rurales de estos países. Una aplicación fue la elaboración rápida de mapas topográficos para facilitar los mapas del censo de

población de 1991 en Nigeria. Se produjeron algo así como 150 mapas de las imágenes satelitales a partir de 90 imágenes de SPOT, que cubrían una superficie de 110.000 kilómetros cuadrados (Satellitbild, 1994).

Gráfico II.25. Tamaño de los píxeles en fotografías aéreas e imágenes satelitales.



2.278. Se han comenzado a vender imágenes satelitales de mayor resolución; hay satélites rusos e indios que ofrecen imágenes de resolución de 2 metros y 5 metros respectivamente. Las imágenes KVR 1000 rusas —un sistema basado en cámaras— se han utilizado para elaborar mapas del uso de la tierra urbana y para actualizar los mapas de las ciudades. En los próximos años, varios consorcios privados lanzarán satélites comerciales que prometen ofrecer imágenes con resoluciones de hasta 0,82 metros (Carlson y Patel, 1997). Estas compañías prevén que la disponibilidad de estas imágenes de tan alta resolución ampliará mucho la base de usuarios de imágenes satelitales. Estas imágenes pueden ser más baratas y más rápidas que las fotografías aéreas, pero como los sistemas satelitales anteriores se financiaban principalmente con fondos públicos, no es seguro que los sistemas operados comercialmente puedan generar ingresos suficientes para justificar las grandes inversiones que son necesarias para su desarrollo, lanzamiento y mantenimiento.

2.279. La mayoría de los operadores comerciales prevé ofrecer varias opciones para adquirir imágenes satelitales. La más costosa serán los pedidos especiales y urgentes de imágenes de una zona en particular. Como tienen resolución más alta, estos satélites cubren una zona más pequeña, de modo tal que solamente abarcan regiones seleccionadas en su trayectoria de vuelo. Una

opción menos costosa será la obtención de imágenes con menos urgencia. Por último, los operadores construirán, con el tiempo, archivos de imágenes, y se podrá comprar parte de estos archivos a un costo significativamente menor. El precio también dependerá del grado de procesamiento de los datos en bruto, que puede incluir corrección radiométrica o geométrica y georreferenciamiento con o sin puntos de control en la superficie terrestre. Los datos en bruto serán mucho menos costosos que un mapa ortofotográfico digital producido a partir de las imágenes satelitales.

iii. Aplicaciones

2.280. Las imágenes satelitales de alta resolución tienen un nivel de detalle geográfico similar al de los mapas ortofotográficos digitales creados a partir de fotos aéreas, pero también tienen un inconveniente: es más difícil obtener imágenes sin nubes que desde aeronaves que vuelan bajo y que operan con un programa más flexible. Las imágenes sin nubes de alta resolución permiten contar las unidades de vivienda, estimar la población y demarcar las zonas de empadronamiento. Es posible que las imágenes satelitales de menor resolución no tengan el detalle suficiente para contar las viviendas.

2.281. Lo (1995) estimó los totales de población para las circunscripciones urbanas en la densa zona urbana

de Kowloon, Hong Kong, basándose en la proporción de píxeles clasificados como residenciales dentro de cada circunscripción. Si bien los errores generales eran bastante pocos debido a que la sobreestimación y la subestimación se cancelan entre sí hasta un cierto punto, los errores en cada unidad informante muchas veces serán inaceptables en aplicaciones censales (véanse también Clayton y Estes, 1980; Lo, 1986; y Paulsen, 1992). Aun así, cada poblado y las características fisiográficas principales fuera de las ciudades densas se pueden extraer de imágenes satelitales de menor resolución y es posible obtener así información valiosa para la producción de mapas de las zonas de empadronamiento y mostrar detalle suficiente para demarcar estas zonas en sectores rurales. Pazner y otros (1994) enuncian las bases para extraer de información a partir de imágenes obtenidas por teleobservación.

2.282. Al igual que en el caso de las fotografías aéreas, la adquisición de imágenes satelitales es bastante costosa —a pesar de que es más barata que los reconocimientos por medio de fotografías aéreas. Por ello, los datos satelitales de alta resolución se deberían obtener por medio de un acuerdo de participación en los costos con otros organismos o se podrían emplear en forma selectiva en las zonas que tienen una cobertura cartográfica insuficiente.

iv. Ventajas y desventajas de los datos obtenidos mediante teleobservación

2.283. Las ventajas son las siguientes:

- Es posible actualizar la cobertura de zonas muy grandes a un costo relativamente bajo con imágenes de resolución menor;
- Es posible extraer gran cantidad de información a partir de las imágenes;
- Es posible actualizar los mapas topográficos de las zonas rurales; por ejemplo, se pueden identificar asentamientos o poblados nuevos que no aparecen en los mapas.

2.284. Las desventajas son:

- La resolución de muchos sistemas no es suficiente para las aplicaciones censales;
- La cubierta de nubes o de vegetación restringe la interpretación de las imágenes;
- No hay mucho contraste entre las características —por ejemplo, los caminos de tierra y los materiales de construcción tradicionales en las zonas rurales— lo que hace que sea difícil demarcarlas;

- El procesamiento de las imágenes requiere muchos conocimientos.

4. Conversión de los datos geográficos

a) Conversión de mapas impresos a datos digitales

2.285. El procedimiento por el cual se convierten las características visibles en un mapa impreso a información digital en forma de puntos, líneas, polígonos o atributos se denomina automatización o conversión de los datos. En muchos proyectos de SIG, éste es el paso que insume, con mucho, la mayor cantidad de tiempo y de recursos.

2.286. La conversión a una base de datos digital de SIG de los mapas impresos o de la información conseguida a partir de fotografías aéreas o de imágenes obtenidas mediante teleobservación se realiza en una serie de etapas. Aunque la secuencia varíe, los procedimientos necesarios son similares en cada caso. Después de convertir las características puntuales o lineales seleccionadas en el mapa a coordenadas digitales en la computadora, normalmente hay que editarlas bastante para tratar de resolver cualquier error que haya quedado o cualquier omisión. Luego, hay que transformar las coordenadas del mapa, registradas inicialmente en las unidades que usa el digitalizador o el escáner a las coordenadas del mundo real correspondientes a la proyección cartográfica del mapa fuente. Algunos sistemas permiten determinar la proyección antes de la digitalización. En este caso, las coordenadas se convierten espontáneamente durante la digitalización. Es evidente que el resultado será el mismo.

2.287. La etapa siguiente consiste en adjuntar suficientes códigos a las características digitalizadas. Por ejemplo, cada línea que represente un camino tendría un código que se refiere al tipo de camino (de tierra, de un solo carril, una carretera de dos carriles, y demás) o un código único que se puede vincular, por ejemplo, con una lista de nombres de calles. En los programas de SIG avanzados, a esta etapa le sigue la estructuración de la base de datos, también denominada construcción de la topología, en la cual el SIG determina las relaciones entre las características de la base de datos. Por ejemplo, para una base de datos de caminos, el sistema determinará las intersecciones entre dos o más caminos y creará nodos en cada una. Para los datos poligonales, el sistema determinará qué líneas definen el perímetro de cada polígono. Después de que se ha verificado que la base completa no tiene errores, la última etapa consiste en agregar los atributos adicionales, que se pueden vincular a la base en forma permanente o se puede guardar la información adicional sobre cada ca-

racterística de la base en archivos separados que se podrán vincular con la base según se necesite.

2.288. Los dos métodos principales para convertir la información en los mapas impresos a datos digitales son la digitalización manual y el escaneo. El primer método entraña la identificación de todas las características puntuales y lineales necesarias del mapa con un cursor o ratón. Las técnicas de digitalización también se utilizan para actualizar mapas digitales ya existentes sobre la base de mapas en papel actualizados o marcados. En cambio, el escaneo es el procedimiento automático de conversión de un mapa a una imagen digital en cuadrícula que después puede convertirse en líneas digitales. Los dos métodos se examinan con más detalle a continuación.

b) Digitalización

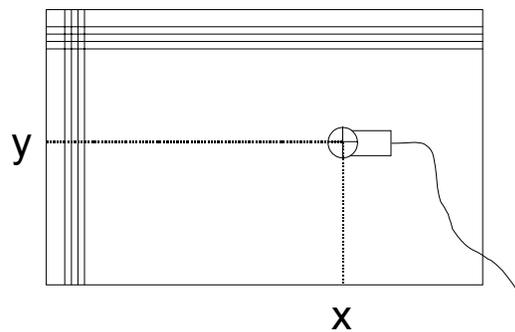
2.289. El método que más se ha utilizado para automatizar los datos espaciales es la digitalización manual, que requiere un digitalizador, que puede tener un tamaño pequeño de 30 x 30 cm hasta uno grande, de 120 x 180 cm. Los de mayor tamaño facilitan la digitalización de mapas más grandes. En uno pequeño hay que digitalizar los mapas más grandes en varias partes que luego habrá que combinar. El procedimiento consiste en fijar el mapa al digitalizador usando cinta transparente. En teoría, el mapa debería ser plano y no debería estar roto ni doblado. A menudo el papel se achica, especialmente cuando hay humedad, y esto introduce distorsiones que se transportarán a la base de datos digital.

2.290. El primer paso es determinar una cantidad definida con precisión de puntos de control en el mapa (habitualmente serán por lo menos cuatro), que tendrán dos finalidades: en primer lugar, si se digitaliza un mapa grande en varias etapas y hay que sacarlo a veces del digitalizador, los puntos de control permiten volver a colocar el mapa con exactitud. En segundo lugar, se eligen puntos para los cuales se conocen las coordenadas del mundo real en el sistema de proyección del mapa básico. Una buena elección son las intersecciones de la retícula de latitud y longitud que aparece en muchos mapas topográficos. En la etapa de georreferenciamiento que precede o sigue a la digitalización, se usa esta información para convertir las coordenadas medidas en centímetros o pulgadas en el digitalizador a las coordenadas del mundo real —generalmente en metros o pies— de la proyección cartográfica.

2.291. Después de seleccionar los puntos de control, el operador traza las características lineales en el mapa con un cursor que se comunica con el digitalizador, que a su vez contiene una red de cables (se puede ver parte

de ésta en el gráfico II.26) que crea un campo electromagnético. El cursor contiene una bobina metálica, de manera tal que el digitalizador y el cursor actúan como transmisor y receptor. Esto permite que el cursor determine los cables más cercanos en dirección x e y. Se puede encontrar la posición exacta con gran precisión mediante interpolación. Las características digitalizadas se dibujan inmediatamente en la pantalla de la computadora, lo que permite que el operador verifique qué límites se captaron y si se introdujo algún error grave.

Gráfico II.26. Digitalizador



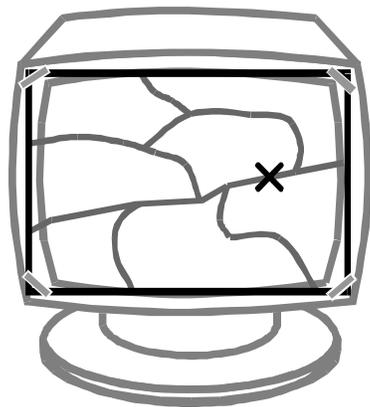
2.292. Las coordenadas se registran en modo puntual, de distancia o continuo. En el modo puntual, el operador presiona un botón en el cursor cada vez que una línea cambia de dirección. En el caso de las curvas, la cantidad de coordenadas que se registra determinará la regularidad de la línea en la base de datos de SIG. En el modo de distancia, la coordenada se registra automáticamente cuando el operador mueve el cursor una distancia específica. Por último, en el modo continuo, el cursor registra las coordenadas automáticamente en intervalos especificados con anterioridad. En los modos de distancia y continuo se corre el riesgo de que los segmentos complejos con muchas curvas se registren con un número insuficiente de coordenadas. En cambio, los segmentos largos y rectos pueden producir muchos puntos redundantes. El modo que habitualmente prefieren los operadores expertos es el puntual, pues les permite elegir la densidad de las coordenadas.

2.293. La digitalización es un procedimiento tedioso y cansador. Por ello, además de asegurarse que los operadores estén bien capacitados, es importante que el ambiente donde operan sea agradable y que cuenten con un equipo digitalizador ergonómico adecuado. Las macro instrucciones coherentes de los programas de SIG que sirven de guía para el operador y los procedimientos de control de calidad reducirán al mínimo los errores durante la digitalización y disminuirán el tiempo requerido para la edición posterior.

2.294. Durante la digitalización, el operador puede optar por asignar códigos de características a cada línea o punto que se capta, por ejemplo, a los diferentes tipos de límites administrativos, desde uno para los límites provinciales hasta tres para los límites distritales. En algunos sistemas de SIG estructurados topológicamente, el usuario también debe agregar un punto denominado de etiqueta a cada polígono digitalizado, lo que puede realizarse manualmente durante la digitalización o bien automáticamente antes de construir la topología. Este punto de etiqueta es el vínculo entre el polígono y el cuadro de atributos geográficos que contiene datos acerca del polígono (véase el anexo I).

2.295. Cuando se ingresan datos sin digitalizador se dice que la digitalización es manual. El operador traza las características del mapa en una transparencia y adjunta este mapa a la pantalla de la computadora (véase el gráfico II.27). Con un módulo de entrada de datos de SIG o simplemente con un programa de gráficos que utiliza un formato compatible con el de SIG, ahora se pueden digitalizar las líneas o puntos usando el ratón. Esta opción es viable cuando no se dispone de un digitalizador u otro dispositivo de entrada de coordenadas estándar, pero el método sólo será adecuado si los requisitos de exactitud son muy escasos. En otro tipo de digitalización manual, el operador utiliza un mapa, fotografía aérea o imagen satelital escaneados como referencia e identifica las características con el ratón. Este método, que da mejores resultados, se examina en la sección que sigue.

Gráfico II.27. Digitalización manual



Ventajas y desventajas de la digitalización

2.296. Entre las ventajas de la digitalización se cuentan las siguientes:

- Es fácil de aprender y por ende no requiere una costosa mano de obra calificada;
- Se puede agregar información sobre los atributos durante el procedimiento;
- Se puede lograr un alto grado de exactitud mediante la digitalización manual, es decir, normalmente no se pierde exactitud con respecto al mapa fuente.

2.297. Las desventajas son las siguientes:

- Es un procedimiento tedioso, que posiblemente fatigue al operador y produzca deficiencias de calidad que pueden requerir bastante procesamiento posterior;
- La digitalización manual es bastante lenta. En consecuencia, los proyectos de conversión de datos de gran escala necesitan una gran cantidad de operadores y digitalizadores;
- A diferencia de la reunión primaria de datos con un GPS o fotografías aéreas, la exactitud de los mapas digitalizados se ve limitada por la calidad del material de fuente.

c) Escaneo

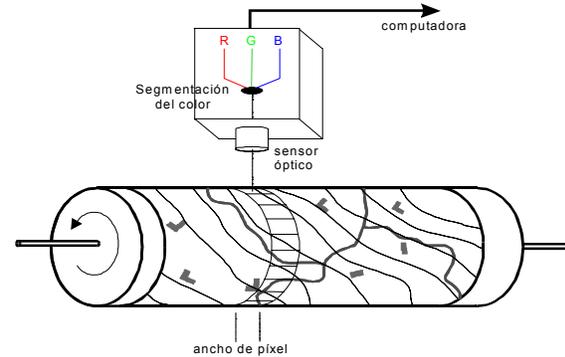
2.298. Para muchas tareas de ingreso de datos, el escaneo es ya una opción viable frente a la digitalización. Hay diferentes tipos de escáneres pero, básicamente, todos trabajan de la misma manera. Se ubica al mapa de cara para abajo sobre la superficie de escaneo y se dirige la luz hacia el mapa en un ángulo determinado. Un dispositivo fotosensible registra la intensidad de la luz reflejada correspondiente a cada casilla o píxel en una cuadrícula muy fina. En el modo de escala de grises, la intensidad de la luz se convierte directamente en un valor numérico, por ejemplo un número entre 0 (negro) y 225 (blanco). En el modo binario, la intensidad se convierte en valores para las casillas de blanco o negro (0/1) según una intensidad mínima. En los escáneres a color, el dispositivo fotosensible se divide en tres partes, cada una de las cuales es sensible al rojo, al verde y al azul, respectivamente. Al combinar la intensidad relativa de las señales de los tres colores se puede determinar el color del píxel. El resultado del procedimiento de escaneo es una imagen en cuadrícula del mapa original, que se puede almacenar en un formato de imagen estándar, como el archivo de intercambio de datos geográficos (GIF) o TIFF. Después de georreferenciar la imagen —que implica especificar las coordenadas de un ángulo de la imagen y el tamaño de los píxeles, ambos en unidades del mundo real— se puede visualizar en muchos programas de SIG como fondo de

los datos en vectores que ya existen. Pero en general, las características geográficas de la imagen se extraen manual o automáticamente y se convierten en datos en forma de vectores.

2.299. Hay tres tipos básicos de escáneres que se usan frecuentemente:

- Escáneres planos o de mesa, que se usan hoy en día en muchas oficinas. Son relativamente pequeños, y los mapas más grandes se deben escanear en varias partes y luego unirlos en la computadora. El documento se ubica de cara para abajo en la placa de vidrio y la cámara y la fuente de luz se mueven a lo largo del documento por debajo del vidrio. Estos escáneres tienen la ventaja de ser poco costosos y de fácil instalación y mantenimiento. Son útiles para escanear documentos de texto —por ejemplo cuadros de datos— que luego se interpretan usando programas de reconocimiento óptico de caracteres. También sirven para transferir gráficos y mapas pequeños a una computadora. No son tan convenientes para la tareas de conversión de gran envergadura, que entrañan escanear muchos mapas topográficos y temáticos grandes porque hay que trabajar por sectores que luego se unen en la computadora, lo que lleva mucho tiempo y puede producir muchos errores.
- Escáneres cilíndricos, que son más costosos y se usan en aplicaciones profesionales que exigen mucha precisión (por ejemplo, la fotogrametría o las aplicaciones médicas). El mapa se fija en un tambor que rota. Un sistema de sensores se mueve a lo largo del mapa y registra la intensidad de la luz o el color de cada píxel (véase el gráfico II.28). Si bien tienen mucha precisión, también son muy costosos y bastante lentos: un solo escaneo puede llevar de 15 a 20 minutos.
- Escáneres de alimentación, que son los que más se usan en las aplicaciones de SIG de gran escala. El sistema de sensores es estático y el mapa se hace desplazar entre los sensores. Tienen una exactitud menor que los cilíndricos porque el movimiento del escáner puede controlarse mejor que la alimentación, pero normalmente es suficiente para las aplicaciones de SIG, su costo es más bajo y en general se obtienen imágenes en menos de cinco minutos. Cabe mencionar que los documentos viejos o frágiles pueden ser dañados por los rodillos de alimentación del escáner.

Gráfico II.28. Principio del escáner cilíndrico (según Kraak y Ormeling, 1997)



2.300. La graduación del escáner que elija el operador influirá mucho en las características de la imagen que se produzca. La elección de los parámetros óptimos requiere cierta experimentación, puesto que depende de las opciones del escáner, de las características de los mapas o fotos de base que se escaneen y de los pasos siguientes de procesamiento. Los parámetros más importantes son los siguientes:

- Modo de escaneo. El modo binario o lineal se adecua bien a los dibujos o bocetos monocromáticos y a las separaciones de color, donde todas las características son básicamente del mismo tipo. El modo de escala de grises preserva las variaciones de un mapa y, después, se puede manipular la imagen para extraer solamente las características que tienen un determinado valor de reflectancia en un sistema de procesamiento de gráficos o de imágenes. La tarea es todavía más sencilla cuando los mapas se escanean en modo de color, en el cual se pueden extraer, por ejemplo, todas las características del mapa que estén en verde usando unos pocos comandos sencillos.
- La resolución de la imagen se mide en puntos por pulgada (dpi). Las resoluciones normales varían entre 100 y 400 dpi (aunque las fotografías aéreas generalmente se escanean con una resolución más alta en escáneres especiales). Una resolución más alta conserva más detalles del mapa original y produce líneas con menos interrupciones en el conjunto de datos de SIG vectorizados. Pero las imágenes resultantes serán más grandes y requerirán más memoria y espacio en el disco; si se duplica la resolución se obtiene una imagen cuatro veces más grande. La elección depende de las propiedades del documento fuente, del equipo disponible y del uso que se le quiera dar a la imagen.

- Brillo, contraste y umbral. Estos parámetros determinan el aspecto de la imagen resultante. El brillo determina la claridad y oscuridad generales de la imagen. El contraste se utiliza para establecer la forma en que se conservarán los valores de grises o los matices sutiles. Un contraste más alto hará que la imagen sea más marcada, pero se perderán la variación y los detalles. El umbral es un parámetro que se usa en el modo binario para determinar la forma en que se convertirán los valores de grises en el documento original en píxeles blancos o negros. La elección del parámetro variará según el objetivo del escaneo: producir una representación atractiva y exacta del documento fuente, o vectorizarlo ulteriormente. En este caso, un mayor contraste o brillo quizá sirva para resaltar características del mapa y, de esta forma, facilitar la conversión posterior al formato vectorial.
- Corrección gamma. El control del brillo y el contraste sirven si los valores de los píxeles de la imagen están distribuidos con bastante regularidad en todo el intervalo de valores de grises, pero normalmente no es así; por ejemplo, la imagen puede tener sectores muy brillantes y sectores muy oscuros. La corrección gamma es una técnica que considera la distribución de los valores de gris de la imagen y realiza un ajuste automático para aclarar u oscurecer sectores, o para estirar los valores de las casillas en un intervalo más amplio de valores de gris. Muchas veces, esta técnica puede ayudar a conservar las variaciones sutiles de la imagen.

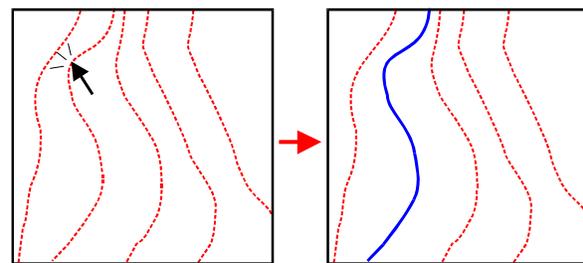
2.301. El escaneo del documento fuente es solamente el primer paso y es bastante sencillo. Como el resultado del procedimiento de conversión es una base de datos geográficos digitales de puntos y líneas, la información escaneada contenida en la imagen en cuadrícula debe convertirse a información de las coordenadas. Este procedimiento se denomina conversión grilla-vector. Hasta hace poco, este paso era el más débil del escaneo, y por ello el método de entrada de datos preferido ha sido la digitalización. Los avances recientes en el desarrollo de programas, técnicas de reconocimiento de dibujos y velocidades de procesamiento han producido grandes avances en esta esfera.

2.302. La conversión grilla-vector se puede realizar en forma automática, semiautomática o manual. En el primer modo, el sistema convierte todas las líneas de la cuadrícula en secuencias de coordenadas automáticamente. Como las líneas gruesas en el mapa se convierten en líneas de la cuadrícula que tienen un ancho de varios píxeles, el procedimiento automatizado comien-

za con un algoritmo para angostar las líneas. El siguiente paso es determinar las coordenadas de cada píxel que define la línea y le sigue, posiblemente, la eliminación de las coordenadas redundantes —es decir, las líneas rectas que se pueden representar con menos coordenadas. Los programas de conversión también permiten, por lo general, especificar los niveles de tolerancia. Por ejemplo, las características que tienen un solo píxel, o muy pocos, pueden representar lugares donde sólo hay manchas en los mapas fuente y se podrían borrar automáticamente. Además, si la imagen se escaneó en color, estos programas de conversión permiten especificar los códigos que se asignarán a los colores, lo que es útil para extraer los diferentes tipos de características en distintas capas de datos de SIG. Por ejemplo, los ríos pueden ser azules en el mapa fuente, mientras que los caminos se dibujan en negro, y los límites de las unidades administrativas en rojo.

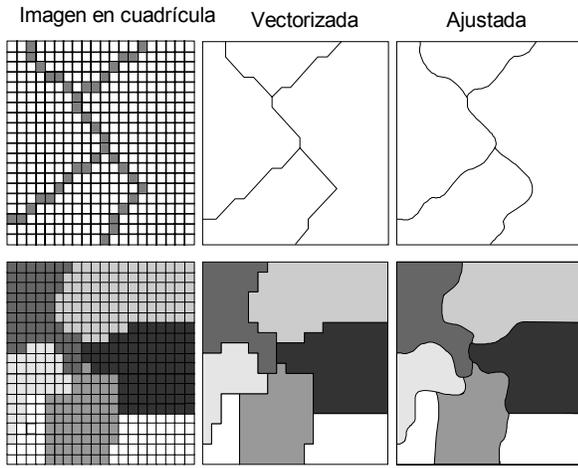
2.303. En el modo semiautomático, el operador hace click en cada línea que hay que convertir (gráfico II.29). Luego, el sistema traza esa línea hasta las intersecciones más cercanas y la convierte en una representación vectorial, lo que tiene la ventaja de que el operador puede seleccionar solamente un subconjunto de características del mapa, por ejemplo, todos los caminos pero no los ríos. Por último, en el modo manual, la imagen en cuadrícula escaneada se utiliza simplemente como fondo de la pantalla. Las coordenadas se crean ubicando las características en la imagen escaneada con un ratón, al igual que con la digitalización manual mencionada antes.

Gráfico II.29. Vectorización semiautomática



2.304. Si se convierten características lineales o de superficie al formato vectorial en forma automática a partir de imágenes en cuadrícula de resolución relativamente baja, es posible que las líneas resultantes tengan bordes pronunciados poco naturales. Es habitual ajustar los datos vectoriales usando las funciones de segmentación o de generalización de los programas de SIG. En el gráfico II.30 se muestran ejemplos de un conjunto de datos lineales y poligonales.

Gráfico II.30. Vectorización y ajuste de datos de imágenes escaneadas



i. Algunas consideraciones adicionales

2.305. Cuando se planifica un proyecto de conversión de datos sobre la base del escaneo de mapas, hay que tomar en consideración varios factores. En Pazner y otros (1994), Hohl (1998) y Naciones Unidas (1997c) pueden encontrarse detallados estudios sobre las técnicas de escaneo. En los siguientes párrafos, solamente se examinan algunos puntos principales.

2.306. Si se prepara adecuadamente el mapa básico antes del escaneo, la calidad del producto mejorará en medida significativa. Los mapas deben ser planos y estar limpios. Cualquier resto de cinta que haya en el mapa debe eliminarse, porque deja marcas en la superficie del escáner. Las características que no son nítidas en el mapa se pueden resaltar con una lapicera o un marcador. De manera similar, el operador puede trazar nuevamente los símbolos lineales en la pantalla y llenar los polígonos cuadriculados para producir líneas llenas y rellenos que facilitarán la vectorización automática. También se pueden hacer estos cambios sobre la imagen escaneada antes de vectorizarla, utilizando para ello cualquier programa de gráficos basado en cuadrículas. Pero con frecuencia es más sencillo hacer estos cambios a mano. Hay que usar un marcador al agua o un lápiz de cera, porque los que usan derivados del petróleo pueden dañar la superficie de vidrio del escáner y los trazos de los lápices de grafito reflejan la luz de una manera tal que podría hacerlos invisibles. En el caso de las fotografías, una terminación mate da mejores resultados que el papel brillante.

2.307. Por lo general, se agrega un paso adicional cuando se convierten mapas relativamente complejos, que muestran muchas características diferentes (por

ejemplo, los mapas topográficos) o mapas de mala calidad. En el caso de estas fuentes de datos cartográficos, es posible mejorar la exactitud y reducir la necesidad de procesamiento posterior si se identifican primero todas las características requeridas en un medio transparente, como el mylar. Aunque aumenta el trabajo de los operadores, esta identificación resulta más rápida porque reduce el tiempo requerido para la edición y la corrección de errores. El documento fuente marcado que luego se escanea es más claro y solo contiene las características que realmente se necesitan. Este es el procedimiento que se emplea en la mayoría de las aplicaciones profesionales de escaneo de gran escala. Es posible evitar las versiones preliminares si se pueden obtener las separaciones originales de los colores de los mapas publicados, lo que muchas veces es factible para la serie de mapas topográficos nacionales. Cada separación contiene solo un subconjunto de características del mapa en papel, lo que facilita la separación de las características en capas de datos distintas.

2.308. A pesar de estos pasos preliminares, es probable que las imágenes escaneadas todavía necesiten más procesamiento antes de que se puedan correr las rutinas de vectorización. Este procesamiento puede incluir el mejoramiento de la imagen, de la nitidez o el contraste, por ejemplo, o la eliminación de pequeñas manchas o los cambios interactivos del nivel de píxeles. Un programa de gráficos en cuadrícula o de vectorización proporcionarán las funciones necesarias.

2.309. En los programas de SIG para datos en cuadrícula hay rutinas de conversión cuadrícula-vector, pero están diseñadas para convertir datos de SIG en ambos formatos y no para convertir imágenes escaneadas complejas en características vectoriales claras. Para un proyecto de vectorización en gran escala, es más adecuado un programa específico. Actualmente, se pueden obtener varios programas de conversión cuadrícula-vector comerciales y no comerciales (Graham, 1997; Naciones Unidas, 1997c), que ofrecen diferentes opciones. Algunos permiten hacer simétricas las imágenes asimétricas; otros, reconocer los caracteres ópticos de las anotaciones del mapa, que se pueden guardar como atributos de las características vectoriales resultantes. Los precios varían mucho. El programa no comercial Mapscan (Naciones Unidas, 1997c), por ejemplo, ofrece la mayoría de las funciones de los costosos programas comerciales. Por eso, el personal encargado de la conversión de los datos debe comparar detenidamente las exigencias de las tareas de conversión con todas las opciones y funciones disponibles.

ii. *Ventajas y desventajas del escaneo*

2.310. Las ventajas son, entre otras, las siguientes:

- Los mapas escaneados se pueden usar como fondo de imagen para la información vectorial. Por ejemplo, los mapas topográficos escaneados pueden utilizarse en combinación con los límites de las zonas de empadronamiento digitalizados para producir mapas de empadronamiento;
- Los mapas básicos claros, o las separaciones de color originales, se pueden vectorizar con bastante facilidad usando programas de conversión cuadrícula-vector;
- Los escáneres pequeños son relativamente baratos y pueden captar los datos con rapidez.

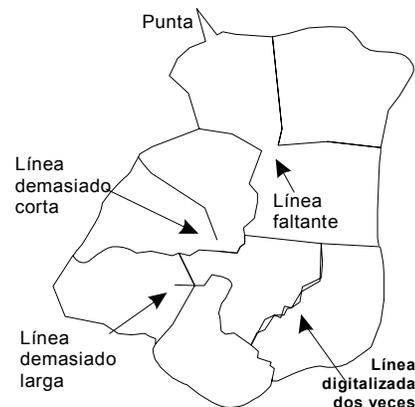
2.311. Las desventajas son las siguientes:

- La conversión de mapas grandes en escáneres pequeños implica la tediosa tarea de reensamblar las partes;
- Los escáneres grandes y de alto rendimiento son costosos;
- A pesar de los avances recientes en los programas de vectorización, todavía hay que editar y etiquetar los atributos en forma manual.

d) *Edición*

2.312. El objetivo de convertir información geográfica analógica en digital es producir una representación exacta de los datos originales del mapa. Esto significa que todas las líneas que se conectan en el mapa también deben conectarse en la base de datos digital. No debe haber ninguna característica faltante ni ninguna línea duplicada. Es fácil que la digitalización manual tenga errores. En el gráfico II.31 se muestran los tipos de errores más comunes. De manera similar, después de la conversión cuadrícula-vector, los segmentos desconectados deben unirse manualmente. Esto sucede, por ejemplo, cuando los caminos o ríos pequeños dibujados con una línea delgada cruzan caminos importantes que están dibujados con una línea gruesa. Si los caminos o ríos pequeños se extraen en una capa separada, habrá vacíos en la red de caminos en las intersecciones de estos con los caminos importantes.

Gráfico II.31. Algunos errores comunes de digitalización



2.313. Algunos de los errores comunes de la digitalización que se muestran en el gráfico II.31 se pueden evitar usando las denominadas tolerancias puntuales que define el usuario de los programas de digitalización. Por ejemplo, el usuario puede especificar que todos los puntos finales de una línea que estén a menos de 1 mm de otra línea se conecten automáticamente a esa línea. También se pueden eliminar automáticamente los polígonos pequeños con forma de cuña que se crean cuando se digitaliza una línea dos veces. Pero solo algunos de los problemas se pueden resolver de esta forma. La corrección manual de los errores de digitalización después de una comparación detenida de los mapas originales y los digitalizados sigue siendo un componente necesario del proceso de conversión de datos.

e) *Construcción de la topología*

2.314. La construcción de la topología del mapa digital facilita la edición; por ejemplo, permite que el usuario identifique problemas, como los polígonos que no están completamente cerrados. La topología de las características describe las relaciones espaciales entre características geográficas conectadas o adyacentes como los caminos que se unen en intersecciones (véase el anexo I sobre SIG). La estructuración de una base de datos de SIG en forma topológica implica la identificación de estas relaciones espaciales y su descripción en la base de datos. La forma en que esto se realiza depende del programa. El almacenamiento de la información topológica facilita el análisis, ya que muchas operaciones de SIG no requieren información sobre las coordenadas, sino que se basan en la topología. Por ejemplo, se pueden determinar los vecinos de un distrito a partir de un cuadro de la base de datos que lista para cada línea, el polígono a su derecha y a su izquierda (véase el anexo I).

2.315. Habitualmente, el usuario no debe preocuparse por la forma en que se almacena la información topológica en un SIG. Si la base de datos está bien —es decir, todas las líneas están conectadas y los polígonos están identificados adecuadamente— se usa una función de SIG para construir la topología y crear todos los archivos necesarios de datos internos. Esta función se podrá ejecutar con éxito solamente si la base de datos del mapa no tiene errores. La construcción de la topología también funciona, entonces, como una prueba de la integridad de la base de datos.

5. Integración de los mapas digitales

a) Introducción

2.316. Un proyecto de cartografía censal debe aprovechar todas las fuentes de datos cartográficos adecuadas, que probablemente estén almacenadas en diferentes formatos, con diferentes escalas y proyecciones. Si se desea producir una base de datos de cartografía censal digital, completa y sin interrupciones, la integración de todas estas fuentes de datos heterogéneas requiere bastantes conocimientos acerca de los métodos que usa un SIG. En las secciones que siguen, se examinan los métodos más importantes que facilitan la integración de los datos cartográficos digitales (para más detalles, véase Hohl 1998).

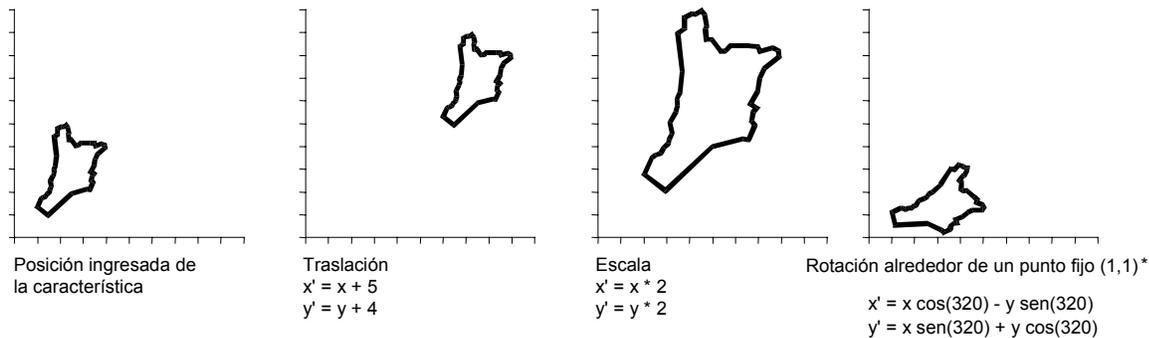
b) Georreferenciamiento

2.317. Las coordenadas que capta un digitalizador o un escáner son relativas, medidas en la dirección x e y , y por lo general en centímetros o pulgadas a partir del origen del dispositivo de entrada de datos —habitualmente el ángulo inferior izquierdo. Si se digitalizan varios mapas adyacentes, es evidente que no encajarán cuando se unan los respectivos mapas digitales en la base de datos. De hecho, se superpondrán, ya que todos están referenciados en el mismo segmento del sistema de coordenadas del digitalizador. De manera similar, las capas existentes de SIG georreferenciadas de la

misma zona, o las coordenadas reunidas con un sistema mundial de determinación de posición, no serán compatibles con los mapas digitalizados porque están referenciadas en un sistema de coordenadas del mundo real. Por este motivo, las coordenadas digitalizadas de los puntos o líneas deben convertirse de unidades de digitalización en unidades cartográficas del mundo real medidas en metros o pies (véase también el anexo II). Como se mencionó antes, este paso se puede realizar en la mayoría de los sistemas al comienzo de la digitalización o bien después de completada la automatización de los datos espaciales.

2.318. Casi todos los programas de SIG tienen las funciones que se necesitan para el georreferenciamiento. El usuario debe especificar una serie de puntos de control de los que se conocen las coordenadas del mundo real. Sobre la base de los datos de las coordenadas ingresadas en unidades de digitalización y las coordenadas del mundo real que se obtienen, el sistema calcula una serie de parámetros de transformación que realizan las siguientes conversiones (véase el gráfico II.32):

- **Traslación.** Se mueve la característica geográfica a una posición nueva simplemente sumando (o sustrayendo) los valores constantes a las coordenadas x e y . Generalmente el ajuste será diferente para x y para y ;
- **Escala.** Se agranda o reduce la característica multiplicando las coordenadas x e y por un factor para cada una de ellas. Por lo general, la escala se determina en relación con el origen del sistema de coordenadas;
- **Rotación.** La característica geográfica se rota alrededor del origen del sistema de coordenadas en un cierto ángulo, lo que asegura que el mapa digital resultante tiene la orientación adecuada, aun cuando el mapa en papel no se haya alineado correctamente en el digitalizador.

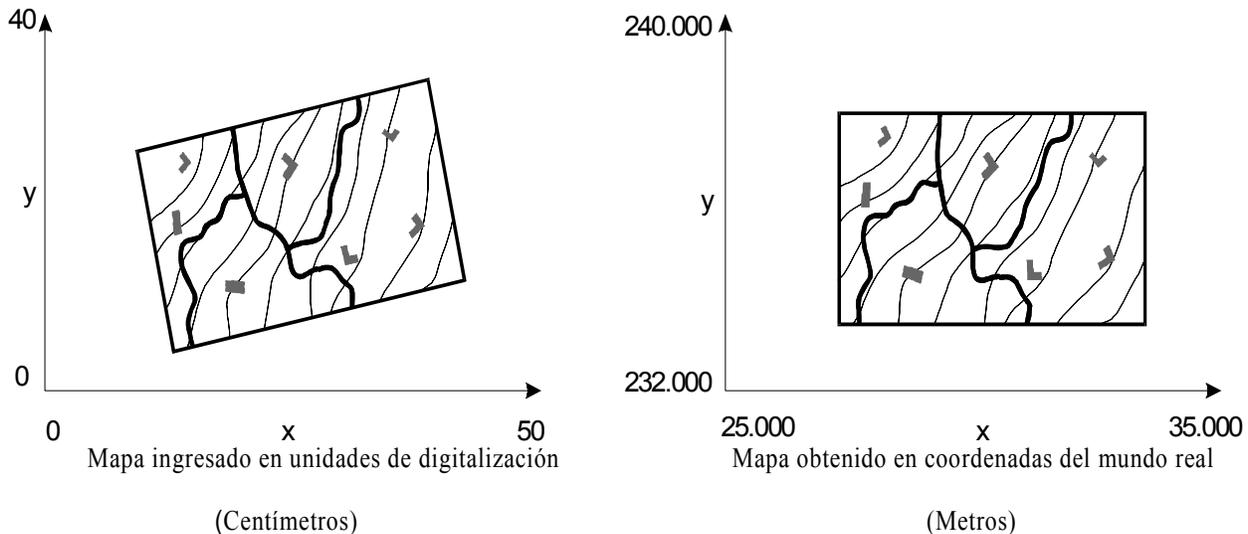
Gráfico II.32. Traslación, escala y rotación

* Requiere traslación antes y después de la rotación alrededor del origen.

La rotación es positiva y en sentido contrario a las agujas del reloj.

2.319. Cabe observar que la forma de las características digitalizadas no cambia en esta transformación como lo haría si se modificara la proyección. Solamente se modifica el tamaño y la orientación relativa de los objetos. Una vez calculados los parámetros de traslación, escala y rotación, el sistema los aplica a todas las coordenadas de los puntos y líneas de la base de datos. El resultado es un mapa que tiene un aspecto muy similar, pero que ahora está registrado en el sistema de co-

ordenadas adecuado que se usó para producir el mapa básico original (véase el gráfico II.33). Es importante asegurar que haya un mínimo de error en esta operación. Por lo general, el sistema da información sobre el error de estimación de los parámetros de transformación para cada punto, que sirve para detectar errores de especificación de las coordenadas del mundo real de los puntos de control. En el anexo II se dan más detalles técnicos.

Gráfico II.33. Mapa en unidades de digitalización; mapa en coordenadas del mundo real

2.320. Cuando no se conoce la proyección ni el sistema de coordenadas del mapa fuente se presenta un problema grave y, lamentablemente, bastante frecuente, porque los mapas en papel, en especial los temáticos, no contienen esta información. En este caso hay dos posibilidades: probar gran cantidad de proyecciones posibles (la proyección estándar que se usa en los progra-

mas cartográficos del país es una buena opción) o usar la denominada modificación irregular.

2.321. La modificación irregular requiere gran cantidad de puntos de control bien distribuidos en todo el mapa. A veces, se puede usar un mapa digital de los límites nacionales y administrativos, u otros puntos que

estén claramente definidos, y que también figuren en el mapa digitalizado, para encontrar vínculos entre los puntos correspondientes. Luego, el sistema utiliza las coordenadas de entrada y salida para computar transformaciones polinómicas de orden superior. Normalmente el error es bastante grande y por ello, si es posible, se debería evitar esta operación. Pero en algunos casos, cuando los mapas de entrada no se ajustan a ninguna proyección bien definida, es una opción viable para aprovechar la información geográfica disponible. Un buen ejemplo en el contexto de la cartografía censal es el georreferenciamiento de mapas boceto dibujados a mano. En la sección F del anexo II hay un ejemplo práctico de georreferenciamiento que muestra el proceso de conversión de, por ejemplo, un mapa digitalizado en una base de datos bien referenciada.

c) Cambio de proyección y datum

2.322. El cambio de proyección guarda relación con el procedimiento de transformación por el cual se convierten las coordenadas de las características de un mapa digital sin modificar su forma. Cuando se convierte de una proyección a otra, es cierto que la forma y la distorsión de las características del mapa cambian, aunque solo se lo notará en una escala cartográfica grande.

2.323. El cambio de proyección es necesario cuando hay que ensamblar mapas que se digitalizaron a partir de diferentes mapas en una base de datos sin cortes. A menudo, los mapas publicados con distintas escalas usan proyecciones diferentes. En otros casos, la oficina de cartografía puede haber cambiado la proyección estándar para la cartografía del país, de modo que los mapas más viejos tal vez tengan una proyección distinta a la de los mapas revisados más recientemente. En forma análoga, la oficina de cartografía puede haber cambiado el datum geográfico, que establece el marco de referencia del trabajo cartográfico de un país, de manera tal que los mapas topográficos más viejos, por ejemplo, usarán un sistema de coordenadas algo diferente del de los más nuevos.

2.324. En el anexo II se examinan las proyecciones y los datums geográficos con más detalle. Será conveniente que la oficina de cartografía censal cuente con un cartógrafo entre su personal, o que pueda consultar a expertos de la oficina nacional de cartografía que le

aconsejan sobre la estrategia más adecuada para conciliar las proyecciones y cuestiones relacionadas, a fin de producir una base coherente de la cartografía censal nacional. Los pasos técnicos que se deben seguir para cambiar de proyección no exigirán mucho trabajo, dado que todos los SIG comerciales tienen las funciones de cambio de proyección que se necesitan.

d) Codificación

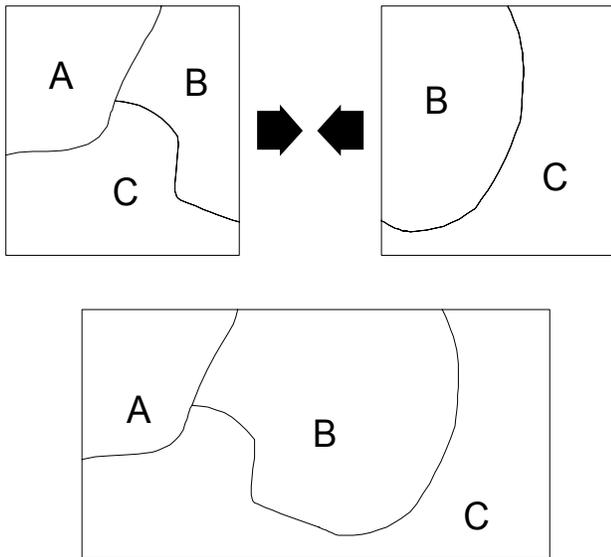
2.325. Una vez terminados los pasos anteriores, la base de datos cartográficos consiste de un conjunto estructurado de puntos, líneas y polígonos. Cada característica geográfica —es decir, cada punto, línea o polígono— tiene un identificador único que el sistema usa internamente. El usuario no suele tener acceso a este identificador interno y no se debe modificar externamente. Se necesita un identificador más significativo que se pueda utilizar para vincular las características geográficas con sus atributos registrados. En el caso de las zonas de empadronamiento y las unidades administrativas, este vínculo es el identificador único de la ZE o administrativo, que se figura en un archivo maestro de todas las zonas geográficas de importancia para los censos.

2.326. La forma en que se ingresa este identificador es específica de cada programa. Se puede agregar durante el procedimiento de digitalización antes de digitalizar la característica, o bien en una etapa posterior seleccionando en forma interactiva la característica y agregando el identificador a través de un menú. En cuanto a las características poligonales, en algunos sistemas el usuario debe agregar un punto de etiqueta contenido en cada unidad. Si bien conceptualmente es un procedimiento sencillo, la codificación puede requerir de bastante tiempo y recursos.

e) Integración de segmentos separados de mapas

2.327. El objetivo de un proyecto de cartografía digital es producir una base de datos sin cortes de una región vasta o de todo un país. Con escalas cartográficas medianas y grandes (por ejemplo, de 1:250.000 o más grandes), la información de los mapas básicos estará en mapas topográficos diferentes, que se digitalizan por separado y luego se unen los mapas digitales resultantes en un SIG (véase el gráfico II.34).

Gráfico II.34. Unión de mapas digitales adyacentes

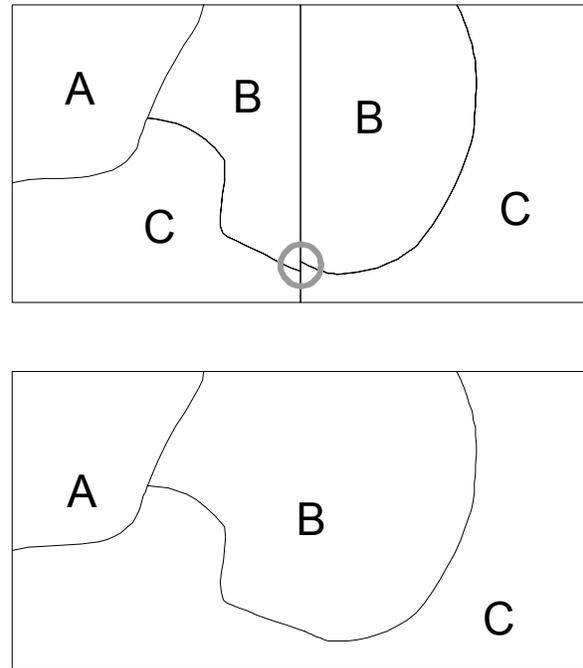


2.328. Por lo general, este procedimiento es sencillo, aunque los diferentes mapas no siempre encajarán perfectamente. Las características que cubren ambos mapas —por ejemplo, los caminos o los límites— pueden estar desplazadas en los bordes de los mapas (véase el gráfico II.35). Los errores pueden haberse introducido durante la digitalización, o tal vez estén en los mapas fuente. Por ejemplo, quizá se produjeron mapas adyacentes en diferentes fechas, de modo que las características más recientes, como los caminos nuevos, no continúan en otros mapas, o están representados con símbolos diferentes.

2.329. El problema es especialmente grave si la cobertura nacional no es completa en la escala deseada y que hay que integrar mapas que tienen diferentes escalas y diferentes densidades de características. Este problema suele plantearse cuando se integran mapas en la interfaz urbana/rural, cuando hay que ajustar mapas de ciudades en escalas grandes con mapas rurales en escalas más pequeñas. Debido a las variaciones de la generalización cartográfica, las características pueden o no estar presentes en los mapas de menor escala, o la simbología puede ser distinta en los dos mapas. La integración de estos mapas exige un criterio y una experiencia considerables.

2.330. El procedimiento por el cual se corrigen estos errores se denomina ajuste de bordes. En general, se realiza en forma manual, con bastante edición. Si las características no están demasiado desplazadas y son compatibles en los diferentes mapas, se pueden conectar con las funciones automáticas de ajuste de bordes que tienen muchos programas de SIG.

Gráfico II.35. Ajuste de los bordes después de unir mapas adyacentes



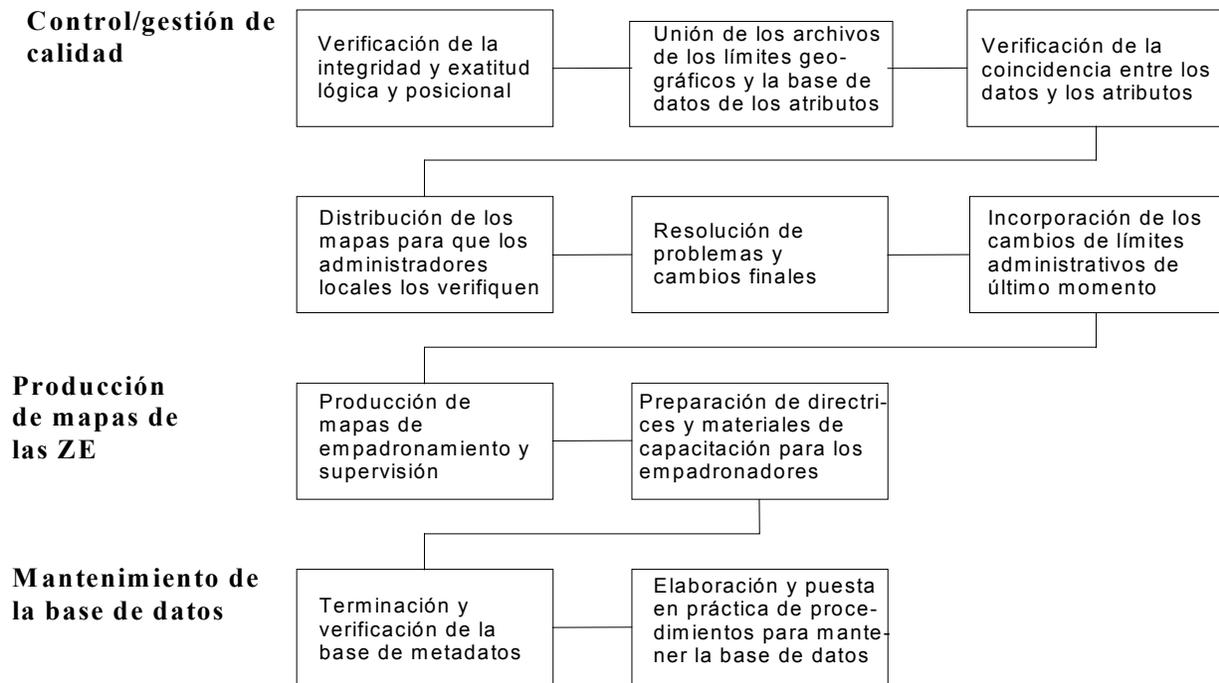
E. Garantía de calidad, producción de mapas de zonas de empadronamiento y mantenimiento de la base de datos

1. Consideraciones generales

2.331. La exactitud e integridad de los datos censales dependen en gran medida de la calidad de los mapas básicos que usan los empadronadores. Además del proceso continuo de control y mejoramiento de la calidad durante la conversión de los datos, el último paso antes de distribuir los mapas de las ZE a los empadronadores es una revisión completa de todos los productos cartográficos. Esto también incluye la verificación de la corrección de los límites administrativos, tarea a cargo de los administradores locales. Cualquier problema o inconsistencia pendiente debe resolverse antes de generar los productos finales.

2.332. La producción de mapas de las ZE es conceptualmente sencilla, siempre que la calidad de la base de datos digital sea satisfactoria. Este paso es más bien un problema de logística, porque hay que distribuir miles de mapas junto con las instrucciones para su lectura y otras directrices.

Gráfico II.36. Etapas de la garantía de calidad, producción de mapas y mantenimiento de la base de datos



2. Producción de mapas boceto y procedimientos de garantía de calidad

a) *Concordancia de los archivos de límites y de atributos, e impresión de mapas generales*

2.333. Cuando se prepara el diseño y la impresión de los mapas definitivos, hay que hacer concordar los conjuntos de datos sobre los límites y el archivo de atributos geográficos, si es que todavía no se han integrado en una base de datos consistente. Este paso también implica verificar que los datos de límites y los datos de los atributos geográficos concuerdan correctamente. Si ambos son correctos, debería haber por lo menos una característica del mapa (punto, línea o polígono) para cada registro en el archivo de atributos geográficos. Si no es así, hay un error en la base de datos del mapa — es decir, falta una ZE— o el cuadro de atributos geográficos contiene un registro duplicado o erróneo. Si hay dos o más polígonos para un registro de atributos, el personal encargado de garantizar la calidad debe confirmar que se siguieron las convenciones definidas para estos casos (véase la sección C.5.h)).

2.334. Una vez que se han hecho concordar correctamente los datos geográficos con la información de los atributos, hay que agregar etiquetas en el mapa y elegir

símbolos cartográficos que identifiquen las características de los mapas básicos (véase también el capítulo III, sección C.3, sobre cartografía temática). El etiquetado se puede realizar en forma interactiva, semiautomática o automática, con un programa de SIG o un programa de diseño de mapas más especializado. En un proyecto de cartografía censal muy grande, el etiquetado de las características lleva mucho tiempo y es una tarea tediosa. Sobre todo cuando el diseño de los mapas de las ZE es bastante complejo —por ejemplo, cuando se combinan muchas capas digitales para producir cada mapa de las ZE— se necesitarán muchos recursos en términos de tiempo y recursos informáticos para etiquetar correctamente.

2.335. La mayoría de los sistemas de SIG y programas informáticos de cartografía contienen funciones de etiquetado automático. El usuario simplemente especifica el campo de atributos en el cuadro de la base de datos de SIG que se debe usar para el etiquetado, por ejemplo, el nombre de una calle o el identificador de un edificio. El sistema utilizará luego algunas reglas sencillas para ubicar las etiquetas sobre o cerca de cada característica. Habitualmente el usuario puede determinar el tamaño de las etiquetas y cuál es la característica sobre la que deben ubicarse si están muy juntas. Pero en to-

dos los casos excepto los más sencillos, habrá que modificar las etiquetas manualmente.

2.336. En el caso de los programas de elaboración de mapas de las ZE de gran envergadura, la oficina de censos podría comprar un programa informático especializado de etiquetado. Estos programas tienen algoritmos más complejos para determinar si se cumplen las reglas más importantes de ubicación de las etiquetas, entre ellas:

- Ninguna superposición entre las etiquetas, o superposición mínima;
- Ninguna superposición entre las características y las etiquetas, o superposición mínima;
- Asignación clara de etiquetas a las características (es decir, sin ambigüedad);
- Aspecto general agradable, por ejemplo con respecto al tamaño y tipo de caracteres.

2.337. Los programas basan la ubicación de etiquetas en una serie de reglas heurísticas que se pueden modificar según el objetivo del usuario, que puede guardar las etiquetas diseñadas para una capa de datos específica de SIG en una capa separada de anotaciones y superponerlas en las capas de las características geográficas según lo necesite.

b) Garantía de calidad

2.338. Si bien se puede verificar la consistencia en forma interactiva en la pantalla de la computadora, es mejor realizar el control definitivo de la calidad sobre los mapas impresos. Por lo tanto, deben producirse mapas de formato grande de forma tal que contengan toda la información que también figurará en los mapas definitivos de las ZE. Estos mapas se preparan para garantizar y verificar definitivamente la calidad y tienen que estar organizados por unidad administrativa. Si se imprimen en la misma escala que los mapas definitivos de las ZE, se necesitarán varios mapas para cada distrito.

2.339. La garantía de calidad se refiere a la verificación definitiva de la base de datos cartográficos antes de publicar los productos para el censo. Es similar al control de calidad, que se estudió antes en la sección C.5.e). Consta de verificaciones manuales y por medio de programas informáticos, algunas de las cuales se realizarán para todos los productos, mientras que las más complejas y prolongadas se realizarán para un subconjunto de productos con una estrategia adecuada de muestreo.

2.340. El control de calidad durante la conversión de los datos se centra en la corrección topológica y posi-

cional de los límites y las coordenadas. Es importante asegurar que los límites que se digitalizaron y almacenaron por separado coincidan sin cortes. Por ejemplo, los límites entre los distritos aledaños deben ser idénticos si los mapas se almacenan en archivos distintos. La garantía de calidad hace hincapié en la adecuación de los productos cartográficos definitivos a la tarea de empadronamiento, lo que implica la verificación de varios aspectos de la integridad de la base de datos, que se describe en los párrafos que siguen. No es una tarea menor, requiere bastante tiempo y recursos, y la oficina de censos debe programarla y presupuestarla según corresponda.

2.341. La verificación que llevarán a cabo los funcionarios de la oficina de cartografía censal incluye la inspección de los siguientes criterios de aceptación:

- Legibilidad – todas las anotaciones del mapa deben ser claramente legibles. A veces, hay demasiadas características en el mapa y resulta difícil leer los nombres de las calles y otros textos informativos. Se pueden omitir algunas etiquetas no tan importantes para mejorar la claridad del mapa. Además, debe quedar claro a qué característica se refiere cada etiqueta. En algunos casos, pueden que se necesiten flechas a modo de aclaración.
- La secuencia de las capas de datos en el mapa es importante, porque las capas de arriba podrían tapar características importantes de una capa de datos geográficos ubicada por debajo.
- La escala cartográfica – por ejemplo, una ZE que es muy grande pero contiene una zona congestionada relativamente pequeña, puede requerir una inserción o un mapa separado para asegurar que se puedan identificar todos los detalles.
- Información sobre las fuentes y los derechos de propiedad intelectual – cada mapa debe contener una lista de las fuentes de datos patentados que se usaron para crear la base de datos digital utilizada para producir el mapa de las ZE.

c) Verificación por las autoridades locales y verificación final de la unidad administrativa

2.342. A modo de verificación decisiva de la consistencia, los mapas de las ZE impresos deben enviarse a las autoridades locales. Los administradores locales — dentro y fuera de la administración censal— deben confirmar que todos los asentamientos y partes de las ciudades más grandes estén incluidas en la base de datos geográficos. La intervención de las autoridades locales en

este procedimiento tiene la ventaja de que es gente familiarizada con la zona la que revisa los mapas. Las convenciones sobre nombres y ortografía pueden variar en los países donde se utilizan varios idiomas o dialectos. Entonces, si el personal local aprueba los mapas, se reducirá el riesgo de que los empadronadores contratados localmente cometan errores de interpretación.

2.343. La confirmación de los límites de las unidades administrativas que figuran en los mapas de las ZE también es parte del procedimiento de verificación. Estos límites cambian muy seguido, lo que plantea problemas para la oficina de censos, que debe producir estadísticas resumidas de estas unidades. Hay varias formas de encarar este problema:

- En el caso ideal, se congelan los límites administrativos por decreto gubernamental varios meses antes del censo, lo que proporciona estabilidad al marco de referencia durante el tiempo que dure el censo. Se producirán tabulaciones censales para la estructura de límites de este período.
- Una segunda opción es seguir continuamente los cambios de los límites de las unidades administrativas. A medida que se producen los cambios, se van ingresando a la base de datos digital. De esta forma, los límites estarán vigentes en el momento del empadronamiento. Pero la supervisión constante de los cambios y la modificación de la base de datos implica recursos adicionales.
- En algunos países, los cambios de límites se anuncian con anterioridad. La oficina de cartografía censal puede, entonces, programar el trabajo en esas zonas para una etapa posterior del programa de cartografía censal.
- La última opción es que la oficina de cartografía censal determine una fecha a partir de la cual ya no se modificarán los límites y revise todos los límites en una etapa posterior, posiblemente después del censo. Si los límites de las unidades administrativas modificados pasan por ZE existentes, los cuestionarios de hogares correspondientes a estas unidades deben reasignarse a las unidades correctas. Esto implica un paso adicional después del empadronamiento y dilatará la divulgación de los resultados del censo.

3. Impresión de mapas de las zonas de empadronamiento

2.344. Una vez completados los procedimientos de verificación y garantía de calidad de todos los mapas básicos y todas las demarcaciones de las ZE, el personal de la oficina de cartografía censal imprimirá los mapas definitivos de las ZE y de supervisión. Estos últimos mostrarán varias ZE y se imprimirán en escala menor. La definición de la disposición de los mapas para cada ZE es similar a los procedimientos de corte en los métodos de cartografía censal manual (véase BUCEN, 1978, pág. 149). Los mapas de las ZE deben ser sencillos, porque los usarán los empadronadores, quienes no tienen demasiada experiencia en materia de mapas. Por otra parte, deben contener suficiente información para permitir una fácil orientación, por ejemplo, la siguiente:

- Toda la zona a empadronar, definida por un límite claramente indicado;
- Algunas partes de las zonas vecinas (es decir, la zona periférica) para facilitar la orientación;
- Cualquier información geográfica y de texto contenida en la base de datos que facilite la orientación dentro de la ZE: las calles y caminos, los edificios, puntos de referencia y las características hidrológicas, y demás;
- Una leyenda coherente, incluidos los nombres y códigos exactos de las zonas administrativas y de empadronamiento, una flecha hacia el norte, una barra de escala, que explique los símbolos utilizados para las características geográficas.

2.345. En el gráfico II.37 pueden verse los componentes de un mapa hipotético de una ZE urbana. Todas las características se almacenan en capas separadas en el mismo sistema de referencia espacial o como plantillas de gráficos. Los componentes principales son las capas de la red de calles, de los edificios y de los límites de la ZE. Además, se almacenan en capas separadas las anotaciones, los símbolos, las etiquetas y los números de los edificios, aunque se podrían agregar en forma dinámica. El último componente es una plantilla que contiene líneas nítidas y una referencia que se usa de la misma forma para todas las ZE. En el gráfico II.38 se muestra el mapa completo de las ZE con todos los componentes superpuestos. Dependiendo del alcance de las actividades cartográficas y de la complejidad de la zona de empadronamiento, los mapas pueden contener más o menos información que esta muestra.

Gráfico II.37. Componentes de un modelo de mapa de ZE digital

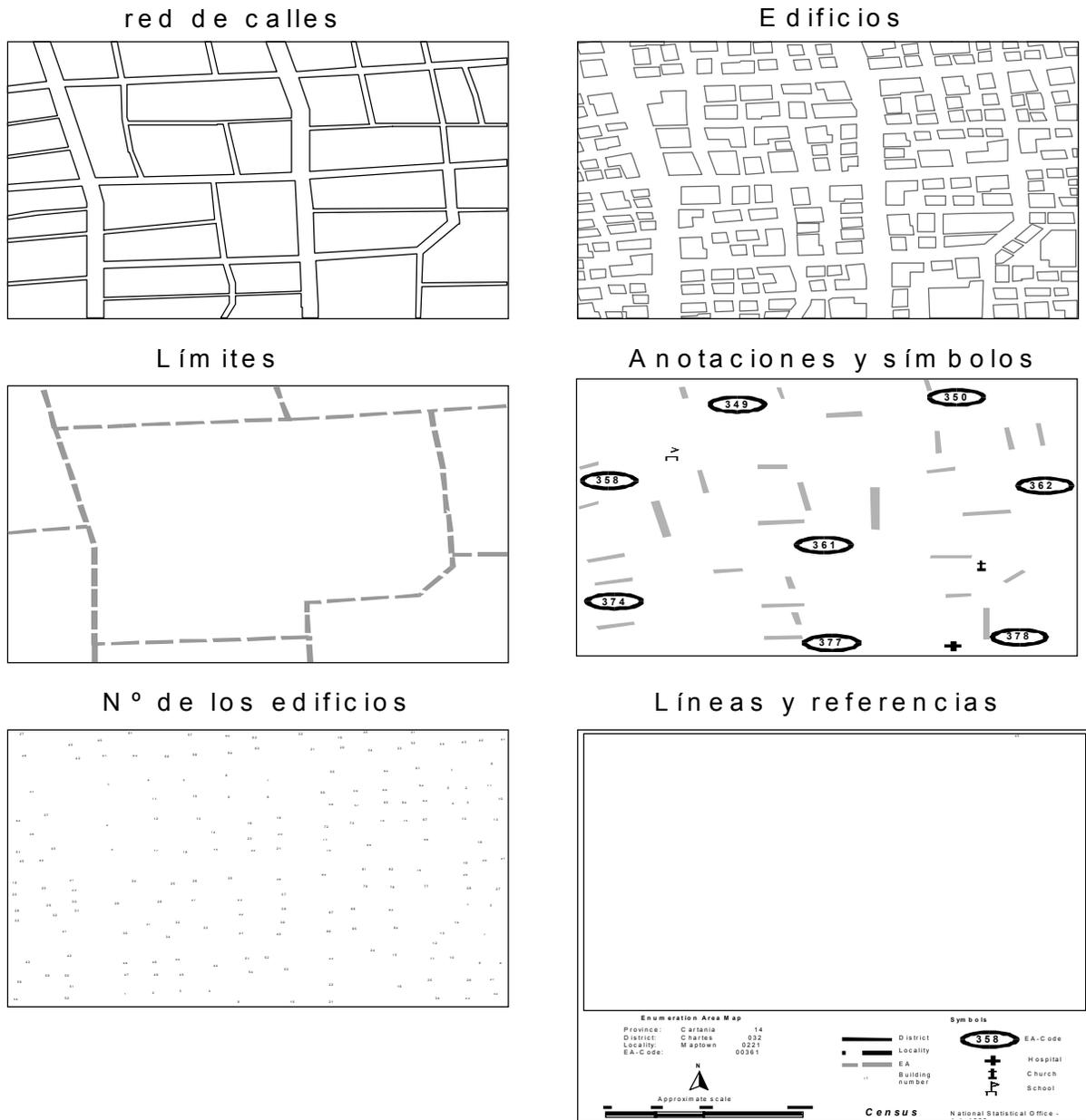
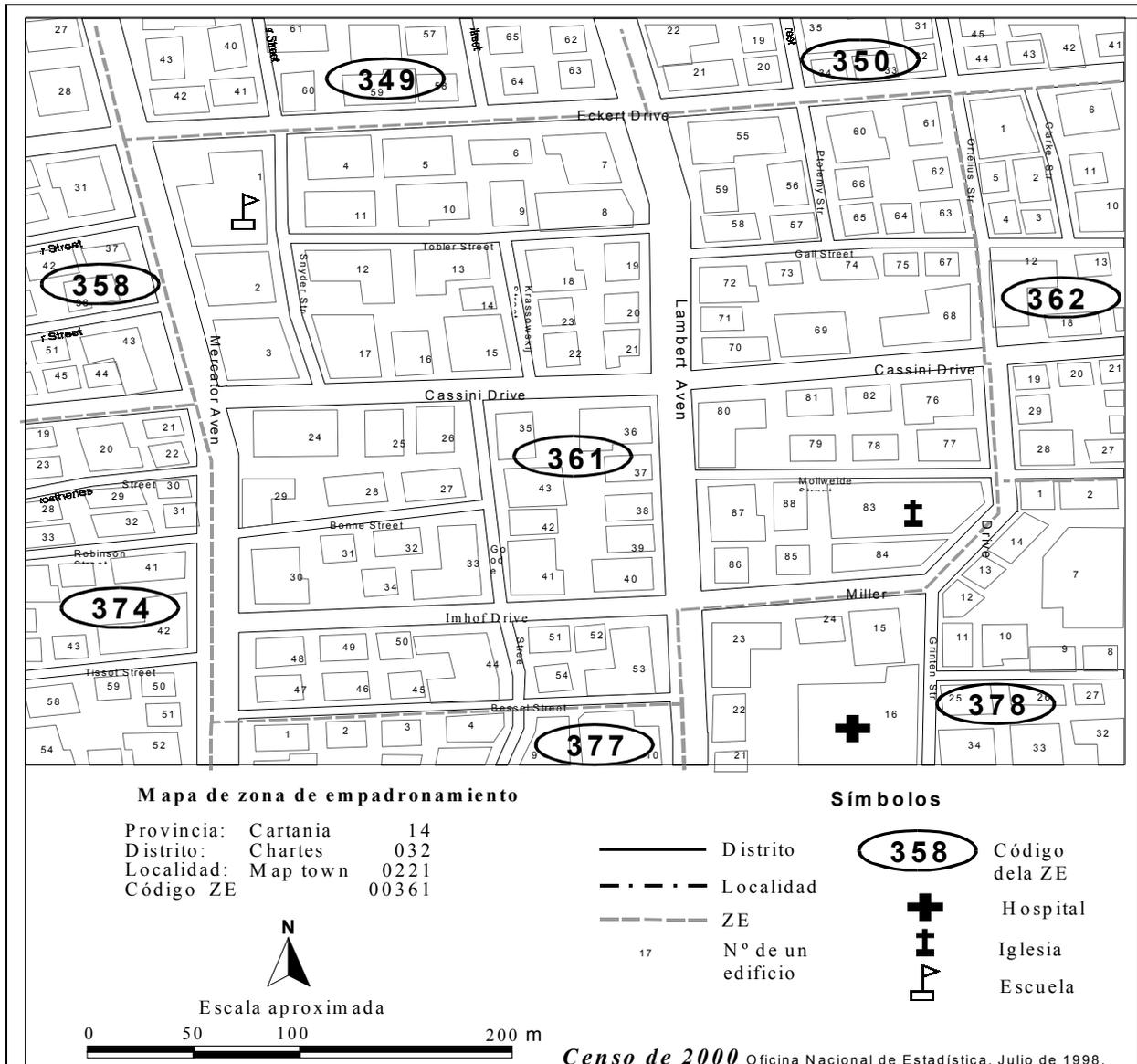


Gráfico II.38. Ejemplo de un mapa de zonas de empadronamiento urbanas



2.346. Es posible que en muchos países el diseño de los mapas de las ZE sea mucho más sencillo que el de este ejemplo: en lugar de un mapa básico digital completamente integrado en formato vectorial, es posible usar como fondo para los límites de las ZE las imágenes en cuadrícula de mapas topográficos. En algunos casos, las características están más generalizadas, como cuando se usan solamente las líneas centrales para las calles y los polígonos para manzanas enteras antes que para casas.

2.347. Hay que elegir el formato y los colores. Como las impresoras láser tienen resolución alta, normalmen-

te se pueden producir los mapas de las ZE en papel tamaño A4 o carta, si las ZE no son demasiado grandes o complejas. En comparación con las impresoras de formato grande o los trazadores, este tipo de impresión tiene la ventaja de ser menos costoso y más veloz, dos factores importantes porque se deben producir miles de mapas. Pueden surgir problemas en las zonas donde una ZE muy grande contiene algunas zonas pequeñas pero densamente pobladas. En estos casos, se deben imprimir mapas de formato grande, o el diseño del mapa debe incluir inserciones que muestren el detalle de los sectores densos de la ZE.

Recuadro II.5. Producción de mapas en el terreno para el censo de 2001 del Reino Unido

2.348. En el Reino Unido, el proyecto de geografía censal se ocupa de proporcionar mapas al personal que reúne datos en el terreno, a fin de permitirles gestionar de forma eficaz la distribución y la reunión de los formularios censales. Habrá algo así como 70.000 empadronadores responsables del trabajo dentro de los distritos de empadronamiento (DE). Los funcionarios censales y sus asistentes (2.000 y 6.000 respectivamente) dirigirán grupos de DE denominados distritos censales (DC). Los administradores de las zonas censales (aproximadamente 120) dirigirán grupos de DC. Cada nivel de personal necesitará mapas que detallen las zonas de las que son responsables. Habrá una etapa de ensayos de los censos de 1999 y de 2001, en la cual se utilizará un sistema basado en SIG para la planificación y confección de mapas de los distritos de empadronamiento y censales.

2.349. *Requisitos para la producción de mapas.* Cada mapa de un DE o DC incluirá un mapa básico en cuadrícula en una escala de 1:10.000 en blanco y negro para establecer el contexto real, líneas simples de color para definir el DE, DC u otros límites reglamentarios, los códigos de referencia de las DE y DC y, para los mapas de los DC, los nombres de las circunscripciones. También mostrarán el logotipo de la oficina, la orientación, la escala e información sobre los derechos de propiedad. Se espera que cada mapa quepa en una hoja tamaño A4 para que sea fácil de llevar y la escala del fondo del mapa debe variar entre 1:1.250 y 1:10.000. Cuando la escala excede estos límites, hay que producir el mapa en una hoja A3, o bien A2 y hasta A1 para algunas zonas rurales. El censo de 2001 requerirá aproximadamente 70.000 mapas de los DE (90 por ciento en hojas A4 y 10 por ciento en varios tamaños), 2.000 mapas de DC y otros productos de nivel superior o ad hoc.

2.350. *Método de producción de los mapas.* La oficina de geografía censal del Reino Unido utiliza programas comerciales de SIG estándar, que tienen aplicaciones adecuadas para la creación e impresión de mapas. El procedimiento que utiliza es interactivo, y permite a los operadores intercalar una lista de los DE que desean examinar e iniciar un procedimiento de trazado por tandas, que crea un gráfico para cada DE usando plantillas de tamaño adecuado para mantener la escala. Al comienzo, los gráficos se crean en formato postscript, pero se convierten automáticamente al de un documento portátil, que tiene archivos más pequeños y mayor velocidad de impresión. El sistema envía el archivo PDF automáticamente a la impresora y lo ubica en un directorio. El procedimiento se perfeccionó al usar formatos PDF en lugar de archivos postscript, pues se redujo el tiempo por producto en un factor de alrededor de 10. Si se considera el volumen de los datos, el ahorro en tiempo es muy significativo.

2.351. Las ventajas del sistema mejorado son:

- Automatización completa del trazado de mapas por tandas desde la selección hasta el producto impreso;
- Se reducen considerablemente los tiempos de impresión;
- Se reducen considerablemente los tamaños de los archivos gráficos, en comparación con el postscript. Por lo general, se pueden lograr reducciones de un 70 por ciento, aunque también pueden ser de apenas el 20 por ciento;
- El sistema es capaz de proveer diferentes tamaños de gráficos en la misma tanda;
- Los archivos se pueden recuperar, ver en Acrobat y volver a imprimir fácilmente.

Fuente: Oficina Nacional de Estadística, Reino Unido.

2.352. Un mapa de las ZE bien diseñado resulta adecuado en blanco y negro. A pesar de que las impresoras color son relativamente baratas, tienen una producción limitada y los insumos suelen ser bastante costosos. Los mapas buenos en blanco y negro también se pueden fotocopiar sin perder información, y esto permite que el personal local produzca copias adicionales según se necesite. Pero si

se tienen recursos, el color mejora la claridad del diseño del mapa. Por ejemplo, se puede indicar el límite de la ZE con una línea de un color brillante.

2.353. Hay que producir varias copias de cada mapa, además de las copias auxiliares que se mantienen en la oficina central de cartografía censal. Cada mapa se pondrá a disposición de las autoridades censales loca-

les, los supervisores y empadronadores, lo que demandará quizá cuatro o cinco copias. Si las actividades cartográficas están centralizadas en una o unas pocas oficinas, se pueden distribuir archivos de mapas digitales antes que copias impresas, que se transmitirán a cada oficina local en un disquete, un CD-ROM o por Internet. La oficina local no necesitará tener acceso a programas de cartografía si los mapas se exportan en un formato de archivos genérico, como el formato PDF, o como un archivo gráfico en un formato genérico de procesamiento de textos. Estos archivos se pueden imprimir en cualquier sistema informático. Este método permite que la oficina local produzca tantas copias de los mapas de las ZE como necesite, además de permitir una respuesta rápida a problemas, como la pérdida de mapas impresos.

2.354. Si la base de datos es consistente y está bien organizada, los mapas de las ZE se deberían poder producir rápido. La impresión de los mapas no requerirá un programa de SIG avanzado, sino que se puede realizar con un programa de cartografía relativamente económico. Se podrían automatizar algunas partes del procedimiento mediante el macro-lenguaje incorporado a los programas. Por ejemplo, se puede acompañar una lista de las ZE con las coordenadas de sus límites (la cobertura del mapa) en unidades cartográficas. Luego, se puede hacer que el programa lea esta lista, incluya el contenido de las capas de datos en una plantilla preparada con anterioridad que muestre la leyenda y otra información marginal, e imprima una cantidad específica de copias.

F. Utilización de los sistemas de información geográfica durante el empadronamiento

2.355. La contribución principal de la cartografía digital al éxito de un censo se realiza en la etapa anterior y posterior al empadronamiento mismo. Pero la cartografía también cumple una función durante el empadronamiento, ya que respalda la planificación logística y supervisa el progreso del censo. Al mismo tiempo, el empadronamiento permite que la oficina de censos realice otro control de calidad de la base digital de datos censales. Ambos aspectos se examinan a continuación.

1. Utilización de mapas digitales para los aspectos logísticos del censo

2.356. Durante el censo, los mapas son necesarios para muchas finalidades. Entre éstas, es posible que un SIG cumpla una función activa en la planificación del trabajo preliminar y en los aspectos logísticos del empadro-

namiento. Algunas de las tareas en las que un SIG podría ser de utilidad son la asignación de las unidades administrativas a las zonas operativas, la ubicación de oficinas en el terreno y la planificación de los viajes del personal que hará el trabajo en el terreno y de los empadronadores. Si han de usarse mapas digitales para estas finalidades, la unidad de cartografía censal debe elaborar rápidamente una base de datos de SIG de baja resolución. Este sistema podría consistir en mapas digitales de pequeña escala (de 1:500.000 ó 1:1.000.000) de los asentamientos, los caminos, los ríos y las divisiones administrativas que, en la mayoría de los casos, se pueden obtener de las fuentes existentes. Hasta se puede usar el Mapa Digital del Mundo, un mapa consistente en una escala de 1:1.000.000 (Danko, 1992; y Tveite y Langaas, 1995).

2.357. Muchos programas de SIG ofrecen funciones de análisis de redes que posibilitan la determinación de las distancias y los costos de viaje en una red de caminos. En las zonas urbanizadas, viajar no constituye un gran problema. Pero en las zonas rurales, el costo de las actividades basadas en el terreno aumentará en razón de las grandes distancias y las características naturales que obstaculizan los recorridos. Este será también un factor para tener en cuenta cuando se determina la ubicación de las oficinas en el terreno, que tienen a su cargo varias o muchas zonas de supervisión. Hay que elegir la ubicación de estas oficinas de modo tal que el tiempo de viaje sea mínimo y se faciliten las funciones de supervisión de los administradores regionales del censo. Se pueden usar las funciones de agregación de zonas del SIG para determinar y mostrar posibles asignaciones regionales.

2.358. La utilización del SIG para finalidades logísticas no es tan importante como el uso de técnicas digitales para realizar las propias tareas de cartografía censal. Muchas de éstas se pueden realizar igualmente bien estudiando los mapas publicados. La ventaja de un SIG es que las estimaciones de la distancia y de los tiempos de viaje serán más exactas y que el personal puede producir mapas rápidamente que muestren varios aspectos de la planificación censal. Además, la creación de una base de datos de SIG de baja resolución y pequeña es un buen entrenamiento para la tarea mucho más difícil de preparar una base detallada de datos censales georreferenciados.

2. Supervisión de la marcha de las operaciones censales

2.359. Durante el censo y las actividades inmediatamente siguientes al empadronamiento, el personal de la oficina central supervisa la marcha del empadrona-

miento y de la compilación de datos. Normalmente, las oficinas regionales compilarán información sobre la terminación de las actividades de empadronamiento y los primeros resultados. La oficina central tomará esta información y evaluará cuáles son las operaciones que avanzan bien y dónde podrían surgir problemas.

2.360. Algunos países aplican una estrategia denominada de conteo rápido, según la cual se compilan con rapidez las cifras de la población total y se comparan con estimaciones anteriores. Habrá que prestar atención inmediata a las zonas donde las estimaciones registradas son inusualmente grandes o pequeñas. Por lo general, estas evaluaciones se compilan en forma tabular. Pero si hay una base de datos cartográficos digital y detallada, también se puede mostrar esta información en forma geográfica, lo que permite ubicar las zonas problemáticas con mayor facilidad.

2.361. En la práctica, se puede compilar cualquier estadística resumida en un sistema de bases de datos relacionales estándar, por ejemplo, los indicadores que muestran si se terminó o no el empadronamiento en la zona informante, o el porcentaje de zonas de empadronamiento que se completaron en cada distrito. El personal puede entonces vincular esta información con la base de datos de SIG y preparar mapas que evaluarán los supervisores generales del censo.

2.362. La clave de este rápido procedimiento de control de calidad es la veloz circulación de información desde los supervisores hacia las oficinas regionales y luego a la oficina central. La forma más rápida de intercambiar esta información es por Internet. Si los supervisores locales y regionales tienen acceso a Internet, hasta se puede enviar la información mediante una interfaz de base de datos protegida por una contraseña en la Red.

3. Actualización y corrección de los mapas de las zonas durante el empadronamiento

2.363 Aun cuando se haya puesto en práctica un programa exhaustivo de control de calidad durante la preparación de los mapas de empadronamiento, es muy posible que muchos de ellos no sean perfectos. Por ejemplo, durante los primeros trabajos en el terreno, tal vez se hayan omitido algunos edificios o calles o quizá se hayan registrado en forma incorrecta. Además, como el trabajo cartográfico en el terreno debe realizarse varios meses e incluso años antes del censo, las construcciones o las obras de infraestructura nuevas no aparecerán en esos mapas.

2.364. Además de capacitar a los empadronadores en la reunión de datos y la lectura básica de los mapas, la oficina de censos también deberá capacitarlos para que hagan anotaciones en los mapas durante el empadronamiento para indicar cualquier error u omisión. Los cartógrafos especializados deben reunir los mapas de las ZE después de realizado el censo y ocuparse de las revisiones sugeridas, lo que simplemente podría implicar realizar las correspondientes correcciones en la base de datos digital del censo o alguna verificación adicional del terreno. Este procedimiento asegurará que la oficina de censos cuenta con la información más actualizada de las zonas de empadronamiento, lo que reducirá la cantidad de trabajo para las actividades cartográficas antes de la realización de futuras encuestas o censos.

III. Verificación

A. Introducción

3.1. En el capítulo anterior, se examinó el uso de los SIG a modo de respaldo de las tareas de empadronamiento censal. En las secciones siguientes, se analizarán las tareas que debe realizar la unidad geográfica de la oficina de censos, tanto después del censo como en el período intercensal, y se estudiarán la divulgación y el uso de la información censal referenciada geográficamente.

3.2. Si se puede obtener una base de datos digital de SIG, es posible producir rápidamente, por agregación, bases de datos estadísticos de las unidades administrativas o estadísticas. Sin embargo, muchos países no utilizarán técnicas digitales para producir mapas de las zonas de empadronamiento en el censo de 2000, aunque aún pueden optar por desarrollar una base de datos digital georreferenciada del censo para producir mapas aptos para publicación que acompañen a los informes del censo, que se puedan distribuir a otros usuarios que quieran analizar espacialmente los datos o usar en aplicaciones internas. Es posible compilar esta base de datos para un nivel adecuado de la jerarquía administrativa o para cualquier otra región estadística agregada. En ese nivel de agregación, se necesitan muchos menos recursos para elaborar una base de datos digital que para una base cartográfica completa de las zonas de empadronamiento.

3.3. En general, sin embargo, se supone en este capítulo que se ha creado una base de datos digital de una zona de empadronamiento o de las unidades de vivienda con fines de empadronamiento. Para justificar la gran inversión que implica la creación de una base de datos de este tipo, la oficina de censos debe adoptar una perspectiva a largo plazo. En consecuencia, las tareas que deben realizarse inmediatamente después del censo son sólo los primeros pasos en la preparación de materiales cartográficos para el próximo empadronamiento.

3.4. En las tres secciones principales de este capítulo se examinan las tareas administrativas relativas a las bases de datos geográficos después del censo y entre censos, y el desarrollo y divulgación de los productos. En la última sección se tratan algunos temas avanzados, como la demarcación de las zonas urbanas y rurales y las técnicas para enfrentar el problema de las unidades geográficas incompatibles.

B. Tareas posteriores al censo y durante el período intercensal

1. Tareas inmediatas

a) *Incorporación de actualizaciones y cambios sugeridos por los empadronadores*

3.5. La oficina de cartografía censal debe pedir a los empadronadores que indiquen cualquier error o inconsistencia en la demarcación de las ZE o en las características básicas que se detectan en los mapas durante el empadronamiento. Después, los supervisores locales deberían reunir los mapas posteriores al empadronamiento y enviarlos a la oficina. La unidad de geografía censal podrá así corregir la base de datos cartográficos que se usó para producir el mapa de las ZE conforme a esta información. Este procedimiento tiene dos ventajas.

3.6. En primer lugar, asegura que las tabulaciones y la elaboración de mapas digitales y en papel se basan en la demarcación de las zonas que realmente se usaron durante el empadronamiento. En segundo lugar, la modificación de los límites de las ZE en la base de datos maestra facilitará los censos futuros u otras actividades de reunión de datos estadísticos que se basen en las mismas unidades geográficas o en unidades similares.

b) *Conciliación de las unidades de reunión y las unidades de tabulación o estadísticas*

3.7. La tarea de verificación más importante que debe realizar el organismo de cartografía censal es respaldar la elaboración de los datos estadísticos tabulares que se obtuvieron del censo. Los datos del censo son necesarios para muchos tipos distintos de zonas agregadas, ya que los usuarios de diferentes sectores tienden a utilizar zonas geográficas distintas como base para el planeamiento y las operaciones. Por ello, hay que agregar las ZE para estas diferentes unidades informantes, según se requiera para el desarrollo de una diversidad de productos censales.

3.8. A fin de ajustar las unidades de reunión de datos y las de tabulación es necesario crear archivos de equivalencia o de compatibilidad, que enumeren, para cada unidad de tabulación, las zonas de empadronamiento que son parte de ella. Una vez definidas estas listas, se puede realizar la agregación usando las operaciones corrientes de las bases de datos.

3.9. Es más fácil crear archivos de equivalencia si se ha puesto en práctica un sistema de codificación uniforme, lo que reafirma la importancia que tiene establecer convenciones intuitivas y flexibles cuando se asignan de códigos numéricos o alfanuméricos a cada ZE durante las primeras etapas del proyecto de cartografía censal.

3.10. La cantidad de unidades para las que hay que crear archivos de equivalencia puede ser muy grande. Además de las unidades jurídicas y administrativas, como los distritos o las provincias, puede suceder que haya que compilar datos del censo de una serie de unidades de planeamiento u operacionales, como las unidades sanitarias, los distritos escolares, las regiones de planeamiento de transporte, los distritos electorales, las zonas de servicios, las zonas postales y las unidades de planeamiento ambiental (véase el gráfico III.1), que pueden coincidir, en algunos casos, con las zonas administrativas, pero que con frecuencia serán incompa-

tibles con las unidades informantes corrientes. Además, es probable que los sectores privados y académicos soliciten tabulaciones especiales. En consecuencia, la elaboración de un procedimiento coherente para producir y mantener archivos de equivalencia es una tarea importante de la oficina de cartografía.

3.11. Habría que crear otros archivos de comparabilidad para conciliar las zonas informantes, de empadronamiento o estadísticas, anteriores y actuales. Habida cuenta de que se tiende a modificar regularmente las unidades de reunión de datos y de tabulación, es complicado para los usuarios de los datos determinar los cambios en las variables censales que se han producido a lo largo del tiempo. La unidad geográfica de la oficina de censos debería mantenerse al tanto de estas modificaciones en la geografía censal del país y proporcionar archivos de comparabilidad que permitan armonizar los datos censales anteriores y actuales.

Gráfico III.1. Ejemplos de tabulaciones y unidades informantes de los censos



2. Mantenimiento de la base de datos

a) Archivo

3.12. Una vez que se han corregido los errores y las inconsistencias en la base de datos digital maestra, se deben producir y archivar copias de referencia de todos los conjuntos de datos de los SIG. Esta base de datos, en la que quedará inmovilizada la geografía censal para reflejar la situación en la fecha del censo, será la base de todos los productos cartográficos, incluidos los mapas de referencia, los mapas temáticos de los resultados del censo y los extractos que se difundirán. Todos los resultados que se tabulan de acuerdo al empadronamiento se referirán a las unidades en esta base, lo que significa también que toda la documentación y los metadatos se verifican exhaustivamente, de manera tal que, en el futuro, la oficina de censos pueda responder cualquier pregunta acerca de los datos. Las copias de esta base de datos de referencia deben archivar en un lugar seguro tan pronto como se la termine.

3.13. Para las oficinas de censos que tienen un programa cartográfico permanente, la copia de la base de datos servirá como fundamento para la actualización periódica durante las actividades intercensales. Las ventajas de un programa de este tipo se examinan en la sección que sigue.

b) Mantenimiento de la base de datos: ventajas de un programa cartográfico permanente

3.14. Como ya se dijo antes en este manual, los beneficios de un programa digital de cartografía censal compensarán su costo solo si la base de datos resultante se utiliza en muchas aplicaciones, además de las tareas básicas de un censo. Todos estos beneficios podrán concretarse únicamente si la base se mantiene, de modo que las actualizaciones que deban hacerse para censos posteriores requieran, en relación, menos recursos. Sólo se logrará preparar una base de datos que cubra el mayor número de usuarios posible y se aprovecharán al máximo los datos digitales existentes en empadronamientos posteriores si hay un alto grado de continuidad en el programa nacional de cartografía censal, continuidad que asegurará el mantenimiento de la inversión realizada en el desarrollo de la base de datos.

3.15. Uno de los aspectos es que la oficina de cartografía censal debe iniciar el mantenimiento de la base de datos inmediatamente después del censo, lo que implica la continua actualización de límites y otras características a medida que se obtiene nueva información. Durante el período intercensal, se debe poner en práctica un sistema de control de las versiones que especifique la forma en que se realizan y documentan las modi-

ficaciones a la base de datos. Por ejemplo, sólo un pequeño grupo del personal debería estar autorizado para modificar la base maestra, evitando así que diferentes funcionarios realicen cambios en las distintas versiones de la base que después tendrán que conciliarse.

3.16. Durante el período intercensal, la oficina de cartografía censal debería seguir las tendencias vigentes y adoptar los métodos nuevos de otras oficinas semejantes. Esto la mantendrá informada de las inversiones que se realicen en equipos y programas informáticos nuevos o mejorados. Puesto que la tecnología cambia tan rápido, habría que realizar inversiones periódicas para asegurar la alta calidad de las operaciones censales en dicho período.

3.17. El desarrollo de los datos cartográficos digitales requiere conocimientos especializados sobre el uso de las computadoras, los conceptos geográficos y los programas informáticos. Es costoso capacitar al personal en los conceptos y tareas de los SIG, excepto los más básicos y, por lo tanto, para que un programa de cartografía censal sea exitoso, la continuidad del personal es un factor crucial. La oficina de censos debe identificar al personal básico que mantendrá la base de datos en el período intercensal, proporcionará servicios de SIG para otras aplicaciones estadísticas, como las encuestas muestrales, y hará las veces de la memoria institucional. Esto hará que la operación de las aplicaciones censales de los SIG en el empadronamiento siguiente sea más sencilla y fácil. Este grupo puede, por ejemplo, capacitar a los temporeros contratados para realizar tareas de digitalización o en el terreno y si se lo retiene también se reducirán los gastos que supone contratar expertos en SIG que, además, necesitarían algo de tiempo para conocer cabalmente los procedimientos de cartografía censal.

3.18. Una vez más se subraya la importancia de adoptar una perspectiva a largo plazo para las actividades de cartografía censal, ya que los beneficios realmente valen los recursos adicionales necesarios para mantener una capacidad geográfica en esta oficina entre un censo y otro.

C. Divulgación de los productos del censo geográfico

1. Divulgación de los datos de planificación

3.19. Tanto la definición de los productos cartográficos como la programación de su divulgación deben coordinarse muy bien con el cronograma de todo el proyecto censal. Para tabular los datos censales, quizás se necesite información cartográfica de la unidad de geografía censal y, a la inversa, los mapas temáticos y las bases de datos

geográficos digitales sólo pueden completarse una vez finalizado el procesamiento de los datos censales.

3.20. La elección de los productos adecuados debe estar guiada por una evaluación detallada de las necesidades de los clientes, es decir, una investigación de mercado, que debe realizarse en las primeras etapas de la planificación del censo. Estos planes para la divulgación de los productos debe realizarse con mucha anticipación y publicarse ampliamente, para obtener información de los usuarios mismos.

3.21. Es útil crear un grupo consultivo de representantes de los grupos de usuarios más importantes que pueda asesorar a los que se ocupan del censo. Sus funciones no tienen que limitarse a la etapa de planificación, sino que podrían constituir un mecanismo oficial u oficioso permanente para el intercambio de ideas entre la oficina de censos y los usuarios de los datos. Los ejemplos de la aplicación de las estadísticas censales de zonas pequeñas en la introducción de este manual indican la diversidad de usuarios que debe considerar la oficina de censos cuando evalúa las necesidades.

3.22. La definición de los productos no puede basarse solamente en las preferencias de los usuarios en ocasiones anteriores. Las necesidades cambian, en parte porque se va modificando la capacidad técnica de los usuarios. Rara vez pudieron obtenerse productos de bases de datos digitales después de los censos de la última ronda pero, en la actual, serán uno de los resultados más importantes. Si bien en muchos países la demanda de mapas impresos puede ser mayor que los pedidos de información digital, es muy posible que esto cambie en el futuro. En consecuencia, la oficina de cartografía censal debe ser flexible para responder a las cambiantes necesidades y los pedidos especiales de los usuarios.

3.23. Cuando se planifica la estrategia de producción, es recomendable hacerlo considerando varios años en el futuro. Por ejemplo, Internet quizás no sea todavía un cauce de distribución muy importante en muchos países, pero es muy probable que esto cambie en unos pocos años, en vista de que las infraestructuras de comunicación están mejorando en todo el mundo. Además, emergerán nuevos círculos de usuarios a medida que se creen nuevos productos. A fin de aumentar las ventajas que entraña la reunión de datos censales para la sociedad, la oficina de censos puede buscar activamente grupos de posibles clientes nuevos y presentarles sus productos.

3.24. La oficina de censos debería también tratar de estimar el volumen de la posible demanda de sus productos y servicios, lo que permitirá evaluar en cierta medida la infraestructura necesaria para atender las demandas de los clientes, una tarea difícil porque la demanda

puede aumentar a medida que se crean nuevos productos y los nuevos usuarios los van conociendo y notando el potencial que tienen para satisfacer sus propias necesidades. En consecuencia, la oficina de censos debe estar preparada para hacer frente a una demanda creciente, al tiempo que van apareciendo los productos. Conviene definir con claridad y anticipación cuáles son las necesidades de los usuarios que deben satisfacerse, cuáles deberían atenderse y cuales no se atenderán. Un conjunto claro de prioridades también facilitará la elaboración de un cronograma de distribución de los productos censales.

3.25. Una política abierta de divulgación de datos —es decir, de acceso gratuito o económico a los datos— puede ayudar a reducir la cantidad de trabajo de la oficina de censos. En los países donde se los obtiene en forma gratuita, los proveedores de servicios del sector privado quizás puedan satisfacer las necesidades especiales de algunos usuarios y la oficina de censos se concentrará en los usuarios que tiene obligación de servir.

3.26. Algunos productos serán necesarios para uso interno y oficial, como los archivos de equivalencia y las mapotecas de referencia y los productos especiales, como los mapas de distritos electorales. En algunos países, la oficina de censos puede estar obligada, por ley, a producir determinados elementos cartográficos, que quizás tengan que elaborarse periódicamente o a pedido, por ejemplo de algún ministerio o del parlamento.

3.27. Se diseñarán otros productos más genéricos para distribuirlos en forma más amplia entre usuarios de los sectores estatal y privado y el público en general. La oficina de censos debería tratar de aprovechar la mayor cantidad posible de cauces de distribución.

3.28. En las secciones que siguen, se examinarán los productos censales y las opciones de divulgación, entre ellos los requeridos, los mapas temáticos en papel o en formato digital, la divulgación de las bases de datos cartográficos digitales, los atlas digitales de censos y la cartografía por Internet. Para muchos de estos productos se requiere una cabal formación en las técnicas de la cartografía temática. En este capítulo, sólo se estudian cuestiones generales, pero en el anexo V puede consultarse un estudio más detallado sobre el diseño de mapas temáticos.

2. Productos requeridos

a) Archivos de equivalencia y comparabilidad

3.29. Ya se ha dicho antes que la elaboración de estos archivos es una de las responsabilidades principales de la oficina de cartografía censal después del empadronamiento. Además del uso inmediato que tienen para la

tabulación de los datos censales, los archivos de equivalencia son, en sí, un producto. Los usuarios pueden necesitar información sobre las zonas de empadronamiento que pertenecen a una determinada región estadística o administrativa, o sobre las unidades estadísticas de zonas pequeñas que componen una unidad informante más agregada.

3.30. Los archivos de equivalencia deben publicarse tanto en papel como en formato digital. La mayoría de los usuarios que trabajan con datos censales digitales, ya sea referenciados geográficamente o tabulares, se verán beneficiados si estos archivos tienen un formato que puede leerse en una computadora, porque pueden usarse directamente en las operaciones de bases de datos.

b) Biblioteca de mapas de referencia

3.31. Además de los archivos de equivalencia, la oficina de censos también debe producir mapas de referencia de todas las unidades informantes. En algunos países, la oficina de cartografía censal debe, por ley, producir estos mapas para que los utilicen los funcionarios estatales y el público en general.

3.32. Estos mapas pueden divulgarse en formato digital, como los archivos gráficos sencillos, postscript o PDF, pero no todos los usuarios podrán utilizarlos y habrá que proporcionar también, según se solicite, conjuntos completos de mapas de referencia en papel.

3.33. Los mapas de referencia deben ir acompañados de una descripción detallada de las definiciones de la zona geográfica de cada censo. Un buen ejemplo de documentación integral de un mapa de referencia es el Manual de Referencia de las Zonas Geográficas producido por la Oficina de Censos de los Estados Unidos, que se encuentra en Internet.

c) Nomenclátors y archivos centroides

3.34. Aunque por regla general, la producción de nomenclátors —listas de nombres de lugares y su ubicación geográfica— está a cargo de la oficina nacional de cartografía, un programa nacional de gran escala con fines censales puede proporcionar información básica mejorada o actualizada para la elaboración de un nomenclátor nacional. En algunos países, donde no hay otra fuente para estos datos, el nomenclátor puede ser uno de los productos requeridos en un proyecto de cartografía censal. Si este proyecto ha aprovechado los datos reunidos por medio del GPS, la elaboración de un nomenclátor de todos los lugares geográficos sería una tarea sencilla.

3.35. Un nomenclátor debe almacenarse y distribuirse en formato digital, permitiendo el uso directo de coordenadas e información sobre los nombres en un SIG. También será útil elaborar un sistema sencillo de consulta, en el cual los usuarios puedan pedir las coordenadas de un lugar determinado, como un poblado en una provincia dada. Estos datos pueden obtenerse a través de la Red (World Wide Web) usando una entrada corriente de Internet.

3. Mapas temáticos para publicación

a) El poder de los mapas

3.36. Antes de examinar los tipos de mapas temáticos que pueden producirse para las publicaciones de los censos, conviene repasar las razones por las cuales son útiles para presentar los resultados del censo:

- Comunican un concepto o una idea.
- Con frecuencia tienen como finalidad respaldar el texto informativo. Es difícil explicar algunas cosas con palabras y un mapa puede ayudar a explicar cuestiones complicadas.
- Suscitan curiosidad en el observador y sirven de punto de atracción en las páginas de un informe. Llamarán la atención del lector y lo alentarán a leer el texto que los acompaña.
- Resumen gran cantidad de información en forma concisa. Es difícil igualar la capacidad que tiene un mapa para representar no solamente cantidades enormes de números sino también de información sobre la relación espacial entre las observaciones. Un mapa de la densidad de población de China y de los Estados Unidos, por ejemplo, mostrará más de 3.000 valores. Se puede imprimir este mapa en una hoja de tamaño carta sin desmedro de la claridad. Sería complicado poner 3.000 números en una hoja de este tamaño y, aun si se pudiera, habría menos información, por ejemplo, sobre el lugar del país en que se agrupan los valores bajos y los altos.
- Pueden usarse para descripciones, investigaciones, confirmaciones, tabulaciones y hasta para adornar una página. Los mapas cumplen muchas funciones. Los de presentación en los informes censales suelen ser descriptivos. Simplemente presentan los resultados del censo con o sin comentarios. Pero un demógrafo o un geógrafo que use los datos del censo podría recurrir a los mapas para explorar las relaciones entre diferentes variables, como por ejemplo la esperanza de vida y la tasa de alfabetismo. En el informe final, los

mapas de estas variables podrían usarse junto con el texto y los cuadros para respaldar los resultados obtenidos por el analista. Entonces, el mapa se convierte en un instrumento para confirmar los resultados que pueden, o no, obtenerse mirando el mapa solamente. Los mapas también pueden usarse sencillamente para determinar existencias, por ejemplo, para mostrar todas las escuelas o centros de salud de un país. Sin duda, esta determinación lleva rápidamente al análisis porque, por ejemplo, indica las zonas que no tienen suficientes servicios públicos. Por último, los mapas son populares porque son bonitos; basta con observar la gran cantidad de mapas en las paredes de las oficinas. Muy poca gente cuelga gráficos estadísticos o cuadros de cifras.

- Fomentan las comparaciones. Sean descriptivos o exploratorios, la finalidad primordial de los mapas temáticos es comparar cosas en el espacio geográfico. Se pueden hacer muchos tipos de comparaciones:
 - Entre diferentes zonas en el mismo mapa: ¿dónde son mayores las densidades de población?
 - Entre diferentes mapas: la mortalidad infantil, ¿es más alta en los distritos de la provincia A o de la provincia B?
 - Entre diferentes variables en la misma zona: ¿dónde y cuánto difieren las tasas de alfabetismo de los hombres y las mujeres en los distritos?
 - Entre mapas de diferentes períodos: ¿ha bajado la tasa de fecundidad desde el último censo?

b) Elaboración de mapas temáticos a partir de los datos censales

3.37. Los SIG permiten visualizar los mapas con un enfoque bien diferente al de la cartografía tradicional. En una computadora, es posible generar mapas con rapidez en la pantalla, lo que permite trabajar de una forma óptima en validación, exploración y análisis de los datos. Los mapas en pantalla se denominan a veces “mapas virtuales”, para distinguirlos de los elaborados en papel o impresos. En el caso de un censo, no es necesario prestar demasiada atención al diseño tradicional en las primeras etapas del proyecto de cartografía, pues se hace hincapié —como se explicó en el capítulo II— en el desarrollo y la verificación de la base de datos. Aun para los mapas de las ZE, que muestran las características más importantes de la zona de trabajo del empa-

dronador, normalmente se emplea un diseño cartográfico relativamente sencillo.

3.38. Sin embargo, una vez que se han compilado los datos, la oficina de censos generalmente deseará producir mapas para publicar que ilustren los resultados y acompañen los informes. Estos mapas están dirigidos a un público más amplio y no especializado. Es por ello que deben diseñarse con mucho más cuidado, sea que se los imprima como libro, se los presente en un CD-ROM o se remitan a un sitio de Internet.

3.39. En el cuadro III.1, se muestra una lista de posibles mapas temáticos que pueden incluirse en un atlas censal o un sitio de Internet de la oficina censal (véase Naciones Unidas, 1998). Se podrían considerar muchos otros tipos de mapas para publicaciones sobre temas especiales o para subrayar aspectos interesantes de los resultados del censo en las regiones del país. Así como las tabulaciones de los datos pueden desagregarse por sexo, grupo de edad o zonas urbanas/rurales, los mapas censales pueden dividirse en componentes de población. También resultan ilustrativos los mapas que muestran comparaciones temporales, si se cuenta con indicadores de censos anteriores.

Cuadro III.1. Lista de mapas temáticos para atlas censales

Dinámica y distribución de la población

- Variación porcentual de la población
- Tasa media de crecimiento anual
- Densidad demográfica (habitantes por kilómetro cuadrado)
- Distribución y tamaño de las ciudades y pueblos principales
- Inmigración, emigración y tasas netas de migración
- Personas nacidas en el país y nacidas en el extranjero
- Personas nacidas en otra división del país

Características demográficas

- Relación entre hombres y mujeres (hombres por cada 100 mujeres), posiblemente por grupos de edades
- Porcentaje de la población entre 0 y 14 años de edad
- Porcentaje de la población entre 15 y 64 años de edad
- Porcentaje de la población de más de 65 años
- Porcentaje de la población femenina en edad de procrear, de 15 a 49 años

- Tasa global de dependencia (porcentaje de la población entre 0 y 14 años de edad y de más de 65 años y la población entre 15 y 64 años de edad)
- Estado civil
- Tasa de natalidad
- Tasa global de fecundidad
- Tasa de mortalidad
- Tasa de mortalidad infantil
- Esperanza de vida al nacer

Características socioeconómicas

- Nivel de instrucción de la población de 10 años o más
- Tasas de alfabetismo
- Población analfabeta de 10 años o más
- Tasa de desempleo
- Población desempleada (número total)
- Coeficiente empleo-población
- Estructura ocupacional por sector económico

Hogares y habitación

- Promedio de personas por hogar
- Promedio de habitaciones por hogar
- Modalidad de tenencia (propiedad, alquiler, etc.)
- Tipo de materiales de construcción
- Acceso a agua potable
- Acceso a electricidad
- Acceso a saneamiento

Fuente: Principios y recomendaciones para los censos de población y habitación, Revisión 1, publicación de las Naciones Unidas, número de venta S.98.XVII.8.

3.40. Los mapas censales para publicación se producirán, por lo general, para unidades estadísticas bastante agregadas. Una oficina de censos puede producir mapas nacionales generales que muestren la distribución de los indicadores por provincia o distrito, así como mapas más detallados de cada provincia. Para las zonas urbanas principales, se pueden elaborar mapas muy detallados con datos de las zonas censales o de las ZE.

3.41. Los programas informáticos de cartografía y de SIG ofrecen una gran cantidad de funciones y muchos editores de mapas comerciales han optado por técnicas de producción completamente digitales. Aun así, los productos cartográficos de alta calidad requieren mucha experiencia y conocimientos. Las herramientas de estos sistemas informáticos no sustituyen los conocimientos de cartografía. De hecho, como hay muchos programas cartográficos de fácil utilización, han proli-

ferado mapas que trasgreden muchos de los principios de este tipo de diseño. Al comienzo, esto sucedía por la falta de funciones cartográficas adecuadas en los programas de SIG. Hoy en día, es atribuible al uso de estos programas por personas que no están capacitadas en las técnicas cartográficas.

3.42. En la mayor parte de las oficinas de censos, habrá cartógrafos profesionales a cargo de la producción de los mapas que se publicarán y distribuirán, que no tendrán demasiadas dificultades para elaborar mapas de alta calidad en la computadora después de recibir capacitación en técnicas de cartografía digital.

3.43. Debido a la gran difusión que tienen los programas informáticos de cartografía y de SIG, hay especialistas en determinadas materias que producen mapas temáticos pero que tienen muy poca o nula capacitación en los principios de diseño cartográfico. Por este motivo, se da en el anexo V un resumen de las técnicas de cartografía temática. La información que contiene este anexo debería interesar al personal de cartografía y a quienes, tanto dentro como fuera de la oficina de censos, elaboran mapas a partir de bases digitales de datos espaciales sólo de cuando en cuando. Pueden encontrarse otras excelentes referencias sobre cartografía temática y cartografía en general en Robinson y otros (1995), Kraak y Ormeling (1997) y en Dent (1999). MacEachren (1994) elaboró un útil libro básico sobre cartografía temática, específicamente orientado a los usuarios de SIG que tengan muy poca formación en cartografía.

c) Cuestiones relativas a la producción y publicación de mapas temáticos

i. Tipos de producto

3.44. Una vez completado el censo, la oficina de estadística creará productos cartográficos que se publicarán con diferentes finalidades. Algunos ejemplos son:

- Mapas estándar de referencia que describen cada unidad de divulgación estadística definida durante la tabulación de los datos del censo (véase la sección C.2 b);
- Mapas a modo de ilustración en informes impresos sobre resultados o metodología del censo. En estos casos, los mapas no son el contenido más importante de la publicación, sino que más bien complementan el texto. Con frecuencia, estarán impresos en blanco y negro, que es menos costoso y más fácil de producir en comparación con la impresión en color. Se imprimirá una buena cantidad de copias para que la distribución sea am-

plia, tarea de la que podrá ocuparse la oficina de censos o bien una imprenta contratada;

- Los atlas censales impresos varían desde publicaciones cortas, tipo folleto, hasta atlas integrales con docenas de mapas;
- Los atlas censales digitales son una opción eficiente en función de sus costos en relación con las versiones impresas en los países en que abundan las computadoras. Pueden estar basados en mapas estáticos preparados previamente o en una interfaz de mapas temáticos sencilla donde el usuario puede seleccionar las variables que desea reflejar, la modalidad de clasificación, los símbolos y colores cartográficos, y la distribución básica;
- También se pueden publicar mapas en Internet. Nuevamente, se puede elegir entre mapas estáticos que son similares a otras imágenes o fotografías publicadas en Internet e interfaces dinámicas donde el usuario puede controlar el procedimiento de diseño temático;
- Se elaborarán mapas para finalidades especiales en distintos formatos para usuarios internos o externos por pedido especial, pero se imprimirá una cantidad reducida internamente en impresoras láser o de chorro de tinta;
- Los materiales de presentación, como las diapositivas o los carteles grandes sobre temas relacionados con el censo, son mejores si se incluyen mapas.

ii. Instrumentos y programas informáticos de cartografía

3.45. La primera generación de programas de SIG no incluía herramientas cartográficas prácticas. Los mapas se creaban usando interfaces de líneas de comando o lenguajes macro. Para incluir texto en un mapa, había que especificar la coordenada, el tamaño del texto y el estilo como comandos separados. En la nueva generación de programas, las funciones de diseño cartográfico han mejorado mucho. El usuario tiene acceso a numerosos diseños de caracteres, líneas y rellenos, y también a dibujos artísticos que se pueden incluir en el mapa. Los sistemas traen asimismo conjuntos especiales de símbolos cartográficos, con líneas o puntos, que se usan comúnmente en los mapas topográficos y temáticos. La interfaz del usuario de los programas cartográficos es, por lo general, muy similar a los programas de gráficos, donde el usuario puede seleccionar estilos en menús interactivos, y los elementos cartográficos pueden moverse y modificar su tamaño con el ratón de la

computadora. La presentación del mapa en pantalla muestra con bastante realismo cómo se verá el mapa cuando se imprima.

3.46. Las funciones de diseño cartográfico de los programas informáticos modernos y de SIG satisfacen la mayoría de las necesidades de los usuarios (véase, por ejemplo, Waldorf, 1995). Pero para algunas aplicaciones, los cartógrafos profesionales prefieren exportar el mapa básico desde el SIG, e importarlo a un programa de diseño gráfico o de publicaciones o de gráficos, que tienen funciones avanzadas, como efectos tridimensionales, rellenos graduados o transparencias, que permiten una mayor flexibilidad en el diseño. Para copiar desde el SIG a los programas de gráficos, hay dos opciones: usar las estándar de cortado y pegado de Windows, o utilizar un archivo intermedio en formato estándar que pueda ser importado por un programa de gráficos (véase la sección sobre opciones de productos que sigue).

d) Opciones en materia de productos

i. Archivos digitales

3.47. Todos los programas de gráficos y de SIG permiten al usuario exportar el trazado del mapa a varios formatos de archivos gráficos. Esta opción es útil por varios motivos. Hace posible el intercambio de archivos entre programas; por ejemplo, se pueden exportar un mapa básico de un SIG y cuadros de un programa estadístico a un programa de gráficos donde se realiza la diagramación definitiva de las páginas. El gráfico terminado se puede importar a un procesador de textos para integrarlo en un informe o una publicación. La mayor parte de los gráficos de este manual se crearon de esta forma. Los archivos de gráficos se pueden incorporar a los sitios de la Red como imágenes estáticas de mapas y también intercambiar como archivos adjuntos a través del correo electrónico.

3.48. Los formatos de archivos de gráficos –similares a las estructuras de datos de SIG –pueden dividirse entre los que sirven a los gráficos en forma de vectores y los que son archivos de imagen o en cuadrícula. Las imágenes en cuadrícula representan objetos gráficos como las variaciones de color o de tonos de gris de pequeños puntos o píxeles distribuidos como una grilla regular. Los tonos de color continuos o las escalas de gris se utilizan para las imágenes tipo fotográfico. Se necesitan menos colores para mostrar los objetos más discretos que habitualmente se encuentran en los mapas temáticos.

3.49. Los gráficos vectoriales representan los objetos como puntos, líneas y polígonos usando un sistema interno de coordenadas que se ha diseñado independien-

temente o que se relaciona con el tamaño de la página. Algunos formatos de archivo pueden trabajar con imágenes en cuadrícula y objetos vectoriales y son útiles para los mapas de SIG que combinan, por ejemplo, imágenes satelitales con capas de datos lineales y poligonales. Cualquiera sea el formato que se utilice, el contenido gráfico debe convertirse en cuadrícula antes de poder mostrar la información en la pantalla o imprimirla, ya que tanto la pantalla como la impresora son esencialmente medios de presentación en cuadrícula. La unidad del sistema operativo y de impresión lo hacen en forma automática.

3.50. A continuación se describen brevemente los formatos de archivo más comunes. Esta lista no es exhaustiva, pues hay docenas de diferentes formatos (véase el panorama integral en Murray y van Ryper (1994)).

ii. Formatos de imágenes en cuadrícula

3.51. Un SIG o un programa de gráficos pueden crear directamente imágenes en cuadrícula. En algunos casos, hay otras dos opciones útiles. Una es usar el comando de captura en pantalla de los programas de gráficos en cuadrícula. Estos “capturadores de pantalla” a veces preservan los colores originales mejor que las funciones de exportación de los programas de gráficos o de SIG. Una segunda opción es utilizar un programa o un equipo especializado para convertir los objetos gráficos a imágenes en cuadrícula. Estos procesadores de imágenes en cuadrícula pueden, por ejemplo, producir imágenes de muy alta resolución que conservan todos los detalles del formato de vectores, aunque quizá los archivos resultantes sean muy grandes.

3.52. El tamaño de los archivos depende de dos factores: la cantidad de colores en la imagen y su grado de compresión. Por ejemplo, un formato de imagen que usa sólo dos colores (blanco y negro) requiere de un solo bit para cada píxel. Ocho bits (un byte) por píxel pueden almacenar hasta 256 colores, y las presentaciones o formatos de imagen avanzados pueden almacenar más de 16 millones de colores. Para los mapas temáticos, basta generalmente con una pequeña cantidad de colores diferentes. Para las fotografías o las imágenes gráficas de calidad fotográfica, son más convenientes formatos de imagen de 16 ó 24 bits.

3.53. La mayoría de los formatos de imagen usan algún tipo de compresión para reducir el tamaño del archivo. El más simple es la codificación de todos los píxeles, técnica que también se utiliza en algunos sistemas de SIG en cuadrícula. Si hay muchos píxeles con el mismo color en una fila de la imagen, el sistema almacena la cantidad de repeticiones y el color una sola vez. Por

ejemplo, cinco píxeles de color cuatro se representarían con un par de números 5, 4, antes que como 4, 4, 4, 4, 4. En realidad, el número del color representa un índice de un cuadro de colores que se encuentra en un pequeño archivo y que contiene la especificación en un modelo usual como el de rojo, verde y azul.

3.54. Algunos formatos comunes de archivo en cuadrícula son los siguientes:

- **BMP.** El formato de mapas de bits de Microsoft Windows independiente de los dispositivos. Permite que Windows muestre la imagen de mapa de bits en casi cualquier tipo de dispositivo de presentación. Es uno de los formatos más básicos de este tipo. Puede utilizarse la codificación comprimida, pero los tamaños de los archivos son por lo general más grandes que en los otros formatos.
- **TIFF.** El formato del archivo de imagen marcada es uno de los más populares. Pueden utilizarse una gran cantidad de colores y varios métodos de compresión. La mayoría de los programas que aceptan gráficos pueden importar las imágenes TIFF, aunque a veces pueden surgir problemas. TIFF es de especial importancia para las aplicaciones geográficas, pues muchas veces se utiliza como un formato para mostrar las imágenes satelitales, fotografías aéreas, mapas escaneados u otros datos en cuadrícula de los programas cartográficos o de SIG. El estándar GeoTIFF surgió de la necesidad de tener un formato de archivo independiente y estándar para las imágenes geoespaciales. Este estándar proporciona la especificación para la información incluida en el archivo de encabezamiento de la imagen de TIFF que describe toda la información geográfica asociada con la imagen, como la proyección, las coordenadas del mundo real, el alcance del mapa y demás y, a la vez, cumple con las especificaciones del TIFF estándar. La mayor parte de los proveedores de SIG principales, las oficinas gubernamentales y las instituciones académicas utilizan GeoTIFF. En Ritter (1996) pueden encontrarse las especificaciones.
- **GIF.** Este archivo se diseñó para intercambiar gráficos de imágenes en cuadrícula cualquiera sea la plataforma de equipo. Contiene un sistema de compresión que reduce significativamente los tamaños de los archivos y, por ello, es óptimo para intercambiar archivos a través de redes informáticas. De hecho, CompuServe desarrolló este formato para utilizarlo en su primer tablero de mensajes electrónico. GIF puede utilizarse con hasta

256 colores y es uno de los dos formatos de imágenes en cuadrícula empleados por los buscadores Web: la mayoría de las imágenes no fotográficas en cuadrícula de las páginas Web tienen formato GIF.

- **JPEG.** Desarrollado por el Joint Photographic Expert Group, este formato está diseñado como un sistema de compresión para imágenes que tienen gran cantidad de colores o matices de gris, como las fotografías o las imágenes gráficas similares a una fotografía. Los buscadores Web también lo utilizan para mostrar fotografías en las páginas. Tiene una opción de compresión variable, que no es completamente reversible, lo que significa que una fotografía que se ha exportado con un alto grado de compresión no puede recomponerse de modo que muestre todos los detalles de la original.

iii. *Formatos de archivos vectoriales*

3.55. Estos archivos se relacionan más con los datos de SIG en vectores. Pueden representar datos de líneas o polígonos de forma más compacta y conservan toda la resolución de las capas de datos de SIG originales. Algunos de los formatos de gráficos vectoriales estándar son los siguientes:

- **WMF.** El metarchivo de Windows es un formato de archivos gráficos para usar en dicha plataforma. Suele usarse más con datos vectoriales, pero también puede almacenar imágenes de mapa de bits. Los archivos WMF mejorados (EMF) son una variación más amplia de este formato, desarrollada para Windows de 32 bits (Windows 95 y NT). Es uno de los formatos más estables para importar y exportar archivos gráficos entre las aplicaciones de Windows. También es el formato que utiliza esta plataforma cuando un objeto gráfico se copia al sujetadatos y luego se pega en otra aplicación.
- **CGM.** Los metarchivos informáticos de gráficos son una norma internacional para almacenar datos gráficos bidimensionales. Se creó al principio como una norma puramente vectorial, pero las versiones posteriores también permiten imágenes en cuadrícula. Hay tres tipos de formato CGM: un codificador de caracteres que reduce el tamaño de los archivos y aumenta la velocidad de transmisión, un código binario para la velocidad de acceso, y un modo de despejar texto para editar con base en los archivos.

- **HPGL.** El idioma gráfico de Hewlett-Packard es un formato de archivos que se utilizó, en un principio, para trazadores de tinta, que eran los dispositivos de salida más usados para los proyectos de SIG en los que se imprimían mapas grandes, antes de la aparición de las impresoras de formato grande a chorro de tinta o electrostáticas.

- **DXF.** Autodesk, un proveedor de programas especializados en diseño asistido por computadora (CAD) y programas de SIG, desarrolló este formato de intercambio de dibujos. En un principio, servía para intercambiar archivos originales de Autodesk entre las plataformas, pero ahora el formato DXF es el estándar utilizado por la mayoría de los programas de SIG y muchos programas de gráficos.

- **PS y EPS.** Postscript es esencialmente un lenguaje de programación para describir datos vectoriales en un archivo de texto. Es la descripción de diseño de página más utilizada. Adobe, una compañía de programas de gráficos informáticos, creó Postscript. Estos archivos también pueden incorporar imágenes en cuadrícula si se optimizan para gráficos vectoriales independientes de la escala. El uso principal de Postscript es el de un formato de salida para enviar documentos y gráficos a impresoras postscript y por lo tanto es fundamentalmente un formato de salida. Muchos programas de gráficos pueden importar archivos postscript, pero como sus códigos no están completamente normalizados, a menudo no es posible importar estos archivos para editarlos si fueron creados en un programa diferente. Esto sucede sobre todo cuando el archivo recorre distintas plataformas de equipo. A veces, ni siquiera es posible importar un archivo postscript creado en el mismo programa.

Si bien con frecuencia no es posible modificar un archivo postscript importado, la mayor parte de los programas pueden incorporarlo en un documento. En lugar del contenido del archivo, se verá en la pantalla solamente un recuadro etiquetado, pero una vez enviado a la impresora postscript, se imprimirá el contenido. Como son independientes de la escala, se puede modificar el tamaño del gráfico postscript importado para que ocupe el espacio deseado.

- **PDF.** Adobe también creó el formato de documento portátil. Inicialmente, se utilizó para distribuir documentos complejos —que contenían texto y gráficos— en Internet. Los archivos PDF pueden crearse en cualquier procesador de textos

o programa de gráficos usando una unidad Acrobat. El lector PDF puede descargarse en forma gratuita del sitio Web de Adobe. Algunos expertos opinan que este formato reemplazará a los archivos postscript como la norma principal para la impresión de gráficos de alto nivel. El lenguaje PDF es más sencillo que el postscript, y por eso los archivos PDF son más fáciles de transformar al formato de cuadrícula, lo que es necesario para mostrar un gráfico en la pantalla y para imprimirlo en una impresora de alta resolución.

iv. Impresoras personales

3.56. Para imprimir poco material o para las copias de control de calidad, la oficina de censos debe disponer de una o varias impresoras. En los párrafos siguientes se describen brevemente los tipos más populares de impresoras (véase también Cost, 1997):

- **De chorro de tinta.** Imprimen arrojando un chorro de gotas de color cargadas eléctricamente sobre la página, a través de un inyector. Utilizan tinta líquida que se seca por evaporación. La tinta pasa a través del inyector por presión hidráulica; esta técnica se denomina de chorro de tinta por pulsos. En cambio, el chorro de tinta térmico utiliza el calor para crear una burbuja de tinta en el inyector que pasa por él a la página cuando alcanza un tamaño suficiente. Las impresoras a chorro de tinta sólida utilizan tinta que debe derretirse antes de enviarse a la página, donde se solidifica rápidamente. Estas impresoras producen puntos más finos en comparación con la tecnología de chorro de tinta líquida. Las impresoras de chorro de tinta trabajan con papel común, pero para lograr la mejor calidad de impresión posible, se recomienda usar papel especial para estas impresoras. Como son de fácil operación y no demasiado costosas, las impresoras de chorro de tinta, que pueden usarse con muchos tamaños de papel son, en la actualidad, el dispositivo de salida más utilizado.
- Las impresoras **térmicas** requieren papel y cinta recubierta de tinta especiales, que pasan por un cabezal térmico. La tinta se fusiona con el papel en el punto en que el cabezal aplica calor. Las cintas están recubiertas con tres (CMY) o cuatro (CMYK) colores, y el cabezal térmico tendrá que pasar tres o cuatro veces por la página. En las impresoras térmicas de cera, el calor hace que la capa de cera coloreada se fije al papel. En los procesos de teñido térmico, el pigmento se esparce en la superficie a imprimir. Las impresoras de difusión de pigmento generalmente logran una reso-

lución más alta y más variación de color que las impresoras de cera térmicas.

- Las impresoras **láser** emplean un rayo láser y un sistema de dispositivos ópticos para descargar selectivamente una superficie fotoconductiva. Un tóner con carga opuesta toma contacto con esa superficie y los sectores que retienen la carga lo atraen. Luego, se transfiere el tóner a la página y queda fijado. Para aplicar la imagen desde el tambor hacia el papel, se usa un procedimiento similar al del fotocopiado electrostático. Las impresoras láser monocromáticas pueden lograr una calidad de impresión cercana a la de los sistemas profesionales de composición tipográfica. Hace muy poco tiempo que las impresoras láser color tienen un precio accesible para la mayoría de las aplicaciones gráficas, pero su calidad de impresión no es lo suficientemente alta como para reemplazar por completo a las de chorro de tinta en los laboratorios de SIG pequeños y medianos.
- Las impresoras **electrostáticas** utilizan un tóner que se transfiere por cargas eléctricas a una superficie no conductora. El tóner es atraído o repelido. Las impresoras directas aplican la carga sobre el papel especialmente recubierto. Se aplica el tóner de cada color en etapas separadas y se fusiona con el papel después de que se aplicaron todos los colores. Otro procedimiento electrostático es la xerografía color, que utiliza un tambor o cinta que se carga cuando se expone a la luz.

3.57. La tecnología de impresión cambia constantemente y hay muchísimos productos disponibles. La oficina de censos debe considerar los siguientes criterios para elegir una impresora adecuada:

- Costo del equipo, del mantenimiento, y de la impresión por página;
- Producción (páginas por minuto);
- Resolución en términos de los puntos por pulgada (dpi) y cantidad de colores o tonos de gris que pueden producirse;
- Tamaño de los medios;
- Tipos de medios que pueden utilizarse (papel común, papel especialmente recubierto, transparencias, y demás).

3.58. No es necesario imprimir muchos mapas boceto en color. De hecho, es más fácil fotocopiar mapas pequeños en blanco y negro. Las impresoras láser que permiten utilizar papel tamaño A4 o carta combinan una gran velocidad de impresión con una muy alta re-

solución (600 dpi y más). Son ideales para imprimir informes y otros documentos que tienen principalmente texto y algunas ilustraciones y mapas.

3.59. Las impresoras color son útiles para imprimir mapas complejos que exigen más que sombreado y simbolización monocromáticos. Las que más se usan son las impresoras a chorro de tinta —desde las impresoras de mesa que utilizan papel tamaño A4 o carta hasta las impresoras de formato grande (por ejemplo, 60 x 90cm o 24 x 36 pulgadas). Producen mapas de alta calidad con 600 dpi. Las velocidades de impresión son todavía relativamente bajas. En el futuro, es muy probable que las impresoras láser color —que aún no logran la misma calidad de impresión— reemplacen a las de chorro de tinta en popularidad.

3.60. Cuando se decide cuál es la impresora adecuada para un proyecto de SIG, el costo es un aspecto importante. Hay que recordar que el precio de compra de una impresora es uno de los componentes del costo —por lo general relativamente menor. Si bien los precios han bajado considerablemente, el costo de los cartuchos de tinta y de los papeles especiales se ha mantenido bastante alto. En algunos casos, pareciera que los fabricantes de impresoras mantienen los precios del equipo muy bajos, esperando lograr una ganancia con la venta de los suministros específicos para ese equipo. Además del precio de compra, también debe compararse el costo de impresión por página estándar (por ejemplo, cuando el 5 por ciento de la página está cubierta de tin-

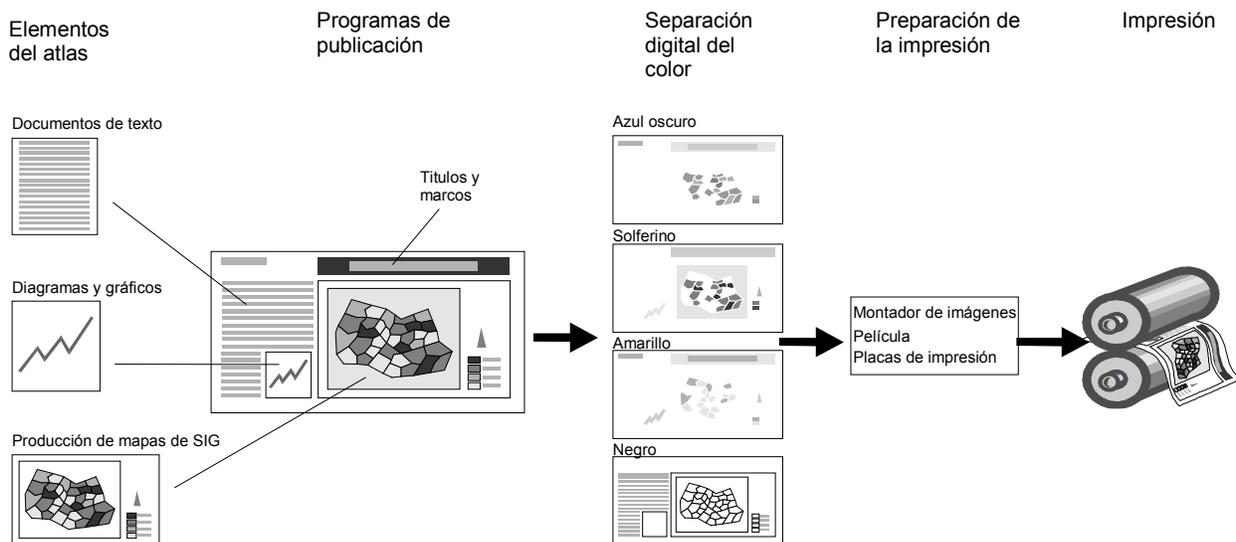
ta). Las revistas de informática suelen publicar comparaciones.

v. Impresión comercial

3.61. Para imprimir en grandes cantidades, las unidades personales son muy lentas y los costos por página muy altos. Por ello, para folletos, carteles o atlas de censos se debe recurrir a una imprenta comercial o a un departamento especial. Si el volumen es grande, los procedimientos de impresión analógicos, donde las placas se producen y utilizan en máquinas litográficas u otras similares son, en la actualidad, más baratos y más rápidos que los procedimientos de impresión digital, algo que puede cambiar en el futuro cercano.

3.62. Pero el procedimiento hasta la producción de placas de impresión ya es casi completamente digital. El proceso de producción típico para un atlas de censo digital puede asemejarse al gráfico que sigue (véase el gráfico III.2). Después de una etapa inicial de planificación, donde se especifican el texto, los gráficos y los contenidos de los mapas, los cartógrafos producen todos los mapas que se incluirán en el atlas. Estos mapas se almacenan en formato postscript, listos para imprimirse. En el caso de diseños de mapas complejos, que incluyen gráficos producidos con programas externos o fotografías, la diagramación puede realizarse en programas avanzados de gráficos. Otros empleados de la oficina de censos escribirán el texto que acompaña los mapas, cuadros, referencias y otros contenidos en programas comunes de procesamiento de textos.

Gráfico III.2. El procedimiento de impresión digital



3.63. En una segunda etapa, se combinan todos los elementos del atlas en un programa de publicación. Se da formato a los encabezamientos, pie de gráficos, figuras, texto y elementos gráficos y se diagraman en forma visualmente atractiva, que se ajustará con precisión al tamaño de la página del producto impreso. Esto se puede hacer internamente o en una oficina externa.

3.64. Una vez producida la diagramación definitiva del atlas, se guarda en un archivo de salida digital. El formato más común es un archivo postscript encapsulado, pero también las imprentas comerciales pueden usar algunos formatos de archivo específicos de los programas. La mayoría de los programas avanzados de publicación y de gráficos también pueden separar los colores, almacenándolos en archivos separados o todos en el mismo. La impresora utiliza cuatro placas de impresión, una para cada color: azul oscuro, solferino, amarillo y negro (modelo denominado CMYK). Los colores de los mapas y gráficos se producen como combinaciones aditivas de varios porcentajes de estos cuatro colores. Los archivos digitales se envían luego a un montador de imágenes, que crea la película a partir de la cual se producen las placas de impresión. Si se emplean archivos digitales para producir la película, generalmente se lograrán los mejores resultados. Los originales listos para su reproducción fotográfica, impresos en una impresora láser y producidos con técnicas fotográficas, tal vez sean menos costosos, pero no tienen la misma resolución. Por lo general, es deseable obtener una prueba de color de la impresora antes de la producción definitiva y evaluarla, a menos que ya se haya establecido y probado una línea de producción.

3.65. Se pueden encontrar algunas referencias útiles sobre la preparación del material para la impresión y para la impresión digital en Romano (1996) y Cost (1997). Algunos libros de cartografía de publicación reciente, como Kraak y Ormeling (1997) y Robinson y otros (1995) también examinan los procedimientos previos y de impresión. Muchos proveedores de equipos y programas de impresión también proporcionan información y otros recursos en sus sitios Web.

4. Bases digitales de datos geográficos para divulgación

3.66. Por el momento, la publicación de mapas impresos de los censos continuará siendo el medio primordial de divulgar los resultados de los censos geográficos. El grado de acceso a las computadoras varía según el país, y aun en los países donde tienen un uso generalizado, muchos usuarios prefieren el producto impreso. Incluso así, la oficina de censos debería tener también

una estrategia de divulgación de datos en forma digital, que acompañe la producción de los mapas impresos.

3.67. La demanda de bases de datos digitales que consisten en extracciones de la base geográfica maestra de la oficina de censos seguirá aumentando. Los datos de los censos son un elemento importante para la planificación de políticas y el análisis académico en muchas disciplinas. Los organismos públicos necesitan estadísticas de zonas pequeñas referenciadas espacialmente para ciertas aplicaciones, como la prestación de servicios de salud, la asignación de recursos de educación, el diseño de los servicios públicos y la infraestructura, y la planificación electoral. Los usuarios comerciales emplean estos datos para decisiones relativas a la comercialización y la ubicación.

3.68. El amplio espectro de posibles usuarios de datos censales de zonas pequeñas indica que la oficina de censos debe tener una estrategia de divulgación de datos digitales en varios niveles. En términos generales, se pueden distinguir los siguientes tipos de usuarios:

- Usuarios de SIG avanzados, que desean combinar datos censales de zonas pequeñas con sus propios datos de SIG sobre centros de salud, distritos escolares o regiones de ventas, por ejemplo;
- Usuarios con conocimientos de computación en los sectores público, comercial, o privado, que desean poder buscar la información temática en una base de datos censal con referencias espaciales. Quieren producir mapas temáticos y necesitan poder manipular un poco los parámetros cartográficos. También se deberían poder realizar algunas funciones analíticas simples, como la agregación de unidades censales a regiones diseñadas especialmente;
- Usuarios inexpertos, que sobre todo quieren ver mapas preparados en una computadora y quizá realizar algunas consultas básicas.

3.69. El primer grupo de usuarios deseará obtener información espacial y sobre los atributos en un formato digital de SIG integral. La oficina de censos debe proveer documentación integral sobre los parámetros geográficos utilizados para la base de datos de SIG y sobre las variables censales. La información espacial se distribuirá en un formato SIG abierto que pueda convertirse fácilmente a varios formatos SIG comerciales.

3.70. Al segundo grupo de usuarios le viene mejor una aplicación programada previamente e integral, diseñada para un programa cartográfico comercial o gratuito. Los requisitos de documentación son algo menores, pues no es probable que los usuarios cambien los pa-

rámetros geográficos de la base de datos o que realicen operaciones de SIG más avanzadas.

3.71. Por último, en lo que respecta al tercer grupo de usuarios, la mejor estrategia de distribución de datos es producir un atlas digital del censo que sea autónomo que podría consistir de una serie de mapas estáticos, por ejemplo, en la forma de diapositivas. O podría ser una interfaz cartográfica con vistas prediseñadas de los mapas, y que permita realizar consultas básicas. Se puede tener acceso a los mapas estáticos o a una interfaz sencilla por Internet.

a) Definición del contenido de los datos

3.72. El primer paso en la preparación de las bases de datos de SIG para su divulgación general es definir el contenido de los datos. Es necesario responder las siguientes preguntas:

i. ¿En qué medida se divulgarán los datos?

3.73. A fin de maximizar las ventajas generales que tiene la reunión de datos censales, el objetivo de la oficina de censos debería ser divulgar los datos censales geográficamente referenciados en el nivel menor que no comprometa su confidencialidad. Aun en el nivel de la ZE, puede haber zonas informantes especiales que abarcan unos pocos hogares y de las cuales no pueden divulgarse los datos. Si fuera necesario, los datos de determinadas zonas informantes deben borrarse o recodificarse.

ii. ¿Una gran base de datos de SIG o una serie de bases de datos censales?

3.74. Una base de datos de SIG de alta resolución contendrá miles de unidades informantes. Volúmenes de datos como estos sobrepasarán la capacidad de computación del usuario medio. En lugar de distribuir una base de datos grande, la oficina de censos debería considerar la posibilidad de producir una serie de bases de datos censales. En el nivel medio de resolución —por ejemplo los distritos— una base de datos nacional resumida puede ofrecer un panorama general suficientemente detallado de las condiciones socioeconómicas del país. Para cada división civil principal y hasta para cada distrito, se pueden construir bases de datos independientes que muestren los indicadores en el nivel del subdistrito y de la ZE. También podrían ser útiles las bases de datos individuales para zonas urbanas de importancia.

3.75. Por último, una base de datos puntual de los asentamientos en el país, con datos censales asociados, satisfará a los usuarios que no necesitan la resolución espacial de una base de datos de SIG de las unidades informantes. Esta base debería contener, por lo menos,

todos los asentamientos clasificados como urbanos y los indicadores censales agregados para cada ciudad. Idealmente, también se debería construir una base de datos en el nivel de los poblados, en beneficio de los planificadores de los sectores de salud, educación o agricultura. Puede estar basada en un nomenclátor de los nombres de los lugares y sus ubicaciones, si es que se ha reunido esta información durante la elaboración de los mapas censales.

3.76. Si se ofrecen bases de datos de las subsecciones del país, el uso de estas bases será mayor. Muchos usuarios solamente necesitan información censal sobre una región relativamente pequeña. Un subconjunto de una base de datos nacional es más fácil de procesar con poca capacidad informática de SIG. Además, en los países donde el costo del acceso a los datos es mayor que el de reproducción, una gran cantidad de usuarios no comerciales podrá tener acceso a conjuntos de datos más pequeños.

3.77. Si se distribuyen bases de datos por separado, habrá que tener cuidado de que cada parte o placa sea compatible. Esto significa que los límites compartidos por los subconjuntos de la base de datos deben ajustarse con exactitud. Las distintas partes de la base de datos deben estar en el mismo sistema de referencia geográfica y tener las mismas definiciones de atributos. Si la base maestra que utiliza la oficina de censos es muy detallada, para muchos usuarios será conveniente disponer también de una versión digital más general de los mapas censales. Algunos países ofrecen mapas censales digitales con diferente escala nominal o exactitud de las coordenadas. Se cobrará más a los usuarios que requieren un muy alto grado de exactitud y detalle.

3.78. Muchos proveedores comerciales de datos de SIG distribuyen los datos en coordenadas de latitud/longitud (es decir, geográficas), antes que con una proyección específica. Las coordenadas geográficas son el sistema de referencia más general y es muy fácil de convertir a otros sistemas de proyección en caso de que el usuario desee usar los límites del censo junto con otras capas de datos. En cambio, es posible que los programas de SIG no permitan proyecciones y sistemas de coordenadas nacionales específicas. En este caso, resultaría difícil emplear la base de datos censal para las aplicaciones de análisis geográfico.

iii. ¿Cuánto deben integrarse los límites y la base de datos?

3.79. Las bases de datos censales de SIG se caracterizan por su gran cantidad de campos de atributos. Los cuestionarios proporcionan información que posible-

mente se almacena en cientos de campos variables. Por lo general, no es práctico almacenarlas a todas juntas en el mismo cuadro de datos. Es mejor seleccionar unos pocos de los indicadores más importantes en el cuadro de atributos geográficos y proporcionar la información restante en una serie de cuadros separados. Estos cuadros externos pueden organizarse por tema — demografía, datos de hogares y demás. El usuario puede entonces vincular los cuadros en el SIG por medio del identificador geográfico común, según se necesite.

b) Formato de los datos

i. Datos de las coordenadas

3.80. Los programas de SIG difieren mucho en términos de los formatos de datos que permiten. Cada programa comercial tiene su propio formato original. Además, las funciones de importación y exportación permiten convertir los datos a partir de una determinada cantidad de datos externos. En algunos casos, hay que comprar estas funciones de conversión por separado.

3.81. A pesar de los esfuerzos de los grupos comerciales y públicos de SIG (véase Open GIS Consortium (1996)), todavía no existe un formato genérico de intercambio de datos universalmente aceptado y utilizado. Se preveía que el formato de producto en forma de vectores (VPF), que inicialmente se creó para distribuir el Mapa Digital del Mundo, un mapa básico mundial en escala de 1:1 millón, se convertiría en la norma general para el intercambio de datos, pero los proveedores comerciales de SIG nunca lo aceptaron completamente.

3.82. Pero en cambio, una serie de formatos de intercambio desarrollados por importantes proveedores de SIG se han convertido de hecho en la norma, y también sirven para otros sistemas informáticos. Los más importantes pueden describirse brevemente en la forma siguiente:

- Formato AutoCAD DXF (dxf), originado en el ambiente de CAD. Sirve bien para transferir los datos de coordenadas geográficas, pero no es tan bueno para convertir la información sobre los atributos.
- Formato de exportación Arc/Info (.e00), desarrollado como un formato de intercambio entre plataformas para bases de datos de SIG producida por el Instituto de Investigaciones sobre Sistemas Ambientales (ESRI). Los archivos de exportación pueden comprimirse de modo que sean más pequeños, pero para asegurar una compatibilidad máxima, por lo general conviene más usar un formato sin comprimir. Los archivos resultantes

pueden comprimirse después, con un programa estándar que comprima y guarde, como el PKZIP. El formato .e00 no está publicado, pero muchos otros programas de SIG han elaborado rutinas de importación.

- Archivos de forma ArcView (.shp), un formato más sencillo utilizado por el programa de cartografía del ESRI. Una base de datos de estos archivos consta de varios archivos que contienen datos de coordenadas, un índice espacial y datos de atributos respectivamente. Sus formatos están publicados y muchos otros sistemas de SIG pueden importar estos archivos.
- Formato de intercambio MapInfo (.mif), se utiliza para intercambiar archivos producidos con MapInfo, uno de los principales sistemas de cartografía. Están en ASCII y los pueden leer muchos programas.
- Formato de archivo de diseño MicroStation (.dgn), se utiliza en el entorno de SIG del modular de Bentley (MGE) y en programas de SIG. El formato no acepta datos de atributos directamente, pero establece una vinculación a cuadros de bases de datos externos. Los archivos geográficos y de atributos se combinan con un formato separado de exportación.

3.83. Todos estos formatos contienen información sobre límites y atributos. Cualquier SIG comercial tendrá una función de importación por lo menos para uno o dos de ellos. Idealmente, la oficina de censos debería ofrecer sus bases de datos de SIG en varios formatos para atender las necesidades de un conjunto diverso de usuarios con distintos conocimientos de SIG y diferentes plataformas informáticas. La elección de los formatos que se distribuirán debería depender de la información que se tenga sobre los sistemas cartográficos que los usuarios de los censos utilizan más y de la flexibilidad y solidez de los formatos.

3.84. La distribución de los datos de SIG en su formato interno original —por ejemplo, un directorio que cubra Arc/Info o un espacio de MapInfo— no suele ser una opción viable. A menudo, los datos en su formato original no pueden transferirse a otro sistema operativo, es probable que haya incompatibilidades en los nombres de las rutas de acceso y, además, los otros programas de SIG en general no pueden importar los formatos originales. Por ello, siempre es preferible utilizar un formato sólido de intercambio de datos tal como lo implementan la mayoría de los programas comerciales de SIG.

ii. Datos tabulares

3.85. La mayor parte de los programas de SIG permiten usar varios formatos de archivo para los datos de atributos. Algunos también tienen funciones para conectar la base de datos de las coordenadas con un sistema externo de administración. Pero a efectos de la distribución de los datos, es mejor utilizar para los cuadros un formato sencillo y muy usado. El formato más utilizado es DBASE, que puede producirse en la mayoría de los programas de administración, de planillas o de tabulaciones censales, como el REDATAM y el IMPS.

3.86. Si bien la distribución de los datos tabulares en DBASE asegura una amplia compatibilidad con los programas de SIG, este formato tiene varias limitaciones. Por ejemplo, los nombres de los campos, que aparecen en la primera fila del cuadro, sólo pueden tener hasta 10 caracteres. La documentación de los programas de planillas o de administración de bases de datos proporcionará más detalles sobre las cuestiones relacionadas con la compatibilidad. En el cuadro, el campo más importante es el identificador común que se utiliza para vincular los datos de atributos con los límites de la unidad informante. Este campo debería estar ubicado en la primera columna de cada cuadro de atributos. Por lo general, también es útil ordenar los conjuntos de datos en forma consistente, por ejemplo, por sus identificadores geográficos.

iii. Documentación

3.87. También hay que tener en cuenta los formatos de los archivos de documentación. Cualquier usuario puede leer los simples archivos de texto ASCII, pero estos no permiten la inclusión de gráficos, cuadros complejos ni ningún formato especial del texto. El formato PDF de Adobe Acrobat se está convirtiendo en la norma para la distribución de documentos, independientemente de la plataforma. Como este lector es gratuito, es probable que cualquier usuario pueda tener acceso a los documentos PDF.

3.88. Otra opción es producir documentación en un formato que puedan leer los buscadores Web, que pueden obtenerse sin cargo de Microsoft y de Netscape. Los archivos HTML permiten un grado considerable de formateo y se puede acceder a ellos cuando se encuentran en un CD-ROM o en un disco duro aún sin conexión a Internet.

iv. Convenciones relativas a la denominación de los archivos

3.89. Aunque los sistemas operativos de Windows 95, NT, Mac y UNIX aceptan nombres largos, es conve-

niente utilizar las convenciones relativas a la denominación de los archivos del DOS 8.3 para todos archivos de datos y documentación que se distribuyan. Algunos usuarios pueden estar trabajando con DOS, Windows 3.1 o con programas de SIG aun anteriores. Los nombres cortos pueden reducir al mínimo la cantidad de incompatibilidades, por ejemplo con programas de red más antiguos. Si las convenciones sobre la denominación, que se explican en la documentación, son consistentes, será más fácil para los usuarios encontrar con rapidez los datos que necesitan.

v. Compresión

3.90. Los archivos de SIG suelen ser muy grandes y, junto con los datos tabulares, el conjunto de archivos de distribución puede resultar bastante voluminoso. La compresión de los archivos facilitará mucho la distribución especialmente para el envío de datos por Internet, o para la distribución por medio de disquetes. El programa de compresión que más se usa en el entorno de Windows es el PKZIP, incluido en casi todas las computadoras. También hay rutinas que extraen archivos a partir de los comprimidos en el sistema operativo UNIX. Los archivos que lo hacen automáticamente son más convenientes para los usuarios sin experiencia y no requieren una rutina de descompresión, pero son específicos de cada sistema operativo y sólo se deben usar si se conoce la plataforma en la que se aplicarán.

c) Diccionarios de datos y documentación

3.91. La documentación que acompañará a la distribución del conjunto de datos no tiene que ser tan completa como la información que se compila internamente para todas las bases de datos (véase el capítulo II). Los usuarios generalmente no necesitan información detallada sobre el linaje o las etapas de procesamiento, y para los usuarios externos es más importante que las bases sean fáciles de interpretar. Así pues, la documentación debe contener una descripción clara, concisa y completa de los aspectos de la base de datos que son relevantes para el usuario. Si la oficina de censos mantiene una base integral de metadatos, la documentación correspondiente se puede compilar muy rápidamente e incluirá la siguiente información:

- Nombres e información de referencia del conjunto de datos, incluidas todas las fuentes;
- Descripción del contenido de los conjuntos de datos;
- Descripción de la jerarquía de las unidades administrativas e informantes y su relación con otras características (como los asentamientos) que de-

bería incluir un claro enunciado de la definición estadística empleada para cada tipo de unidad informante. Una lista completa de todas las unidades informantes y sus códigos geográficos también resulta de utilidad;

- Requisitos de equipos y programas informáticos;
- Formato general de los datos, directrices para descomprimir e instalar;
- Información sobre el referenciamiento geográfico (todos los conjuntos de datos geográficos deben tener el mismo sistema de referencia):
 - Proyección cartográfica con todos los parámetros necesarios, como el paralelo, el meridiano estándar, falso este o norte, y así sucesivamente;
 - Unidades de las coordenadas (por ejemplo, grados decimales, metros, pies);
 - Escala del mapa fuente, es decir, la escala de los mapas impresos a partir de los cuales se digitalizaron los límites;
 - Información sobre la exactitud geográfica. Por ejemplo, se puede dar la información sobre la exactitud numérica de los mapas fuente. Si no es posible evaluar cuantitativamente la calidad de los datos, se puede describir la exactitud en términos más generales;
 - Los mapas en papel de los conjuntos de datos de SIG son un complemento útil de la documentación. Por ejemplo, permite verificar si la importación de mapas ha sido correcta;
- Convenciones para tratar con las unidades informantes disjuntas (como los distritos que consisten de varias islas, véase el capítulo II);
- Información sobre productos relacionados, por ejemplo, bases de datos censales de SIG más detalladas o archivos de datos adicionales que pueden usarse con esos límites;
- Bibliografía de publicaciones pertinentes sobre censos;
- Información para pedir asistencia técnica;
- Descargos, información sobre los derechos de propiedad intelectual, etc.

3.92. Además, cada conjunto de datos de SIG debe estar acompañado de un diccionario de datos con información sobre cada capa o cada cuadro de datos. El diccionario debe enumerar la siguiente información:

- Nombres y formatos de los archivos;
- Tipos de características (puntos, líneas o polígonos);
- Relación entre los archivos de datos sobre coordenadas y los cuadros de atributos asociados externos;
- Para cada campo en el cuadro de atributos y en los demás cuadros externos:
 - Nombre del campo;
 - Descripción del contenido (por ejemplo, la población total, 1995) y la definición estadística exacta que se utilizó. Para los indicadores demográficos derivados, se puede dar la fórmula, por ejemplo, usando los nombres de los campos de las variables empleadas como numerador y denominador;
 - Definiciones de los campos, incluido el tipo de variable (por ejemplo, real, entero o de caracteres), el intervalo de valores aceptables y las convenciones para tratar los valores faltantes. Si los datos están clasificados, el sistema de codificación debe explicarse en detalle. Por ejemplo, en una base de asentamientos, un campo numérico denominado TYPE puede utilizar "1" para la capital nacional, "2" para las capitales provinciales, "3" para los centros administrativos de los distritos, y así sucesivamente;
 - Cualquier información que se disponga sobre la calidad de los datos que permita juzgar su validez para una determinada tarea.

3.93 Es posible incorporar la documentación y los diccionarios en la guía integral para el usuario, que podría contener una explicación más detallada del contenido de la base de datos, su linaje y calidad. También se podrían incluir explicaciones detalladas de aplicaciones o copias de los mapas censales que pueden crearse con la base de datos. En el anexo IV se presenta un ejemplo de un diccionario de datos.

d) Preparación de los productos

3.94. El control de calidad es una etapa importante antes que el producto final pase a la de reproducción. Después de producir la versión definitiva de todas las bases de datos en la forma en que se distribuirá (por ejemplo, comprimida), hay que probarla en todas las plataformas que la usarán (por ejemplo, Windows, UNIX y Macintosh).

3.95. A la fecha de redacción de este informe, el medio de distribución más adecuado para los conjuntos de datos muy grandes es el CD-ROM, que puede tener hasta 630 MB, y casi todas las computadoras tienen lectores de CD-ROM. Los grabadores de CD-ROM también cuestan poco y permiten producir copias maestras digitales internamente así como distribuir unas pocas copias de conjuntos especiales de datos. Para la distribución más amplia de conjuntos de datos grandes, el CD-ROM ofrece la ventaja de tener un costo bajo de producción por unidad, y ser durable y legible en numerosas plataformas.

3.96. En el futuro, hay dos tecnologías que pueden superar a la del CD-ROM. Una es el disco versátil digital (DVD), que puede contener dos gigabytes de datos o más. La tecnología de grabación en DVD también está progresando rápidamente, aunque todavía hay cierta incertidumbre sobre las normas, pero es muy probable que este problema se resuelva en los próximos años.

3.97. A un plazo más largo, casi toda la distribución de datos se realizará por medio de Internet. En la actualidad, la distribución de archivos muy grandes se ve todavía obstaculizada por el limitado ancho de banda —la cantidad de datos que se pueden transferir en un lapso dado. Los tiempos de descarga muchas veces son inaceptables, debido a que en muchos países hay deficiencias en la infraestructura de Internet. Pero el inconveniente peor son las conexiones de módem de casas u oficinas a los cables principales de Internet. Los archivos grandes pueden transferirse a los usuarios académicos, gubernamentales o comerciales que tienen acceso de alta velocidad a Internet.

3.98. La distribución de los datos por Internet elimina gran parte del costo de reproducción de la oficina de censos. Los costos restantes corresponden al desarrollo de interfaces de programas, el mantenimiento del sitio Web y el uso adicional de los recursos del servidor Web. Las bases de datos censales de SIG pueden ofrecerse a un costo muy bajo o gratuitamente, pero tal vez algunos organismos opten por cobrar los datos en línea, quizás por la necesidad de subvencionar con este ingreso un programa de publicación para los usuarios que no tienen acceso a Internet o por que se quiere recuperar parte del costo de reunión y compilación de los datos censales.

e) *Cuestiones jurídicas y de comercialización*

i. *Derechos de propiedad intelectual de los datos*

3.99. La propiedad intelectual es el derecho exclusivo y jurídicamente garantizado de publicar, reproducir o vender una parte de un trabajo —en este contexto, una

base digital de datos geográficos. Los problemas que se plantean en el caso de las bases de datos de SIG son más urgentes que en el de los mapas en papel, en vista de la facilidad de reproducción digital (véase Antenucci y otros, 1991). Por ello, la oficina de censos debe elaborar una política de acceso para la información tabular o cartográfica.

3.100. La propiedad intelectual tiene dos facetas: los derechos morales y los derechos materiales. Los primeros protegen la integridad del trabajo al prohibir cualquier alteración del producto original. Los segundos se refieren al derecho a percibir un beneficio monetario una vez que se ha dado a conocer el producto para su reproducción, uso o transformación. Todo derecho de propiedad intelectual otorgado por el titular se especificará en un acuerdo de licencia.

3.101. La cuestión de los derechos de propiedad intelectual se relaciona con la política de precios de los productos de información digital. La oficina de censos tiene varias opciones en este sentido. Puede decidir:

- Hacerse cargo de todo el costo de reunión y distribución de los datos;
- Cobrar el costo de distribución de los datos (costo de los medios y envío);
- Recuperar todo o parte del costo de reunión y compilación de los datos;
- Producir ingresos que superen el costo real de la inversión y desarrollo de datos de SIG.

ii. *Ventajas y desventajas de la comercialización de los datos geográficos*

3.102. Las leyes de propiedad intelectual varían de un país a otro. En un extremo, algunos Estados no se reservan este derecho sobre la información que producen los organismos públicos en razón de que como los contribuyentes ya han costeado con sus impuestos los gastos de reunión de datos, no se les debe cobrar nuevamente por su uso. En consecuencia, los datos de SIG producidos por los organismos públicos se distribuyen en forma gratuita o al costo de reproducción. Además, cualquier empresa comercial puede usar la información estatal, darle una nueva presentación y venderla para obtener una ganancia.

3.103. En los Estados Unidos, por ejemplo, el libre acceso a los datos públicos ha dado origen a una gran industria de servicios que produce datos censales referenciados espacialmente en varios formatos para la venta a los usuarios privados, comerciales e, irónicamente, del sector público. A pesar de que las compañí-

as cobran por los datos, la utilización no exclusiva los datos censales se ha traducido en la aparición de muchas compañías en el mercado. La competencia ha mantenido bajo el precio de los datos censales, a la vez que ha aumentado la oferta de productos especializados. Los usuarios que desean convertir los datos por sí mismos también pueden obtenerlos sin costo.

3.104. Esta evolución ha ampliado muchísimo el uso de los datos censales en aplicaciones geográficas. El mayor número de usuarios ha estimulado, a su vez, el desarrollo comercial de programas cartográficos fáciles de utilizar y la prestación de servicios con valor agregado. Los beneficios económicos globales son grandes porque aumentaron los ingresos tributarios y el mejor acceso a la información produjo aumentos de la productividad y mejores decisiones en los sectores público y privado. Estas ventajas justificaron la publicación de los datos sin pago de derechos, que esencialmente era una subvención estatal a las compañías privadas.

3.105. En otros países, la necesidad de achicar los presupuestos públicos ha intensificado la presión para que estos organismos generen ingresos que financien sus operaciones. En consecuencia, los precios de la información censal referenciada geográficamente son a veces muy altos y pueden reflejar su valor comercial, por ejemplo para las instituciones financieras o las empresas, pero quizás estos precios desplacen del mercado a las compañías pequeñas o a usuarios no comerciales y limiten su utilización y, de esta forma, los beneficios de los datos censales de los SIG. Como señalan Prevost y Gilruth (1997), el intento por recuperar los costos que pone a estos productos censales de SIG fuera del alcance de los usuarios no comerciales suele tener como consecuencia copias ilegales, la duplicación de la tarea de crear los datos a partir de los materiales fuente originales, o el uso de otros datos, más baratos y de menor calidad.

3.106. Las licencias restrictivas también impiden u obstaculizan la distribución de productos y servicios derivados, lo que disminuye los efectos que podría tener la reunión de datos censales en el bienestar público. Es muy posible que la reducción del efecto económico debida a la ausencia de estas repercusiones, sea mayor que el aumento de los ingresos que logra la oficina de censos. De hecho, en algunos países, las políticas de distribución de datos producidos por el Estado se inclinan por costos bajos o entrega gratuita porque se han dado cuenta que los precios más altos no compensan el costo de aplicación de los derechos de propiedad intelectual ni de los beneficios perdidos por la sociedad a causa del menor aprovechamiento de información vital.

3.107. Con frecuencia, el acceso a los datos y aplicaciones secundarias también se restringe si la oficina de censos trabaja en colaboración con un productor privado o los datos provenientes de productores públicos o privados se utilizan para elaborar mapas censales. Por ejemplo, la oficina de censos puede celebrar un acuerdo con una compañía privada de cartografía que absorbe parte del costo de la producción de mapas digitales para el censo. Esta compañía podrá recuperar su inversión solamente si se le otorga el derecho exclusivo de comercializar los datos geográficos (esto no será un problema cuando la oficina de censos compra los servicios de la compañía y todos los productos pasan a ser propiedad de dicha oficina).

3.108. Si se utilizan datos provenientes de otros organismos para producir mapas censales —como la oficina nacional de cartografía o las autoridades locales— en los mapas hay que aclarar en detalle los precios, los derechos de propiedad intelectual, la definición de la fuente y la información sobre los productores. Sobre todo, se deberían evitar conflictos sobre la propiedad intelectual, porque probablemente la oficina de censos requiera la colaboración de esos organismos para sus futuras actividades cartográficas.

3.109. En la mayoría de los países, el equilibrio entre el acceso más amplio posible a los datos censales y las presiones para recuperar parte del costo que implica su reunión significará un compromiso entre las dos posiciones extremas que se describieron antes. Por ejemplo, se pueden concertar acuerdos especiales entre distintos organismos públicos que deseen incorporar los datos de otros en sus productos. La oficina de censos puede acordar con el organismo nacional de cartografía la distribución de mapas digitales básicos de los caminos, ríos y demás a los usuarios de datos de SIG. Además, se pueden otorgar descuentos a los usuarios académicos y a otros usuarios que no tienen fines de lucro. Otra opción es ofrecer algunos productos genéricos en forma gratuita, y cobrar por los productos con valor agregado que necesitan más procesamiento.

3.110. En varios capítulos del libro de Rhind (1997) se narra la experiencia de los organismos nacionales de cartografía en cuanto a formulación de estrategias de propiedad intelectual y distribución de la información geográfica en un mundo digital. Onsrud (1992a y 1992b), Rhind (1992) y Onsrud y López (1997) examinan las ventajas y desventajas de las políticas de recuperación de los costos y de libre acceso en el contexto de las bases de datos espaciales.

iii. Cuestiones relativas a la responsabilidad

3.111. En varias ocasiones, los tribunales han dictaminado que se responsabilizará a los productores de los datos si los errores de la información geográfica provocan accidentes o perjuicios. Hasta ahora, la mayoría de los casos se ha tratado de accidentes debidos a información faltante o errónea en los mapas topográficos. Por ejemplo, Lynch y Foote (1997) dan ejemplos de accidentes aéreos o marítimos causados por información errónea en las cartas de navegación. El diseño y el contenido de los mapas dependen del uso previsto pero, a veces, los mapas se utilizan para fines que el productor no anticipó. Por ejemplo, adaptando un ejemplo utilizado por Lynch y Foote (1997), una oficina de censos podría publicar datos de las unidades informantes junto con una base de datos sobre las redes de calles. Como esta última información no es esencial para usar los datos censales, el control de su calidad puede haber sido mucho menos riguroso que si se la hubiera compilado para los itinerarios de servicios de emergencia. Si se usan estos datos imperfectos para estos fines no previstos por el productor, es muy probable que haya perjuicios.

3.112. Otro ejemplo relacionado con las cuestiones de responsabilidad que es muy pertinente en el contexto de la divulgación de los datos censales es la violación de la privacidad. Por lo general, la oficina de censos publica solamente datos agregados a un nivel que no revela información sobre una persona, un hogar o un grupo muy pequeño de personas. Si la oficina de censos vuelve a agregar los microdatos de varias zonas pequeñas, como las de empadronamiento, los distritos por código postal o los sanitarios o educacionales, es posible aislar información sobre grupos de personas más reducidos que el nivel menor de divulgación utilizando ciertas operaciones de SIG (véase la sección iv.). En algunos países, esto puede servir de base para que las personas en cuestión entablen acciones judiciales.

3.113. Es interesante subrayar que Johnson y Onsrud (1995) argumentan que la venta de datos de SIG y la limitación de los usos secundarios de estos datos pueden aumentar la responsabilidad del proveedor. El precio implicaría que éste garantiza que el material no tiene errores y se ajusta a los fines previstos. Por el contrario, los datos de dominio público protegerán al organismo de estas demandas.

3.114. Por lo tanto, antes de distribuir datos con referencia espacial, la oficina debe consultar a expertos jurídicos y redactar un descargo de responsabilidad que acompañe los productos e incluya los siguientes puntos (véase también ESRI, 1995):

- Una declaración de que se considera que la información es exacta en la fecha de reunión y que se obtuvo de fuentes confiables, pero que no se puede garantizar la exactitud;
- Una advertencia de que la información puede modificarse y una notificación de los cambios ocurridos;
- Una aclaración si un organismo externo creó alguna parte de la base de datos geográficos;
- Una mención de que el uso de los datos implica la aceptación de los descargos de responsabilidad y de los acuerdos.

iv. Consideraciones sobre la privacidad de los datos: el problema de la diferenciación en la divulgación de información estadística

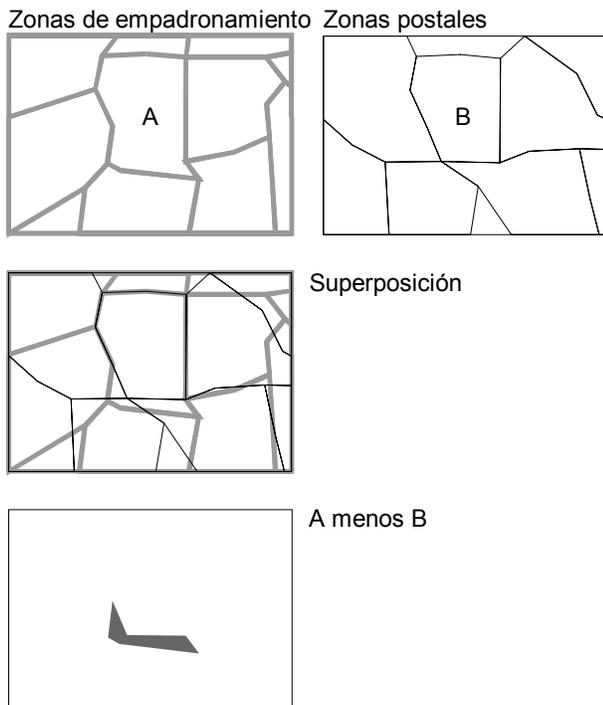
3.115. Varios organismos públicos y usuarios externos pueden necesitar datos censales de diferentes conjuntos de unidades geográficas pequeñas. Por ejemplo, algunos organismos utilizan las zonas postales o sanitarias como principales unidades informantes. Para satisfacer las necesidades de estos usuarios, la oficina nacional de censos podría distribuir la información de varios conjuntos de zonas geográficas pequeñas cuyos límites son independientes. Si se publican los límites y los cuadros de datos de dos o más conjuntos de zonas, el usuario podría utilizar operaciones de SIG y manipular el cuadro para derivar estadísticas censales de zonas geográficas muy pequeñas. Los conteos del censo para estas unidades nuevas pueden no alcanzar el umbral de divulgación de la oficina, un problema que se denomina de diferenciación de la divulgación de información estadística (véase Duke-Williams y Rees, 1998).

3.116. Este problema no se plantea cuando los límites se superponen de manera irregular, a menos que una de las zonas de superposición tenga valores cero. En la mayoría de los casos, el usuario no puede estar seguro de que un valor cero es realmente correcto, porque la mayor parte de las oficinas de censos utilizan la perturbación o la codificación amplia (dar un intervalo como “<10” en lugar del valor pequeño exacto) para evitar que se deriven las características exactas de grupos reducidos de personas en zonas de poca población.

3.117. Pero puede surgir el problema de la diferenciación si una zona de un conjunto de zonas geográficas se superpone con una de otro conjunto, y el usuario tiene cuadros de datos de ambos conjuntos. Por ejemplo, la zona postal B en el gráfico III.3 se superpone con la zona de empadronamiento A. Si se superponen los dos conjuntos de límites, se puede determinar la

zona geográfica que está en A pero no en B. Usando los cuadros de datos, es posible derivar datos censales de las personas de esta pequeña zona, simplemente restando los conteos de la zona B y los de la zona A, y es muy probable que la cifra obtenida no cumpla con los umbrales de divulgación aun cuando los conteos de cada zona por separado lo superen.

Gráfico III.3. El problema de la diferenciación en la divulgación de información estadística



3.118. Para evitar problemas de divulgación de los datos, la oficina de censos debería revisar minuciosamente los límites de otras geografías censales. En los casos en que podría haber diferenciación, hay que tomar otras medidas de protección. Duke-Williams y Rees (1998) analizan el problema en detalle y, sobre la base de sus experimentos, dan algunas recomendaciones para solucionarlo:

- Usar los niveles de umbrales mínimos para los cuadros. Es posible proteger más los datos introduciendo perturbaciones leves de sus valores en zonas muy pequeñas, o utilizando intervalos antes que valores exactos para conteos pequeños. Esto reducirá el riesgo que conlleva publicar los datos censales de más de un conjunto de unidades pequeñas.
- La geografía censal principal que se elija para la distribución debe ser en general lo más útil posible. Por ejemplo, si la mayoría de los organismos del país utilizan zonas administrativas pequeñas

como su referencia primaria, hay que publicar los datos censales de esas unidades.

- El riesgo que entraña publicar otras geografías cuyas zonas son mucho más grandes que las unidades censales primarias es muy pequeño. Aun si puede haber diferenciación en estos casos, no es probable que los conteos resultantes sean inferiores al umbral de seguridad.
- Si dos geografías censales de aproximadamente la misma resolución son muy similares —es decir, si muchos límites son los mismos— habrá más riesgo de que sea posible la diferenciación que en el caso de límites muy diferentes.

f) Comercialización de los productos cartográficos digitales

3.119. En los países en que se procura recuperar parte de los costos del desarrollo de las bases de datos censales de SIG y hay mucha demanda comercial de datos estadísticos de zonas pequeñas, se podría explorar la posibilidad de celebrar un acuerdo de comercialización con un proveedor privado de datos, que puede ser un distribuidor local de los productores de los principales programas de SIG. La mayoría de éstos producen y venden conjuntos de datos de SIG sobre muchos temas, lo que en parte es otra fuente de ingresos y en parte una forma de facilitar el uso de sus productos informáticos por medio de la oferta de conjuntos de datos en el formato de esos programas. Estos proveedores privados a veces colaboran con institutos nacionales de cartografía y estadística para producir bases de datos de SIG diseñadas profesionalmente.

3.120. Para la oficina nacional de estadística, esto tiene algunas ventajas. Los proveedores de programas y datos pueden aportar conocimientos técnicos y posiblemente recursos informáticos al desarrollo del programa de distribución de la base de datos de SIG, a cambio de un porcentaje de los ingresos de las ventas. Los proveedores internacionales también pueden aumentar la distribución de datos de SIG nacionales. La demanda en otros países puede provenir de compañías que operan internacionalmente o de académicos que estudian el país.

3.121. Un problema que puede surgir cuando se trabaja con un proveedor de programas comerciales es que puede querer distribuir los datos solamente en su propio formato. La oficina de censos debe asegurarse de que los usuarios que deseen utilizar otro formato también puedan tener acceso a los datos. Ya se han mencionado las desventajas de la distribución comercial. Si se asignan derechos de comercialización a una compa-

ña privada, la oficina de estadística no puede distribuir datos sin cargo o a un costo muy bajo. Si el objetivo es lograr que la distribución sea lo más amplia posible, es preferible desarrollar y distribuir las bases de datos internamente.

3.122. Otros posibles asociados son las universidades u otros departamentos públicos que divulgan información. En todos los casos, hay que concertar un acuerdo claro de comercialización y distribución de las ganancias para evitar problemas más adelante. La oficina de censos debe evaluar minuciosamente el valor de mercado de sus datos en relación con los costos de producción, publicidad y venta, para asegurarse que la asociación —pública-pública o pública-privada— se basará en un acuerdo justo y beneficioso para ambas partes.

g) *Actividades de extensión*

3.123. Sería conveniente que la oficina nacional de estadística elaborase un plan de extensión para asegurarse de que la mayor cantidad posible de gente sepa que los datos están a su disposición, y para que haya una distribución generalizadas de estos datos censales georreferenciados. Parte de este plan podrían ser folletos impresos y carteles con los mapas del censo, que se podrían distribuir a todas las escuelas, universidades, empresas comerciales y oficinas públicas nacionales y locales.

3.124. La oficina de censos también podría organizar una serie de seminarios regionales para los usuarios de todo el país. En estos seminarios, el personal de la oficina puede explicar a muchos usuarios potenciales cómo se utilizan los programas cartográficos gratuitos o de bajo costo para el análisis de los datos censales.

5. Atlas digitales de los censos

3.125. Mientras que una base de datos de SIG más genérica está orientada a usuarios que tienen una formación considerable en estos sistemas, un atlas digital del censo está dirigido al público en general, escuelas y otros usuarios sin experiencia. En los párrafos siguientes se consideran dos métodos para producir atlas digitales de los censos. Un atlas estático consta de un conjunto de mapas y otros materiales que ha preparado la oficina de censos; esencialmente, se trata de una presentación en la que el usuario puede cambiar el orden de aparición del contenido pero no puede modificarlo. En cambio, un atlas dinámico combina una base de datos de SIG y datos censales en un programa de cartografía sencillo. El usuario puede utilizar los datos para producir mapas de acuerdo a sus necesidades, los puede imprimir o copiar a otras aplicaciones.

a) *Atlas censales estáticos*

3.126. Un atlas estático puede contener mapas, cuadros, gráficos, y posiblemente también productos multimedia como fotografías o películas, en un entorno atractivo y de fácil utilización y la presentación puede hacerse en un programa informático corriente; algunos de presentación de gráficos permiten producir una versión independiente que se puede distribuir junto con otros programas gratuitos que permiten visualizarlos. La mayoría de las presentaciones o gráficos también se pueden exportar al formato PDF, que puede distribuirse en medios informáticos o por Internet. Los mapas se pueden producir en un programa de cartografía e incorporar al de presentación usando un formato de intercambio o simplemente los comandos cortar y pegar de Windows.

3.127. Otra plataforma de presentación es un buscador de Internet. La mayoría de los usuarios de computadoras tienen uno que se puede usar para visualizar archivos en la computadora o remotos. Los mapas y cualquier otro contenido gráfico se puede incluir como imágenes en formato GIF o JPEG, que se pueden producir a partir de mapas de SIG.

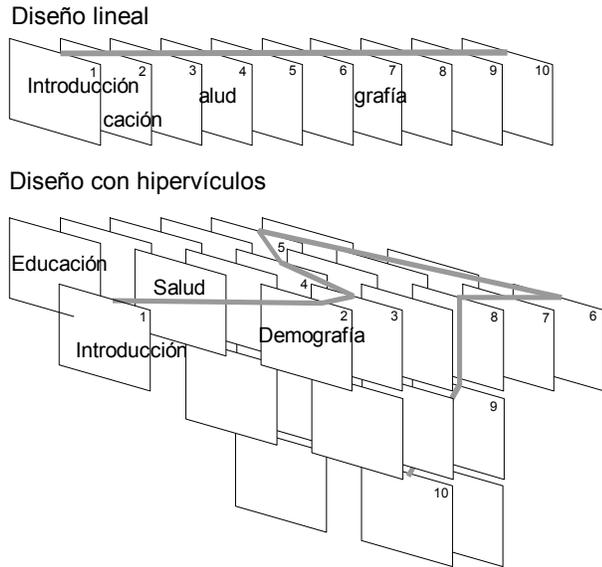
3.128. El diseño de la presentación puede ser lineal. El usuario ve una serie de mapas y gráficos que están dispuestos de modo de reflejar una secuencia coherente. Este diseño es adecuado cuando se trata de presentaciones relativamente cortas, pero para una secuencia larga, será poco conveniente para el usuario tener que ver muchas imágenes con material que posiblemente no le interese.

3.129. La mayoría de los programas de presentación tienen una opción de diseño más adecuada que se basa en los hipervínculos, que permiten saltar entre las diferentes secciones de la presentación. También permiten integrar otras fuentes e información que sólo interesan a unos pocos usuarios. Por ejemplo, en una página que muestra un mapa de la proyección de la población de los distritos, se puede agregar un vínculo a un estudio metodológico que explique los supuestos de la proyección.

3.130. En el gráfico III.4 se ilustra el concepto de hipervínculo y se lo contrasta con el de diseño lineal. En el diseño con hipervínculos se presentan varios temas paralelos, interconectados mediante vínculos según sea adecuado. Por ejemplo, las tres secuencias o capítulos paralelos que siguen a la página de la introducción (1) podrían tratar de indicadores de educación, salud y demografía. El usuario puede seguir un camino —indicado en el gráfico con la línea gris— comenzando por demografía (2), donde una de las imágenes (3) muestra un mapa, cuadros y gráficos de la proporción

de la población de menos de 15 años. Desde aquí, podría haber vínculos hacia mapas que muestren indicadores de la salud infantil (4), los centros educativos (5) y así sucesivamente.

Cuadro III.4. Opciones para la presentación de un atlas digital de un censo



3.131. Este método requiere un diseño muy cuidadoso de la presentación, pues es muy fácil que los usuarios se pierdan después de seguir una cierta cantidad de vínculos. Es importante incluir instrumentos claros de navegación en cada página. Wurman (1997) presenta un interesante panorama del diseño de la información que utiliza estos conceptos.

3.132. Todos los que hayan usado la Red mundial (world wide web) estarán familiarizado con los hipervínculos. De hecho, en lugar de utilizar un programa de presentación, un atlas estático también se puede aplicar en el lenguaje HTML del buscador de Internet. Los instrumentos de diseño de páginas Web ofrecen bastante flexibilidad para el diseño de la base de datos del censo. Un instrumento que puede hacer que la presentación sea más interesante, por ejemplo, es un mapa sobre el que se pueda hacer click. La primera pantalla podría mostrar un mapa general del país, con instrucciones para hacer click en la provincia de interés para obtener mapas más detallados en el nivel subnacional. La tecnología de la Red también permite incluir contenidos multimedia y vínculos con información que no está incluida en la presentación, por ejemplo a otras partes de la página Web de la oficina de censos o a otros organismos gubernamentales, que pueden ver los usuarios con acceso a Internet.

3.133. Una ventaja de utilizar los instrumentos de diseño de la Red es que el mismo atlas estático puede distribuirse en CD-ROM o disquete, y se puede ubicar en la página Web de la oficina de censos para los usuarios de todo el mundo. En la sección 6 se describen aplicaciones cartográficas de Internet más avanzadas.

b) Atlas dinámicos de censos

3.134. Además de un atlas estático, se puede publicar un mapa y una base de datos digital, junto con los programas de cartografía que permiten producir mapas de indicadores censales según las necesidades del usuario. Es evidente que para esto el usuario necesitará tener ciertos conocimientos de cartografía. Un atlas dinámico de un censo incluirá archivos de límites digitales con menor resolución que toda la base de datos, para que se pueda dibujar con velocidad sin ocupar mucho el disco. El cuadro de atributos, estrechamente integrado, debe contener solamente unos pocos indicadores seleccionados. Las densidades y los coeficientes que son adecuados para la cartografía se deben haber calculado con anterioridad.

3.135. Este método satisfará las necesidades de los usuarios que no tienen los conocimientos técnicos ni la experiencia en SIG que se necesitan para hacer uso de toda la base de datos censales de SIG, pero que desean más flexibilidad para explorar y utilizar la información geográfica del censo que la que se tiene con un atlas estático ya programado.

3.136. Desde luego, el problema es que estos usuarios pueden no disponer de un programa de SIG que cree mapas. Entonces, se les debería proveer, junto con los límites y los datos, un programa de fácil utilización, que no requiera demasiada formación ni experiencia. Esencialmente, esta aplicación debería ser directa: después de la instalación el usuario debería poder crear mapas de inmediato.

3.137. Algunas oficinas de censos han diseñado programas de visualización internamente y los distribuyen con sus productos censales. Pero el mantenimiento de estos programas es costoso y compromete recursos que podrían dedicarse al desarrollo o la difusión de los datos. Algunos proveedores de SIG han comenzado a vender instrumentos que se pueden combinar para producir aplicaciones personalizadas o para integrar las funciones de SIG a otros programas (por ejemplo, a aplicaciones de planillas o de bases de datos).

3.138. Otra opción son los distintos programas de cartografía sin cargo que se pueden distribuir con una base de datos. Uno de ellos es el PopMap, desarrollado por el Software Development Project (Proyecto de desarro-

llo de programas informáticos) de la División de Estadística la Secretaría de las Naciones Unidas, con recursos del Fondo de Población de las Naciones Unidas. PopMap es un programa de cartografía orientado hacia las aplicaciones demográficas, aunque naturalmente se le puede agregar cualquier otra información. El sistema tiene opciones de ingreso de datos geográficos (digitalización y dibujo), una interfaz en forma de planilla para manipular los datos de los atributos y muchas funciones cartográficas. El programa está dirigido a usuarios que no son expertos en SIG y se puede aprender fácilmente.

3.139. PopMap fomenta el desarrollo de bases digitales de datos censales geográficos para su distribución mediante su módulo independiente de cartografía. La oficina de censos puede producir un atlas digital, combinarlo con los programas de cartografía y distribuir el producto resultante a cualquier usuario que esté interesado, sin cobrar derechos. Un ejemplo de aplicación es el atlas digital que produjo la Oficina Nacional de Estadística de Uganda (véase el recuadro III.1).

Recuadro III.1. El atlas del censo de Uganda

3.140. En Uganda, se realizó un censo de población y vivienda en 1991. Una vez que se procesaron los datos, la oficina de censos decidió producir un atlas digital, con apoyo y capacitación por parte del Proyecto de Desarrollo de programas informáticos de la División de Estadística de las Naciones Unidas^a. Con una computadora personal estándar, un digitalizador de 12 x18 pulgadas, una impresora color y el programa PopMap, dos funcionarios, con la ayuda de un consultor técnico, produjeron mapas digitales de 38 distritos, 163 condados y 809 subcondados. Para cada unidad informante, se compiló una selección de 36 variables, que se integraron con los mapas. Para algunos indicadores, había datos de 1969 y de 1980, lo que permitió un análisis de la variación en el tiempo.

3.141. El atlas del censo se completó en menos de 12 meses. La oficina de censos produjo una guía integral para el usuario y distribuyó el atlas a las autoridades nacionales y locales, y a usuarios privados. Con pocos recursos, la oficina de censos logró una salida provechosa para los datos del censo, además de los volúmenes que se imprimieron.

^a Véase Vu y otros (1994).

3.142. Algunos proveedores comerciales de SIG también ofrecen los programas de visualización sin cargo y permiten que los usuarios distribuyan gratuitamente estos sistemas sencillos. Un ejemplo es el programa ArcExplorer, producido por ESRI Inc. de Redlands, California. ArcExplorer es una interfaz de cartografía para datos creados con los programas de SIG Arc/Info y ArcView. A diferencia de PopMap, el sistema no tiene opciones de entrada de datos; sólo sirve para mapas.

3.143. La interfaz ArcExplorer es fácil de usar y el sistema tiene funciones cartográficas básicas para producir mapas temáticos que se pueden exportar como mapas de bits o como metarchivos de Windows. ArcExplorer puede leer datos del disco duro local o de un CD-ROM. En las computadoras conectadas a Internet, también puede mostrar datos que residen en sitios remotos. Las funciones analíticas son limitadas, pero el sistema permite diferentes tipos de consultas —interactiva o utilizando comandos tipo SQL— y la comparación de direcciones.

3.144. La documentación de un atlas dinámico debe incluir casi la misma información que debe acompañar a una base de datos de SIG más amplia, pero hay que diseñar el texto pensando en los usuarios no expertos. Hay que evitar utilizar la jerga técnica de SIG. Como no es muy probable que los usuarios utilicen la base de datos para aplicaciones demasiado avanzadas, la documentación debe centrarse en la información sobre los atributos antes que en los detalles geográficos técnicos.

6. Cartografía por Internet

3.145. Muchas oficinas nacionales de estadística usan la Red (World Wide Web) como medio de divulgación de información y datos. Las páginas Web varían de simples listas y cuadros de los resultados de los censos hasta interfaces sofisticadas de consulta, donde el usuario puede pedir tabulaciones cruzadas especiales.

3.146. Internet también es un medio adecuado para presentar y distribuir información geográfica. La opción más simple es presentar imágenes estáticas producidas por la oficina de estadística. Por ejemplo, se pue-

de producir una serie de mapas que muestren las variables censales con un programa sencillo. La mayoría de los programas permiten guardar mapas en formato de imagen estándar como GIF o JPEG. Estas imágenes se pueden luego integrar a páginas Web, como cualquier otro gráfico o fotografía. Estos sitios pueden ofrecer acceso a información útil, pero no permiten la manipulación de los datos ni la producción de mapas personalizados de zonas geográficas específicas. En las secciones siguientes se presta especial atención a los métodos que permiten un grado considerable de interacción con la base de datos.

3.147. Plewe (1997) (véase también ESRI, 1997) examina exhaustivamente las opciones cartográficas de Internet. Foote y Kirvan (1997) presentan un panorama más conciso. Como la tecnología de Internet cambia velozmente, es posible encontrar la información más actualizada en los sitios Web de los principales proveedores de programas de SIG, cuyos productos se analizan periódicamente en las publicaciones de SIG.

3.148. La mayoría de las compañías de programas de SIG y de cartografía han desarrollado instrumentos independientes de la plataforma para la cartografía por Internet que hacen uso de los protocolos estándar de intercambio de datos. Permiten que la oficina de estadística ubique información geográfica en un servidor y que los usuarios obtengan un mapa de estos datos, o los consulten en forma interactiva utilizando buscadores estándar. Los usuarios de Internet tienen así acceso a las aplicaciones de SIG sin tener que comprar programas patentados. Cualquier dato que se pueda almacenar o manipular en un SIG se puede distribuir de este modo—incluidos los mapas en vectores, las imágenes en cuadrícula y los cuadros de datos.

3.149. Los programas de cartografía basados en Internet también son un medio útil para que el personal de la oficina de estadística tenga acceso a los datos espaciales por medio de una intranet. Antes que comprar licencias de programas comerciales de SIG que se funcionan desde un servidor central, el personal obtiene la información geográfica mediante sus programas de búsqueda.

3.150. Hay tres opciones principales para implementar la cartografía por Internet:

- En los métodos basados en el servidor, el usuario envía un pedido de un mapa a un servidor que tiene la base de datos. Los programas de cartografía del servidor procesan el pedido, producen un mapa—por ejemplo, en formato GIF—y lo envían de nuevo al usuario.

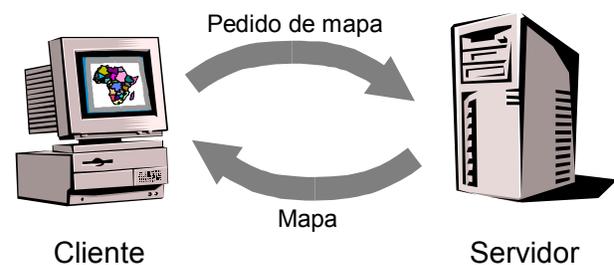
- En los métodos basados en el cliente, en cambio, el usuario (cliente) realiza la mayoría de las tareas de procesamiento en su computadora.
- Por último, los métodos híbridos combinan los dos métodos anteriores.

a) Métodos basados en el servidor

3.151. En estos métodos, que a veces se denominan arquitectura “cliente menor/servidor principal”, el servidor, ubicado en la oficina que distribuye los datos, realiza la mayor parte de las tareas de procesamiento. Es similar a la estructura de la computadora central tradicional, que maneja la gestión, almacenamiento y procesamiento de los datos para una cierta cantidad de usuarios que están conectados por medio de terminales.

3.152. El principio de un método de este tipo se resume en el gráfico III.5. El usuario se conecta a un sitio Web y solicita un mapa. Las especificaciones definidas por el usuario incluyen la región geográfica de interés que se indica por su nombre,—por ejemplo el del distrito, o mediante las coordenadas que forman un rectángulo limítrofe— la variable que se quiere trazar, el método de clasificación y de colores, y otras capas de datos que proporcionan el contexto, como los caminos, los ríos o los límites administrativos.

Gráfico III.5. Cartografía por Internet – el método basado en el servidor



3.153. El pedido del usuario va al servidor vía Internet y es dirigido a un programa de SIG, que puede estar en el servidor o en otra computadora conectada a él. Puede ser un programa comercial o confeccionarse especialmente, sobre la base de módulos de programas que se venden comercialmente. El programa de cartografía entra a las bases de datos que necesita, produce el mapa y lo envía al usuario como una página Web. Generalmente, los mapas se envían como gráficos estándar, como GIF o JPEG, porque los buscadores Web no manejan formatos vectoriales. Si el usuario desea modificar el diseño del mapa, se envía un nuevo pedido al servidor.

3.154. Las ventajas de esta estrategia son:

- No es necesario tener una computadora poderosa para ingresar a bases de datos posiblemente enormes. Hasta los procedimientos de SIG bastante complejos, como la comparación de direcciones o los itinerarios por la red, se pueden realizar con rapidez si el servidor es poderoso. Todo lo que necesita el usuario es un buscador básico y una conexión a Internet.
- Los tamaños de los archivos de mapas en formatos comprimidos son mucho más pequeños que la base de datos que habría que transferir en las aplicaciones basadas en el cliente.
- Se mantiene la integridad de los datos porque el usuario no puede manipular la base. Además, el usuario siempre puede obtener la información más reciente.
- El proveedor tiene más control de lo que se puede ver y cómo se ve. Las opciones de diseño cartográfico pueden establecerse previamente para asegurar que hasta los usuarios inexpertos obtengan mapas aceptables.

3.155. Las desventajas son:

- Cada cambio en la especificación de un mapa es un pedido nuevo. Hasta los cambios pequeños en la región geográfica (agrandar una parte) deberán pedirse especialmente.
- En el caso de los servidores con mucha actividad, los pedidos repetidos se ejecutarán con lentitud cuando hay mucho tráfico en la red.
- No se utilizan los recursos de procesamiento de la computadora del usuario.

b) Métodos basados en el cliente

3.156. Estos métodos –arquitectura de cliente principal— transfieren gran parte del procesamiento necesario a la computadora del usuario. El servidor sirve principalmente para contener la base de datos y enviar al usuario las partes que pidió, posiblemente junto con módulos de mapas. Hay dos variantes de este método.

3.157. En la primera, la computadora del usuario no tiene ningún tipo de capacidad cartográfica. Después de que el usuario presenta su pedido, el servidor envía los datos geográficos y un pequeño programa o “applet” que permite el análisis cartográfico o geográfico (véase el gráfico III.6). Un applet es un programa independiente de la plataforma escrito en lenguaje de programación Java y que se puede ejecutar en los buscado-

res Web estándar. El usuario puede entonces trabajar con los datos con independencia del servidor, no hay necesidad de hacerle nuevos pedidos para ver las diferentes capas de mapas u otros diseños cartográficos.

Gráfico III.6. Cartografía por Internet – el método basado en el cliente



3.158. La otra variante consiste en una conexión a un programa de cartografía, applet o buscador instalada en la computadora del usuario, que es un programa que amplía la capacidad del buscador de Internet, por ejemplo para permitirle mostrar archivos de un formato determinado. La ventaja de este método es que no hay que descargar el programa de cartografía cada vez que el usuario ingresa al servidor.

3.159. Las ventajas del método basado en el cliente son:

- Una vez que descargó los datos y los programas, el usuario no tiene que volver a comunicarse con el servidor. Se pueden elaborar mapas o realizar análisis fuera de línea.
- Se pueden utilizar los recursos de la computadora del usuario, lo que hace que el procesamiento sea más rápido.
- El usuario tiene más flexibilidad y libertad de análisis y visualización de los datos espaciales.

3.160. Las desventajas son:

- Los archivos de datos y de programas pueden ser muy grandes y requerir una conexión a Internet muy rápida.
- Es probable que los usuarios que tienen computadoras poco potentes no puedan ejecutar tareas cartográficas o de análisis más complejas.
- Los usuarios que no tienen mucha capacitación en SIG o en geografía no podrán aprovechar la flexibilidad del método basado en el cliente.
- Este método puede permitir a los usuarios guardar los datos geográficos sin procesar que piden al servidor en su computadora, lo que constituye un

problema si algunos o todos ellos están protegidos por derechos de propiedad intelectual.

c) Métodos híbridos

3.161. Los métodos basados en el servidor sirven para que un público numeroso y con poca capacitación tenga acceso a mapas relativamente sencillos y serían muy adecuados para presentar los mapas censales al público en general. Los métodos basados en el cliente son preferibles para la intranet, que tiene menos usuarios con conocimientos bastante amplios de SIG y cartografía que utilizan bases de datos complejos. Serían adecuados para que el personal de oficina de censos tenga acceso interno a los datos de SIG.

3.162. Los métodos híbridos combinan las ventajas de los otros dos. Ofrecen flexibilidad para realizar consultas y manipular los mapas en el lugar, pero transfieren al servidor la mayor parte de la carga de procesamiento cuando se trata de análisis complejos, lo que exige cierto grado de comunicación entre el cliente y el servidor en cuanto a la capacidad de procesamiento disponible.

d) Oportunidades de distribución de los datos censales

3.163. Los programas de cartografía que se consiguen hoy en Internet se pueden poner en escala. Los proveedores de datos pueden comprar un programa que trabaja con conjuntos de datos estándar. Como la elaboración de mapas a partir de datos censales es una aplicación bastante común, las oficinas nacionales de estadística no tendrían mucho problema en encontrar una solución adecuada. En el caso de aplicaciones más complejas, es posible obtener módulos de programas que permitan al proveedor diseñar especialmente la interfaz del servidor cartográfico.

3.164. En los próximos años, es muy probable que las posibilidades de los programas cartográficos de Internet aumenten notablemente. Si la capacidad de las redes es mayor, se podrán transferir a los usuarios conjuntos de datos y módulos de programas más grandes, y se podrá atender simultáneamente a un mayor número de usuarios. Los problemas inherentes a los dos métodos examinados deberían solucionarse con conexiones más rápidas a Internet. Las computadoras de los clientes podrán comunicarse frecuentemente y sin demora con los servidores, lo que permitirá el cumplimiento casi instantáneo de los pedidos. Además, deberían disminuir las limitaciones en cuanto al tamaño de los conjuntos de datos que pueden distribuirse.

3.165. Mientras que los programas actuales de cartografía de Internet habitualmente crean imágenes GIF

que el usuario puede guardar, es probable que los programas futuros también permitan que el usuario descargue información vectorial si su sistema tiene esta capacidad. Evidentemente esto tiene repercusiones en lo que respecta al derecho de propiedad intelectual de los datos. Si la oficina de censos cobra por los datos geográficos digitales, también se podrá cobrar el acceso a un servidor de Internet cartográfico que envíe datos vectoriales.

3.166. En el caso de los datos del censo, el mejor método de acceso y estrategia de distribución por Internet dependerá de los medios y de los conocimientos técnicos del usuario. Un sistema flexible debe proporcionar servicios a cualquier nivel de usuario:

- “Usuarios potentes”, que desean obtener toda la base de datos para usarla en su propia computadora con programas comerciales de SIG. Se abastecen por medio de métodos convencionales de distribución de datos como la compra de CD-ROM o la descarga de Internet de conjuntos de datos “brutos” de SIG;
- Usuarios activos con algo de conocimientos de SIG, pero que no tienen estos recursos en sus computadoras. Desean descargar partes de la base de datos, junto con módulos de programas de SIG (applets) que puedan realizar las tareas requeridas;
- Usuarios pasivos, que simplemente quieren obtener un mapa ya diseñado. El servidor ejecuta el pedido del usuario y la información se le envía por Internet en un formato adecuado —por ejemplo, archivos de imágenes en cuadrícula o postcript para los mapas y archivos de planillas o archivos de bases para los datos.

3.167. Un sistema flexible de distribución de los datos del censo por Internet podría tener las siguientes características:

- Los usuarios determinan el alcance geográfico de la región de interés, para descargar los datos o simplemente pedir un mapa. Esta región se puede especificar usando cualquiera de las siguientes formas de ubicación geográfica:
 - El nombre de la región que puede ser, por ejemplo, una ciudad, un distrito o una provincia;
 - Un rectángulo determinado por medio de coordenadas geográficas;
 - Una especificación interactiva de un usuario con funciones de búsqueda y de aumento. Por ejemplo, la interfaz puede comenzar con un

mapa del país. Luego, el usuario puede centrarse en una región y elegir la zona específica dibujando un rectángulo o polígono en la pantalla. A medida que aumenta la zona, podrán verse más detalles. Al comienzo, el mapa solamente muestra los límites del país y de las provincias. Al centrarse en una provincia, podrán verse los límites de los distritos y la ubicación de las ciudades. Si se elige una ciudad en especial, se podrán ver las calles principales y los límites del empadronamiento urbano. El nivel de detalle que se muestra está determinado por la escala del mapa que corresponde al alcance del mapa en la pantalla del usuario;

- La definición de una región por medio de una consulta geográfica. Por ejemplo, un usuario comercial que necesita información acerca de las características demográficas de sus posibles clientes podría solicitarla para una zona circular de 5 km de radio alrededor del centro de compras. Un organismo público de planificación puede solicitar datos acerca de la población que vive a una distancia de hasta 5 km de una autopista proyectada;
- El usuario especifica las variables que le interesan y el tipo de producto que desea: mapas, para los que puede especificar diseños cartográficos básicos como la cantidad de categorías, el tipo de clasificación y los colores o un cuadro simple de datos que muestre las variables seleccionadas de la región que interesa. El usuario también especifica si necesita una base de datos y módulos de consulta y análisis, o si desea obtener un mapa o una base de datos;
- El servidor interpreta el pedido del usuario y crea el subconjunto correspondiente de la base de datos. Para las regiones especificadas por su nombre, esto significará simplemente una selección lógica de, por ejemplo, todas las zonas de empadronamiento dentro de un distrito determinado. Para las zonas que no se ajustan a la jerarquía geográfica estándar del censo, se necesita más procesamiento. En algunos países, es posible conseguir, o se están desarrollando actualmente, bases de datos de SIG de las unidades de vivienda, donde cada una se asocia con una coordenada geográfica. Un SIG en el servidor puede luego compilar una tabulación especial seleccionando todos los hogares dentro de la zona que definió el usuario. Cuando esto no es posible, el SIG debe realizar una interpolación de zonas, usando técni-

cas como las que se describen en la sección D que sigue;

- El resultado de la consulta se devuelve al usuario en forma de datos básicos que pueden manipularse usando applets de SIG, o en forma de mapa o de un informe de base de datos que el usuario puede usar directamente. Además de la base de datos o los mapas, tiene que haber también documentación sobre los datos y cualquier otra información pertinente.

3.168. Estos servicios podrán ser gratuitos o con cargo, según las políticas de distribución de datos que tenga cada país. Los pedidos de información básica que ya está compilada podrían ser gratuitos, mientras que se podría cobrar por los pedidos más complejos.

3.169. Hay que tener en cuenta el tema de la privacidad de los datos si las tabulaciones personalizadas se basan en microdatos. Las cuestiones relativas a la seguridad en Internet son tan importantes en la gestión de los datos censales en redes como lo son en las aplicaciones comerciales de Internet. Por lo tanto la red interna que da acceso a los microdatos del censo debe estar separada (firewall) del dominio de Internet que dan acceso a usuarios externos a los datos agregados.

3.170. Evidentemente, la interfaz de distribución de datos descrita es muy ambiciosa. Necesita rápidas conexiones a Internet y sólo puede llegar a una gran cantidad de usuarios si la mayoría de los hogares, empresas y organismos públicos tiene acceso a Internet. En muchos países esto no sucede todavía, pero si se tiene en cuenta la velocidad con que se difunde la tecnología, muchos países podrán satisfacer la mayoría de los pedidos por Internet en un futuro próximo. Algunas oficinas de censos están poniendo en práctica estrategias de distribución de datos que incluyen algunos de los elementos aquí descritos. Un ejemplo es el Data Access and Dissemination System (DADS, Sistema de acceso y distribución de los datos), conocido como la “enciclopedia norteamericana” del censo de 2000 de los Estados Unidos. Según los planes de diseño del DADS de la Oficina de Censos de los Estados Unidos, la geografía es el principio integrador de los datos, pues se utilizan zonas geográficas estándar y no estándar basadas en centroides o coordenadas, según sea adecuado.

D. Temas avanzados: análisis geográfico de los datos del censo

1. Definición y demarcación de las zonas urbanas

3.171. Las definiciones de las zonas urbanas, en comparación con las rurales, varían mucho de un país a otro (véase Naciones Unidas, 1993). La forma más habitual de definir las zonas urbanas es usar un umbral de población para clasificar las ciudades y los poblados como asentamientos urbanos o rurales. El umbral puede ser de apenas 300 habitantes, o de hasta 5.000. Con frecuencia también se emplea una definición funcional de asentamiento urbano. Se clasifica una ciudad como urbana si cumple ciertas funciones administrativas, educativas y comerciales en una zona circundante.

3.172. En algunos casos, también será útil obtener una demarcación más general de las zonas urbanizadas. Si se utilizan las unidades administrativas como base para la clasificación urbana/rural, puede suceder que se clasifiquen distritos muy grandes como urbanos incluso si contienen zonas agrícolas o forestales de importancia, además de una ciudad. En consecuencia algunos países producen una demarcación más precisa que agrupa solo las zonas que están densamente pobladas y donde la mayoría de los habitantes no tiene la agricultura como actividad primaria. Las regiones resultantes se denominan zonas urbanizadas o distritos densamente poblados u otras variaciones.

3.173. Si se dispone de una base de datos integral de las zonas de empadronamiento, las funciones de SIG pueden ayudar a diseñar estas zonas. Ooishi y otros (1998), por ejemplo, describen un sistema automatizado usado en Japón que agrupa sectores básicos —la zona más pequeña para la que se compilan datos— en regiones más grandes. El sistema, que se aplica en un programa de SIG estándar, utiliza una cierta cantidad de criterios definidos sobre la base de un umbral de densidad de población y un requisito de contigüidad. El umbral se utiliza para determinar si una zona circundada por sectores densamente poblados debe incluirse o no. Después de agregar los sectores en distritos densamente poblados, se pueden producir cualquier cantidad de estadísticas resumidas de estas zonas, que se pueden publicar como cuadros o como mapas. Los mapas de estas regiones correspondientes a dos censos pueden mostrar aumentos o disminuciones en las zonas urbanizadas.

3.174. Es posible recurrir a un enfoque más morfológico de la demarcación de zonas urbanizadas cuando se tienen fotografías aéreas o imágenes satelitales de las zonas con mayor densidad de población del país. Si estas imágenes son digitales, las zonas urbanas se pueden demarcar trazando el límite entre las zonas edificadas y

agrícolas, la sabana o los bosques. Luego, se pueden derivar estadísticas de estas zonas superponiendo las zonas de empadronamiento y agregando los datos de todas las que están dentro de la zona urbanizada, o usando alguna forma de interpolación, como se describe en la sección anterior.

2. Conciliación de las estadísticas de las zonas pequeñas con información similar de censos anteriores

3.175. Los censos dan información sobre la situación demográfica y social de un país en un momento determinado, pero si se quiere saber si ha habido cambios en el país, hay que relacionar los datos del censo actual con información de los anteriores. Esto se hace habitualmente con los indicadores agregados a nivel nacional y quizá para alguna subdivisión geográfica grande y relativamente estable, como los estados o las provincias. Sin embargo, las oficinas locales y los usuarios privados también se podrían beneficiar de la información sobre los cambios a nivel local.

3.176. Lamentablemente, los límites administrativos y censales cambian con el tiempo. Cuanto menor es el nivel de agregación, es decir, de provincia a distrito a circunscripción a zona de empadronamiento, más cambios habrá entre los censos. Para crear series temporales de datos de zonas pequeñas, mapas de las variaciones a nivel local, o estadísticas resumidas, hay que conciliar los límites y los datos de dos o más censos. En los siguientes párrafos se describen dos formas de hacerlo.

a) *Agregación de zonas de empadronamiento anteriores a los nuevos límites de los distritos*

3.177. La tarea es relativamente sencilla si hay un conjunto de límites idénticos en los dos censos, es decir, un “mínimo común denominador”. Por ejemplo, en el censo más reciente, pueden haber cambiado solamente los límites de los sectores censales, pero no los límites de la circunscripción o de los subdistritos. Los datos de población de los subdistritos se pueden comparar agregando simplemente los datos de los sectores. Pero es posible que los sectores hayan sido reasignados a diferentes subdistritos entre los censos sin haber cambiado en realidad los límites. En este caso, hay que determinar en qué subdistrito del censo 1 se encuentra cada sector del censo 2. Las operaciones de superposición de polígonos pueden ayudar en esta tarea (véase el gráfico III.7).

Gráfico III.7. Agregación de los datos cuando los límites de zonas de mayor nivel son los mismos

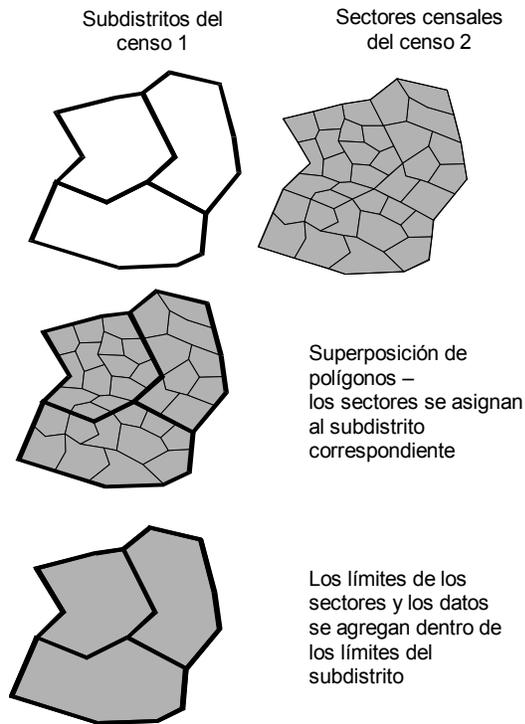
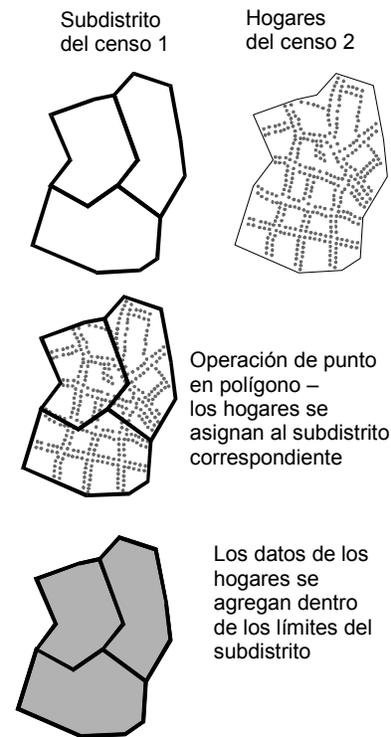


Gráfico III.8. Agregación de datos en forma de puntos



3.178. La tarea es aun más sencilla si la oficina de censos ha preparado una base de datos nacional de las unidades de vivienda en formato SIG. Para cada domicilio, hay un punto en una base de datos de SIG referenciado a los datos del censo en la base de microdatos. La tarea de conciliar los datos para las unidades pequeñas consiste simplemente en una operación de punto en polígono seguida de la agregación de los datos de los hogares que están dentro de la misma unidad informante (véase el gráfico III.8). En lugar de ubicaciones puntuales que representan hogares, los puntos también podrían representar centroides de zonas de empadronamiento pequeñas. Aunque no se puedan conseguir los límites exactos de estas zonas, la agregación a subdistritos relativamente grandes o a zonas similares puede proporcionar una estimación razonable.

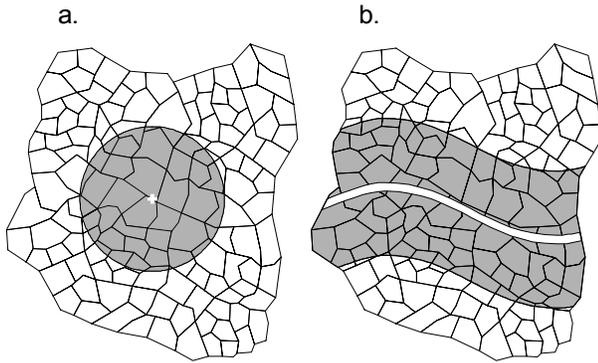
b) Interpolación de zonas cuando los límites son incompatibles

3.179. Si los límites de las unidades informantes de los dos censos no encajan en algún nivel geográfico de agregación, hay que interpolarlas de alguna forma para obtener datos compatibles. La interpolación de zonas es el procedimiento por el cual se transfieren datos —por ejemplo, los totales de población— de un conjunto de unidades a otro conjunto, incompatible.

3.180. Estos dos conjuntos de zonas pueden ser del mismo tipo —por ejemplo, unidades censales que se han revisado considerablemente entre dos censos diferentes, o pueden ser muy distintos —por ejemplo, en los que hay que estimar los datos demográficos de las zonas de cubierta terrestre y de las cuencas hidrográficas. También se deben interpolar zonas cuando se define una consulta a la base de datos como una operación de proximidad espacial. Por ejemplo, para obtener características demográficas de la población que reside en una distancia circular alrededor de un punto, como un hospital (gráfico II.9b), o a una cierta distancia de un río que provoca inundaciones con frecuencia (véase el gráfico III.9b), primero se determina una zona tampón y luego se interpolan los datos demográficos conocidos

de las unidades pequeñas para derivar los datos de la zona tampón.

Gráfico III.9. Derivación de datos de zonas que no se corresponden con los límites de las unidades informantes



3.181. Flowerdew y otros (1991), Goodchild y otros (1993) y Fisher y Langford (1995) describen las técnicas de interpolación de zonas. En los párrafos que siguen, se denomina zona fuente al conjunto de zonas sobre las que se tienen datos, mientras que aquellas para las cuales hay que derivar estimaciones se las llama zonas meta. El método de interpolación más adecuado dependerá de que sea posible suponer que la variable está distribuida uniformemente en las zonas fuente, meta, o en un tercer conjunto de zonas, denominadas zonas de control. En los párrafos siguientes se examinan estos tres casos. Se toma el ejemplo de la interpolación de los valores de población, pero también se pueden interpolar otras variables.

3.182. Sin embargo, cabe mencionar que ningún método de interpolación puede producir estimaciones sin errores de los indicadores socioeconómicos de la zona meta. De hecho, con frecuencia los errores pueden ser grandes e inaceptables para las aplicaciones que exigen gran exactitud. Por lo tanto, la interpolación debe considerarse como método de último recurso cuando no hay otras opciones más exactas, como la reagregación de las unidades pequeñas de reunión de datos.

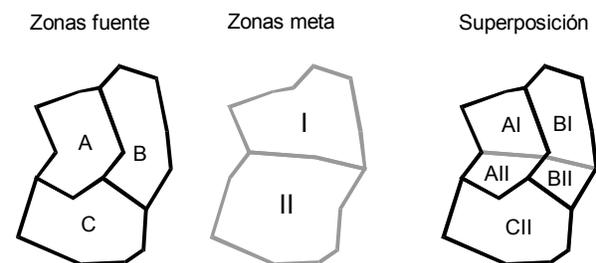
i. Zonas fuente homogéneas

3.183. En el caso más sencillo, podemos suponer que la población de las zonas fuente tiene una distribución relativamente constante. A veces, las oficinas de cen-

sos diseñan unidades informantes de manera que sean homogéneas internamente, en consecuencia, esta suposición es bastante lógica, a menos que ciertas condiciones extremas del terreno —montañas altas, pantanos o desiertos— provoquen una distribución de la población muy irregular. Si la suposición de que hay igual población en cada zona fuente es creíble, se puede suponer que si, por ejemplo, el 65 por ciento de la zona fuente A se superpone con la zona meta 1, entonces el 65 por ciento de la población de A reside en la zona meta 1 (véase el gráfico III.10). En otras palabras, la población se distribuye en proporción a las zonas de superposición entre las zonas fuente y meta. Por eso, el método se llama ponderación de zonas.

3.184. Para ilustrar este método, consideremos el gráfico III.10 y el cuadro III.2. La información que necesitamos —además de los totales de población de cada zona fuente— es las zonas de superposición entre las zonas fuente y meta. Estos gráficos se pueden producir rápidamente con una operación común de SIG de superposición de polígonos. El SIG combina los polígonos que representan las zonas fuente y meta y calcula la superficie de cada polígono nuevo. Las primeras columnas del cuadro muestran el resultado. Las superficies en kilómetros cuadrados deben convertirse a proporciones de superposición. Por ejemplo, 65 por ciento de la zona A cae dentro de la zona 1 y 35 por ciento en la zona II; sólo resta multiplicar estas proporciones de superposición por la población de la zona fuente para obtener estimaciones de la zona meta. Por ejemplo, la estimación de la población de la zona es $0,65 \times$ la población de la zona A más $0,35 \times$ la población de la zona B (ninguna parte de la zona C se superpone con la zona I). El resultado es 28.500.

Gráfico III.10. Interpolación de zonas – zonas fuente homogéneas



Cuadro III.2. Interpolación de zonas – ejemplo de los cálculos para zonas fuentes homogéneas

	<i>Superficie superpuesta (km²)</i>		<i>Total</i>	<i>Proporciones de superposición</i>		<i>Población en las zonas fuente</i>	<i>Población en las zonas meta</i>	
	<i>I</i>	<i>II</i>		<i>I</i>	<i>II</i>		<i>I</i>	<i>II</i>
A	117	63	180	0,65	0,35	15 000	9 750	5 250
B	150	50	200	0,75	0,25	25 000	18 750	6 250
C	0	210	210	0,00	1,00	12 000	0	12 000
Total	267	323	590			52 000	28 500	23 500

3.185. Esta descripción ilustra el principio de la ponderación de zonas. En la práctica, hay una forma más fácil de realizarlo en un SIG:

- Primero, se calculan las densidades de población de las zonas fuente dividiendo el total de población por la superficie de la zona, que se puede calcular con el SIG. El resultado se almacena en un campo de datos en el cuadro de atributos de la base de datos del SIG.
- Luego, se superponen los polígonos y se deja que el SIG calcule la superficie correcta de cada nuevo polígono de la intersección.
- Para cada nuevo polígono se deriva ahora la estimación de la población multiplicando su densidad de población calculada en el primer paso por la nueva superficie. Resta sumar la población de todas las zonas de superposición que pertenecen a la misma zona meta.

3.186. Por lo general, las densidades no son constantes dentro de las zonas, por lo que siempre habrá un error en las estimaciones de población de la zona meta, que puede ser bastante significativo. Por lo tanto, la conveniencia de utilizar la interpolación de zonas depende de las condiciones específicas de la zona de estudio.

3.187. Si se tiene información sobre zonas deshabitadas, se pueden incorporar al procedimiento de ponderación de zonas sustrayendo primero las zonas vacías. Por ejemplo, puede haber datos sobre los límites de un lago, las tierras cultivadas, los bosques densos u otras zonas deshabitadas provenientes de otras capas del SIG, que pueden usarse para mejorar significativamente las estimaciones de población de la zona meta. En cartografía, esta técnica se denomina cartografía dasimétrica: a fin de obtener estimaciones más ajustadas a la realidad, el cartógrafo enmascara las zonas deshabitadas antes de producir un mapa coroplético (véase, por ejemplo, Plane y Rogerson, 1994).

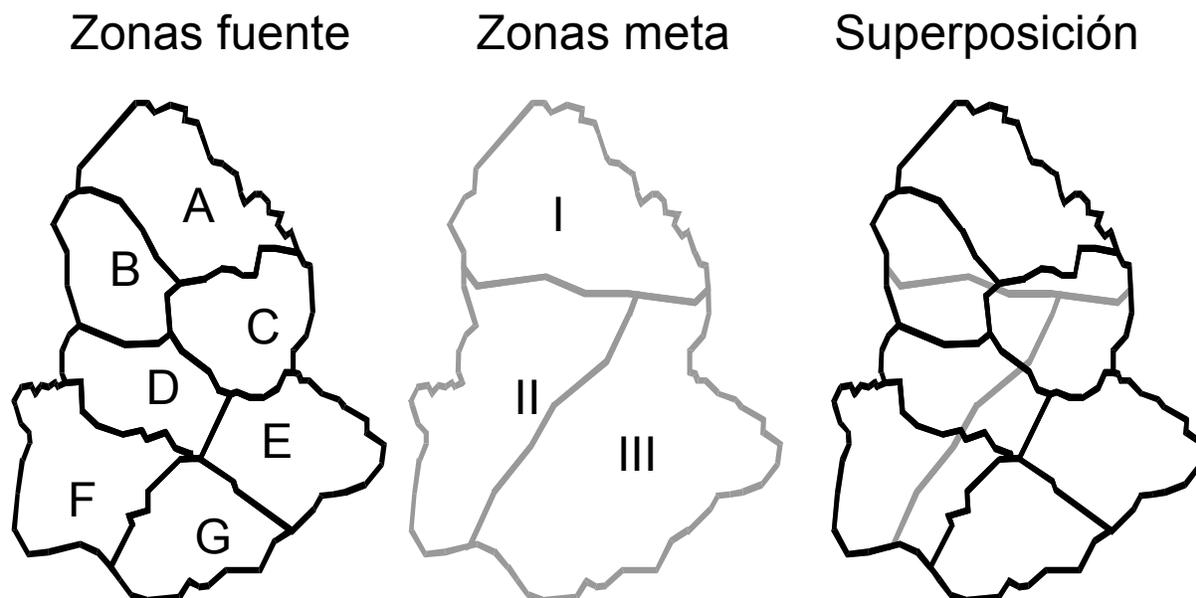
ii. Zonas meta homogéneas

3.188. La ponderación de zonas no producirá muy buenos resultados si son las zonas meta las que tienen densidades constantes, en lugar de las zonas fuente. Por ejemplo, las zonas fuente pueden ser distritos bastante grandes y heterogéneos, mientras que las zonas meta representan clases de utilización de la tierra o de cubierta terrestre. Es probable que las clases de cubierta terrestre, como la clase urbana, agrícola y forestal, tengan una distribución de la población bastante uniforme. Si la cantidad de zonas meta es menor que la de zonas fuentes, se pueden producir estimaciones de la primera usando técnicas estadísticas de regresión.

3.189. Específicamente, las densidades de población de las zonas meta se pueden estimar como los coeficientes de una regresión lineal hasta el origen, es decir, sin un término constante. La variable dependiente es la población de la zona fuente, y las variables predictivas son las zonas de superposición entre las zonas fuente y meta. Es posible derivar entonces las poblaciones de las zonas meta multiplicando las densidades estimadas por las correspondientes superficies en que hay superposición y luego sumando todas éstas con la zona meta. Las regresiones se pueden realizar en cualquier programa de planilla de cálculo o de estadística.

3.190. En el gráfico III.11 y el cuadro III.3, puede verse un ejemplo. Hay que estimar los totales de población de tres zonas meta que, se supone, tienen una distribución homogénea de la población. Se tienen datos de la población total de cada zona fuente. El SIG produce las zonas de superposición entre cada zona fuente y meta. La regresión lineal produce coeficientes (densidad de población) estimados de 16,0, 15,5 y 21,5. Al multiplicar estas cifras por las superficies totales respectivas de cada zona meta tenemos las estimaciones de población: 18.179, 17.422 y 38.194. Estos valores no suman lo mismo que la población total en toda la zona debido al error en la regresión, que puede ser importante, pero se lo puede corregir con un sencillo ajuste uniforme.

Gráfico III.11. Interpolación de zonas – zonas meta homogéneas



Cuadro III.3. Interpolación de zonas – ejemplo de los cálculos de zonas meta homogéneas

Zona fuente	Población	Superficie superpuesta (m ²) Zonas meta			Superficie total (km ²)
		I	II	III	
A	9 692	735	0	0	735
B	14 614	258	198	0	456
C	7 422	140	131	268	539
D	5 092	0	330	151	481
E	11 686	0	466	212	678
F	6 503	0	0	539	539
G	19 561	0	0	707	607
Total	74 570	1 133	1 125	1 777	4 035
Densidades estimadas		16,0	15,5	21,5	
Población estimada		18 179	17 442	38 184	

3.191. Si la cantidad de zonas meta es mayor que la de zonas fuente, hay que formular otras suposiciones o hay que agregarlas. En la mayoría de los casos, cuando las densidades no varían demasiado en las unidades administrativas, se puede realizar la regresión en un programa de planilla de cálculo después de importar los datos necesarios del SIG. Pero si hay densidades extremadamente bajas en la zona de estudio, los coeficientes de regresión pueden ser negativos, lo que implicaría que las densidades de población son negativas. En este caso, hay que usar técnicas especializadas de regresión, o se puede es-

tablecer que la densidad de las zonas meta afectadas es cero o algún otro valor estimado externamente (por ejemplo, una estimación restringida).

iii. Zonas de control homogéneas

3.192. Por último, cuando no se puede suponer que las densidades de las zonas fuente o de las zonas meta son homogéneas, se puede incorporar información auxiliar, como una base de datos de SIG de unidades que supuestamente tienen densidades constantes, como los mapas digitalizados del uso de la tierra (Moxey y

Allanson 1994), o una imagen clasificada obtenida mediante teleobservación (Langford y otros, 1991). No es necesario que estas zonas de control sean iguales que las zonas fuente o meta. Este método combina la estimación mediante la regresión de las zonas meta homogéneas con la ponderación de zonas que es adecuada para las zonas fuente homogéneas.

3.193. Si la cantidad de zonas de control es menor que la cantidad de zonas fuente, las densidades de las primeras pueden estimarse usando una regresión lineal hasta el origen, como se describió antes. Luego, con estas densidades, se puede estimar la población de las zonas meta usando superficies que se superponen entre las zonas de control y las zonas meta. Este es el mismo procedimiento que la ponderación de zonas que se describió antes. En este segundo paso, la cantidad de zonas meta no está limitada por la cantidad de zonas fuente.

iv. Resumen

3.194. Las tres variantes de la técnica de interpolación de zonas que se describieron antes, junto con las ampliaciones que mencionan las publicaciones citadas, constituyen un conjunto integral de instrumentos para transferir datos de un conjunto de unidades a otro conjunto incompatible. Hay que reiterar, sin embargo, que los errores inherentes a la estimación pueden ser bastante considerables, dependiendo de la variabilidad de las densidades dentro de la zona de estudio y de la calidad de la información auxiliar. Por ello, es preferible reunir información adicional en niveles de mayor resolución (si es posible) cuando se requiere gran exactitud de los datos.

3.195. Se han propuesto otros métodos de interpolación de zonas. Algunos no estiman directamente la población de las zonas meta, sino que primero se distribuye la población de cada zona fuente en una fina malla, es decir, una capa de datos de SIG en cuadrícula, que se extiende sobre la zona de estudio. Hay distintas normas para este procedimiento.

3.196. Puede suponerse que la población está distribuida con mucha uniformidad. En cualquier distrito dado, cabría prever que habrá más gente viviendo en las zonas limítrofes con otros distritos de densidad más alta que cerca de los que tienen densidad baja. Este es el principio de interpolación picnofiláctica uniforme de Tobler (Tobler, 1979). Picnofiláctica significa conservar la masa y que la población total de todas las casillas de la cuadrícula dentro de un distrito sumará el total del distrito después de que la interpolación iterativa haya distribuido la población de modo que la superficie generada tenga uniformi-

dad máxima. O bien se puede dirigir la conversión de los polígonos a datos en cuadrícula con información adicional como el uso de la tierra, la infraestructura de caminos, las modalidades de asentamiento y otros indicadores de densidad de población. Bracken y Martin (1989), Martin (1991), Langford y Unwin (1994) y Deichmann (1996) examinan estos métodos y otros más con mayor detenimiento.

c) Bases de datos de SIG temporales

3.197. A largo plazo, la oficina de censos debe procurar minimizar las incompatibilidades de las unidades estadísticas informantes que se utilizan para diferentes censos, lo que implica una estrategia focalizada en la reunión y gestión de los datos en el transcurso del tiempo. El resultado ideal sería una base de datos de SIG temporal que vincule los límites y los datos reunidos en diferentes fechas (véase la reseña integral de Langran 1992). Hay tres estrategias básicas para tratar los cambios en los límites de las zonas administrativas o informantes en las bases de datos referenciados espacialmente:

- Almacenar los datos de los límites de cada período por separado;
- Forzar la concordancia de los datos históricos con los límites más recientes que se tengan;
- Integrar la información sobre toda la serie temporal en la base de datos.

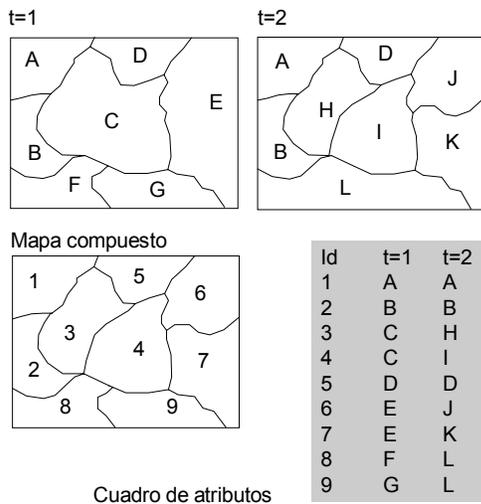
3.198. La primera consiste en almacenar los límites administrativos de cada censo en una capa de datos de SIG separada. La desventaja es que no hay un vínculo directo entre los datos de los diferentes períodos. Para calcular las tasas de crecimiento intercensales de las unidades cuyos límites han variado, por ejemplo, hay que manipular los datos en medida significativa.

3.199. La segunda consiste en conciliar los datos de diferentes períodos para que se ajusten a los límites de las unidades administrativas correspondientes al último censo. En los casos en que se fusionaron unidades más pequeñas de censos previos para formar una nueva unidad informante más grande, los datos se pueden simplemente agregar. Pero en la mayoría de los casos, es más probable que los distritos se hayan dividido de un censo a otro o que se hayan fijado límites completamente nuevos. En ambos casos, hay que tener un programa de homogeneización de los datos para construir una serie de datos temporales coherente. Se puede agregar cada distrito al nivel más bajo al que se corresponden los dos conjuntos de límites (el “mínimo común denominador”) o bien se realiza algún tipo de in-

terpolación de zonas, como se describió en la sección anterior.

3.200. La tercera opción, una base de datos espacio-temporal plenamente integrada, se basa en el almacenamiento de toda la información sobre los cambios en los límites que se produjeron en el transcurso del tiempo dentro de la base de datos (véase el gráfico III.12). En este sistema, el conjunto de datos espaciales consiste en un conjunto de polígonos elementales, cada uno de los cuales pertenece a una unidad administrativa en un momento dado. Los polígonos forman un compuesto espacio-temporal, a saber, una superposición de todos los conjuntos de datos sobre límites considerados. Cada polígono tiene un identificador único y una o más entradas en un cuadro de transición que registra el período en que la unidad perteneció a una unidad administrativa específica. Cuando se realiza una consulta, el sistema selecciona los registros adecuados en el cuadro de transición y agrega los polígonos elementales que pertenecieron al mismo condado en ese momento. El conjunto de datos resultante se puede vincular con un cuadro de datos específico del censo correspondiente para realizar un mapa o para otra consulta.

Gráfico III.12. Una base de datos espacio-temporal sencilla

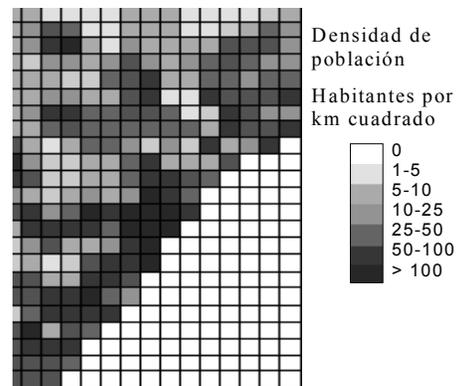


3.201. Este modelo de datos mantiene un registro de los cambios de los límites en el tiempo, pero no resuelve el problema de la creación de una serie temporal consistente para los indicadores censales. Todavía se necesita alguna forma de interpolación para comparar los datos de los censos de diferentes períodos, porque los cuadros de datos de cada censo se encuentran en cuadros separados, y con frecuencia, incompatibles.

3. Datos de población por casillas de la grilla

3.202. Las ZE o las unidades administrativas se representan en un SIG como polígonos de forma irregular. Para algunas aplicaciones, el hecho de que estas unidades informantes tengan formas y tamaños variables tiene ciertas desventajas. En consecuencia, las oficinas de estadística de varios países han elaborado bases de datos censales para casillas de grillas regulares (véase el gráfico III.13). El tamaño de las casillas varía entre 100 metros en el Reino Unido, 1 kilómetro en Japón y la República de Corea, y 5 kilómetros en las bases de datos internacionales.

Gráfico III.13. Densidad de población en una cuadrícula regular



3.203. Una de las razones por las que antes se lo hacía así es que los datos en cuadrícula se pueden almacenar y manipular con más facilidad en una computadora. En lugar de almacenar las coordenadas de los límites, los datos en cuadrícula de los SIG constan básicamente de una larga lista de valores. Un pequeño encabezamiento indica la cantidad de valores (columnas) que se almacenan en cada fila, así como las coordenadas de los límites y el tamaño de las casillas en unidades del mundo real. Los mapas de datos en cuadrícula de SIG se podrían producir fácilmente con sólo imprimir en línea los valores o un símbolo de texto en un ordenamiento regular de filas y columnas.

3.204. Pero los datos de población en cuadrícula tienen también otras ventajas. Muchos conjuntos de datos ambientales se almacenan en cuadrícula, incluidos los indicadores de altura y clima. Por lo tanto, si se almacenan ambos tipos de datos en esta forma, se facilita mucho el análisis de los indicadores demográficos y ambientales. Las superficies equivalentes de todas las unidades informantes también tienen una apariencia más uniforme en el caso de los mapas temáticos. Un buen ejemplo son los mapas en cuadrícula de la densidad demográfica en el Atlas de Población de China (Ofici-

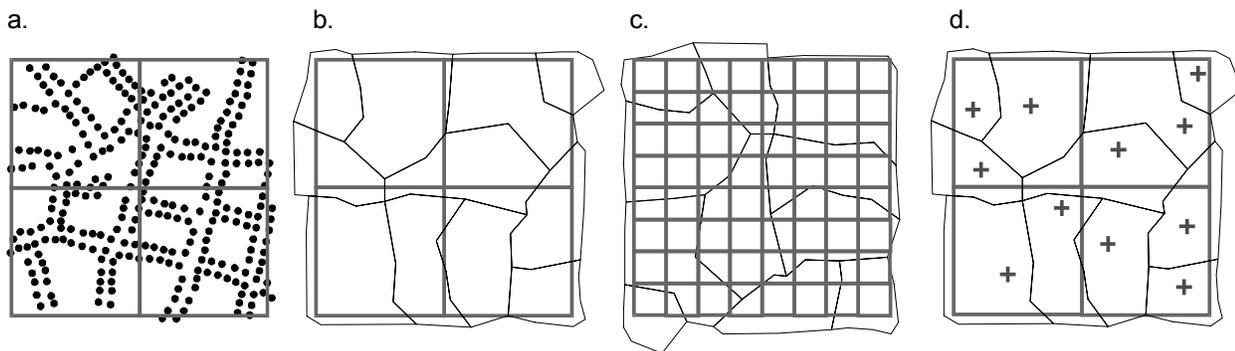
na de Censos de población, 1987) y el Atlas Nacional de Suecia (Statistics Sweden, 1993).

3.205. Hay varios métodos para crear casillas a partir de los datos de las unidades informantes de los censos (por ejemplo, Ohtomo, 1991). Se obtendrá un resultado más preciso si se asigna a ellas cada hogar o unidad de vivienda (gráfico III.14a). En algunos casos, este procedimiento es sencillo, en especial si la oficina de censos mantiene un registro de domicilios georreferenciado que está vinculado al conjunto de microdatos del censo. Puesto que los precios de las unidades GPS están bajando, cabe pensar que será mayor el número de países que producirán estos datos, por ejemplo, equipando a cada empadronador con un GPS durante el censo, de modo de captar la coordenada exacta de un hogar, junto con sus características. Si se utilizan técnicas manuales, se necesitan mapas de gran escala para cada asentamiento, en los que se pueda identificar cada hogar. Esta tarea requiere de mucho personal y muy pocas oficinas de censos tendrán los recursos para crear bases de datos en cuadrícula de esta forma.

3.206. Una segunda posibilidad es simplemente asignar las unidades informantes del censo a un cuadrado reticulado, si más de la mitad de su superficie cae dentro de esa casilla (véase el gráfico III.14b). Por otra parte, una zona de empadronamiento grande puede coincidir con varias casillas mucho más pequeñas (véase el gráfico III.14c). En este caso, todos los datos de la ZE se podrían asignar a la casilla que contiene el centroide de población de la zona, lo que se debe hacer en forma interactiva; define un punto en la ZE que es representativo y debe coincidir con la mayor concentración de población. Otra opción es que se distribuyan los datos uniformemente en todas las casillas que caen dentro de la zona de empadronamiento.

3.207. Los centroides o puntos representativos también se pueden usar directamente para asignar los datos de la ZE a las casillas. El analista puede decidir asignar los datos de la zona de empadronamiento a la casilla en que está el punto representativo. Los puntos representativos ponderados según la población generarán mejores resultados que los centroides geométricos que calcula el SIG (véase el gráfico III.14d).

Gráfico III.14. Distintos métodos para producir datos demográficos en cuadrados



3.208. Por último, también podemos utilizar las técnicas de interpolación que se describieron antes para estimar los datos censales para las casillas. En este caso, las zonas fuente son las ZE y las zonas meta son una capa de datos poligonales que representa una grilla regular. Si las zonas de empadronamiento son pequeñas, basta con una sencilla ponderación para obtener resultados satisfactorios. Como en el caso de todos los demás métodos, esta técnica se puede implementar utilizando funciones estándar de superposición de los SIG.

3.209. En términos del almacenamiento de datos, hay dos opciones. Una es almacenar las casillas en formato vectorial en el cual cada casilla es esencialmente un polígono cuadrado, lo que permite almacenar fácilmente los indicadores censales en el cuadro de atributos de los polígonos

de la base de datos de los SIG. Pero si se almacenan los datos de esta forma, no se aprovechan las ventajas del SIG en cuadrícula —el procesamiento más rápido y sencillo y la compatibilidad con conjuntos de datos ambientales. Otra opción, que combina las ventajas de ambos — las bases de datos relacionales del formato vectorial y la versatilidad de la cuadrícula— consiste en utilizar un programa de SIG que pueda manejar cuadros de atributos para las casillas de la cuadrícula. Sólo se necesita una cuadrícula, en la que se asigna a cada casilla un identificador único, que indica un cuadro de atributos que contiene todos los indicadores del censo. Luego, el SIG puede entrar dinámicamente a cualquiera de estos indicadores para elaborar mapas o realizar análisis.

Bibliografía y referencias

- Ahmed, M.M. (1996). Geographical information system (GIS) and its statistical applications in Egypt. *Journal of Economic Cooperation among Islamic Countries*, vol. 17, No. 1-2, págs. 25-39.
- Antenucci, J.C., y otros (1991). *Geographic Information Systems: A Guide to the Technology*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Aronoff, S. (1991). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- ASCE (1994). *The Glossary of the Mapping Sciences*. Bethesda, Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing y American Society for Civil Engineers.
- Batini, C., S. Ceri and S.B. Navathe (1992). *Conceptual Database Design. An Entity-Relationship Approach*. Redwood City, California: Benjamin/Cummings.
- Batty, M. (1992). *Sharing Information in Third World Planning Agencies* Informe técnico 92-8 del NCGIA. Buffalo, Nueva York: National Center for Geographic Information and Analysis. (ftp://ftp.ncgia.ucsb.edu/pub/Publications/Tech_Reports/92/92-8.PDF)
- _____, D.F. Marble y A. Gar-On Yeh (1995). *Training Manual on Geographic Information Systems in local/regional planning*. Nagoya, Japón: Centro de las Naciones Unidas para el Desarrollo Regional.
- Becker, P. Y otros (1996). *GIS Development Guide*. Local Government GIS Demonstration Grant, Erie County Water Authority. Buffalo, Nueva York: National Center for Geographic Information and Analysis, GIS Resources Group Inc. (www.geog.buffalo.edu/ncgia/sara/).
- Ben-Moshe, E. (1997) Integration of a national GIS project within the planning and implementation of a population census. Euro-Mediterranean workshop on new technologies for the 2000 census round. Ma'ale Hachamisha, Israel, 16 al 20 de marzo. (www.cbs.gov.il/mifkad/euromedit.ht).
- Bertin, J. (1983). *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin Press. Original en francés *Semiologie Graphique*. Paris, 1977.
- Boehme, R. (1991). *Inventory of World Topographic Mapping*. Essex, Reino Unido: Elsevier Science Publishers.
- Bond, D., y L. Worrall (1996). Geographical information systems, spatial analysis and public policy –the British experience. *Proceedings of the Fifth Independent Conference of the International Association for Official Statistics*. Reykjavik, 1 al 5 de julio.
- _____, y otros, comp. (1994). *GIS, Spatial Analysis and Public Policy*. Actas de la conferencia, Coleraine, Reino Unido: University of Ulster.
- Bossler, J.D., y R.W. Schmidley (1997). Airborne system promises large-scale mapping advancements, *GIS World*, vol. 10, No. 6, págs. 46 a 48.
- Bracken, I. y D. Martin (1989). The generation of spatial population distributions from census centroid data, *Environment and Planning A*, 21, págs. 537 a 543.
- Brewer, C. (1994). Colour use guidelines for mapping and visualization. En *Visualization in Modern Cartography*, A.M. MacEachren y D.R.F. Taylor, comp. Londres: Pergamon.
- Broome, F.R. y otros (1995). Automated mapping at the United States Census Bureau: 1980-1994 (partes I y II), *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 22, No. 2.
- BUCEN (1978). *Mapping for censuses and surveys*, Statistical Training Document ISP-TR-3, Washington D.C.: Departamento de Comercio de los Estados Unidos, Oficina de Censos.
- _____, (1997). Information technology operational plan for the decennial census 1998-2002., Washington D.C.: Departamento de Comercio de los Estados Unidos, Oficina de Censos, 7 de noviembre.
- Bugayevskiy, L.M., y J.P. Snyder (1992). *Map Projections: A Reference Manual*. Londres: Taylor and Francis.
- Canter, F., y H. Declair (1989). *The World in Perspective. A Directory of World Map Projections*, Nueva York: John Wiley and Sons.
- Carlson, G.R. y B. Patel (1997). New era dawns for geospatial imagery. *GIS World*, vol. 10, No. 3, págs. 12 a 15, (www.geoplance.com/print/gw/1997/0397feat.htm)

- Clarke, D. (1997) Mapping for the reconstruction of South Africa. En *Framework for the World*; D. Rhind comp. Cambridge, Reino Unido: GeoInformation International.
- Clayton, C. y J. Estes (1980). Image analysis as a check on census enumeration accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, No. 46, págs. 757 a 764.
- Coiner J.C. (1997). Transferability of the Qatar enterprise GIS model: experience in Viet Nam and Jamaica. *Proceedings GIS/GPS Conference 97*. Doha 2-4 marzo. (www.gisqatar.org.qa/conf97/links/f3.html).
- Cost, F. (1997). *Pocket Guide to Digital Printing*, Albany, Nueva York: Delmar Publishers.
- Dana, P.H. (1997). Global positioning system overview. Austin, Texas: The Geographers Craft Project (en línea). (www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps_f.html).
- Danko, D.M. (1992). The Digital Chart of the World Project. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 58, No. 8, págs. 1125 a 1128.
- Deichmann, U. (1996). A review of spatial population database design and modelling, Technical Report TR 96-3. Santa Barbara, California: National Center for Geographic Information and Analysis. (ftp://ncgia.ucsb.edu/pub/Publications/tech_reports/96/96-3/)
- Dent, B.D. (1999). *Cartography Thematic Map Design*, quinta edición, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers.
- Duke-Williams, O., y P. Rees (1998). Can census offices publish statistics for more than one small area geography? An analysis of the differencing problem in statistical disclosure, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 12, No. 6, págs. 579 a 605.
- Eritrea National Statistical Office (1996). Preliminary design of census geographic processes. Asmara: National Statistical Office.
- Espejo, A.B. (1996). The use of geographic information systems in Mexican censuses. *Proceedings of the Expert Group Meeting on Innovative Techniques for Population Censuses and Large-Scale Demographic Surveys*, 22-26 de abril. La Haya: Netherlands Interdisciplinary Demographic Institute y Fondo de Población de las Naciones Unidas.
- ESRI (1995). Data publishing guidelines for ESRI software, White paper. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute. (disponible en www.esri.com).
- _____ (1997). The future of GIS on the Internet, White paper. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute (disponible en www.esri.com).
- EUROSTAT (1996) Statistics and Geography. *Sigma – The Bulletin of European Statistics* (verano).
- Falkner, E. (1994) *Aerial Mapping: Methods and Applications*. Boca Raton: Florida: CRC Press.
- FGDC (1997a). *Framework Introduction and Guide*. Washington D.C.: Federal Geographic Data Committee.
- _____ (1997b). The subcommittee on cultural and demographic data. Washington D.C.: Federal Geographic Data Committee. (www.census.gov/www/standards/scdd/index.html).
- Fisher, P.F. y M. Langford (1995). Modelling the errors in areal interpolation between zonal systems by Monte Carlo simulation. *Environment and Planning A*, 27, págs. 211-224.
- Flowerdew, R., M. Green y E. Kehris (1991). Using areal interpolation methods in geographic information systems. *Papers in Regional Science*, No. 70, págs. 303-315.
- Footte, K.E. y A.P. Kirvan (1997). WebGIS. NCGIA Core Curriculum in GIScience. (www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u133/u133.html, en línea desde el 13 de julio de 1998).
- Fothergill, S. y J. Vincent (1985). *The State of the Nation: An Atlas of Britain in the Eighties*. Londres: Panbooks.
- French, G.T. (1996). *Understanding the GPS*. Bethesda, Maryland: GeoResearch.
- Gebizlioglu, L. Ö., H.M. Aral y N. Teksoy (1996). Impact of remote sensing on official statistics, *Journal of Economic Cooperation among Islamic Countries*, vol. 17, No. 1-2, págs. 1-23.
- Geomatics Canada (1994). *National Topographic Database Standards and Specifications*. Quebec: The National Surveys, Mapping and Remote Sensing Organization, Natural Resources Canada.

- GIS World (1998). GIS Source Book. Fort Collins, Colorado: GIS World. (actualizado anualmente desde 1989), (www.geoplace.com).
- Goodchild, M.F., L. Anselin y U. Deichmann (1993). A framework for the areal interpolation of socio-economic data. *Environment and Planning A*, 25, págs. 383-397.
- Graham, L.A. (1997). Modern-day magic: options abound for raster-to-vector conversion, *GIS World*, vol. 10, No. 7, págs. 32-38 (www.geoplace.com/gw).
- Hall, T. Y otros (1997). Comparison of GPS and GPS + GLONASS Positioning Performance. Proceedings ION GPS-97. Ciudad de Kansas, Missouri, 16 al 19 de septiembre (satnav.atc.ll.mit.edu/papers/timsept97/sept97tim.html).
- Heine, G. (1997). Geographical information standards. Luxemburgo: European Commission, Directorate XIII/E (www2.echo.lu/oii/en/gis.html).
- Hohl, P., comp., (1998). *Gis Data Conversion Strategies, Techniques, Management*. Santa Fe, Nuevo México, Onword Press.
- Jensen, J.R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, segunda edición, Nueva York: Prentice-Hall.
- Johnson, J. y H.J. Onsrud (1995). *Is cost recovery worthwhile? Proceedings of the Annual Conference of the URISA*, San Antonio, Texas, Julio. (www.spatial.maine.edu/onsrud.html)
- Johnson, L.E. (1997). Factors for a successful implementation, *GIS World*, vol. 10, No. 2, pág. 57.
- Jones, C. (1997). *Geographical Information Systems and Computer Cartography*, Harlow, Essex, Reino Unido: Longman.
- Kennedy, M. (1996). *The Global Positioning System and GIS: An Introduction*. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Press.
- Kraak, M.J., y F.J. Ormeling, (1997). *Cartography-Visualization of Spatial Data*, Harlow, Essex, Reino Unido: Longman.
- Lang, A. (1997). Accuracy specifications affect application success. *GIS World*, vol. 10, No. 8, pág. 58.
- Lange, A. (1997). Put low-cost GPS receivers to the test, *GIS World*, vol. 10, No. 6, pág. 36.
- Langford, M., D.J. Maguire y D.J. Unwin (1991). The areal interpolation problem: estimating population using remote sensing in a GIS framework. En *Handling Geographical Information: Methodology and Potential Applications*, E. Masser y M. Blakemore, comp. Harlow, Essex, Reino Unido: Longman.
- _____, y D.J. Unwin (1994). Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. *The Cartographic Journal*, No. 31, (21 al 25 de junio).
- Langran, G. (1992). *Time in Geographic Information Systems*, Londres: Taylor and Francis.
- Larsgaard, M. L. (1993). *Topographic Mapping of Africa, Antarctica and Eurasia*. Provo, Utah: Western Association of Map Libraries.
- Leick, A. (1995). *GPS Satellite Surveying*, segunda edición, Nueva York: John Wiley and Sons.
- Li, L. (1997). Dwelling frame feasibility study. *GIS/LIS Proceedings*. Denver, Colorado, 19 al 21 de noviembre.
- Lillesand, T.M. y R.W. Kiefer (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*, tercera edición, Nueva York: John Wiley and Sons.
- Lo, C. P. (1986). *Applied Remote Sensing*, Londres: Longman.
- _____. (1995). Automated population and dwelling unit estimation from high-resolution satellite images: a GIS approach. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 16, No. 1, págs. 17-34.
- Lynch, M. y K.E. Foote (1997). Legal Issues Relating to GIS: The Geographer's Craft Project. Austin: University of Texas. (wwwhost.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/contents.html)
- MacEachren, A.M. (1994). *Some Truth with Maps: A Primer on Symbolization and Design*. Washington D.C.: Association of American Geographers.
- _____. (1995). *How Maps Work. Representation, Visualization and Design*. Nueva York: Guilford Press.
- Martin (1991). *Geographic Information Systems and their Socio-Economic Applications*. Londres: Routledge.
- McDonnell, R. y K. Kemp (1995). *International GIS Dictionary*. Cambridge, Reino Unido: GeoInformation International.

- Michael, J. (1997). Digital ortophotography –Principles, project design, issues, utility, accuracy, economics, *Proceedings GIS/GPS Conference 97*. Doha, 2 al 4 de marzo. (www.gisqatar.org.qa/conf97/links/h1.html)
- Misra, P. (1993). Integrated use of GPS and GLONASS in civil aviation. *The Lincoln Laboratory Journal*, vol. 6, No. 2, págs. 231-248. (satnav.atc.ll.mit.edu/papers/Lljournal/Misra.html)
- Moellering, H. y R. Hogan, comp. (1997). *Spatial Database Transfer Standards 2: Characteristics for Assessing Standards and Full Descriptions of the National and International Standards in the World*. Amsterdam. International Cartographic Association, Pergamon, Elsevier Science.
- Monmonier, M. (1993). *Mapping it Out. Expository Cartography for the Humanities and Social Sciences*. Chicago: University of Chicago Press.
- _____ (1996). *How to Lie with Maps*, segunda edición. Chicago: University of Chicago Press.
- Montgomery, G.E. y H.C. Schuch (1994). *GIS Data Conversion Handbook*. Fort Collins, Colorado: GIS World.
- Moxey, A. y P. Allanson (1994). Areal interpolation of spatially extensive variables –A comparison of alternative techniques. *International Journal of Geographic Information Systems*, vol. 8, No. 5, págs. 479-487.
- Murray, J.D. y W. Van Ryper (1994). *Encyclopedia of Graphics File Formats*. Sebastopol, California: O'Reilly and Associates, Inc.
- Naciones Unidas (1988). *The Geography of Fertility in the ESCAP Region*. Asian Population Studies Series, No. 62-K. Bangkok: Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico.
- _____ (1993). *World Urbanization Prospects*. Número de ventas: 93.XIII.II.
- _____ (1997a). Sistemas de Información geográfica para estadísticas demográficas. Estudios de método, No. 68. Número de ventas: S.97.XVII.3 (www.un.org/Depts/unsd/demotss/intro2.htm)
- _____ (1997b). *PopMap – Users' Guide and reference Manual*. (www.un.org/Depts/unsd/softproj/index.htm)
- _____ (1997c). *MapScan Manual*. (www.un.org/Depts/unsd/softproj/index.htm)
- _____ (1998). Principios y recomendaciones para censos de población y habitación, revisión 1. Informes estadísticos, No. 67/Rev. 1. Número de ventas: S.98.XVII.8.
- National Research Council (1997). *The Future of Spatial Data and Society: Summary of a Workshop*. Washington D.C.: National Academy Press. (www.nap.edu/readingroom/books/spa)
- NCGIA (1998). *GIS Core Curriculum*. Santa Barbara, California: National Center for Geographic Information and Analysis. (www.ncgia.ucsb.edu/gisce)
- NCHS (1997). *Atlas of United States Mortality*. Washington D.C.: National Center for Health Statistics, Center for Disease Control and Prevention.
- NIDI (1996). *Proceedings of the Expert Group Meeting on Innovative Techniques for Population Censuses and Large-Scale Demographic Surveys*, 22 al 26 de abril, La Haya: Netherlands Interdisciplinary Demographic Institute y Fondo de Población de las Naciones Unidas. (www.nidi.nl/innotec/index.html)
- Nordisk Kvantif (1987). *Digital Map Data Bases. Economics and user Experiences in North America*. Arendal, Noruega: Joint Nordic Project – Community Benefit of Digital Spatial Information, VIAK A/S.
- _____ (1990). *Economics of Geographic Information*. Helsinki: National Board of Survey.
- Ohtomo, A. (1991). Small area statistical databases. Second Interregional Workshop on Population Databases and Related Topics. Jakarta, 14-19 de enero. Nueva York: Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo y Oficina de Estadística de las Naciones Unidas.
- Onsrud, H.J. (1992a). In support of open access for publicly held geographic information. *GIS Law*, 1992, vol. 1, No. 1, págs. 3-6. (www.spatial.maine.edu/onsrud.html)
- _____ (1992b). In support of cost recovery for publicly held geographic information. *GIS Law*, 1992, vol. 1, No. 2, págs. 1-7. (www.spatial.maine.edu/onsrud.html)
- _____ y X. López (1997). Intellectual property rights in disseminating digital geographic data, products, and services: conflicts and commonalities among European Union and United states approaches. En *Geographic Information: The European Dimension*

- I. Masser, y F. Salge, comp., Londres: Taylor and Francis.
- Ooishi, T. y otros (1998). Automated census system for densely inhabited districts. Proceedings of the Eighteenth ESRI Users Conference. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute.
- Open GIS Consortium (1996). *The OpenGIS Guide: Introduction to the Interoperable Geoprocessing*. Wayland, Massachusetts: Open GIS Consortium, Inc. (www.opengis.org)
- Openshaw, S., comp. (1995). *Census Users Handbook*. Cambridge, Reino Unido: GeoInformation International.
- Ordnance Survey (1993). *Address-Point User Guide*. Southampton, Reino Unido: Ordnance Survey.
- Padmanabhan, G., J. Yoon y M. Leipnik (1992). *A Glossary of GIS Terminology*. Informe técnico 92-13. Santa Barbara, California: National Center for Geographic Information and Analysis.
- Paulsen, B. (1992). *Urban Applications of Satellite Remote Sensing and GIS Analysis*, Urban Management Programme, Discussion Paper número 9, Washington D.C.: Banco Mundial.
- Pazner, M., N. Thies y R. Chávez (1994). *Simple Computer Imaging and Mapping*. Londres, Ontario: ThinkSpace, Inc.
- Plane, D.A., y P.A. Rogerson (1994), *The geographical analysis of population*. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Plewe, B. (1997). *GIS Online: Information Retrieval, Mapping and the Internet*. Santa Fe, New Mexico: Onword Press.
- Population Census Office (1987). *The Population Atlas of China*. Hong Kong: Population Census office and Institute of Geography, Chinese academy of Science, Oxford University Press.
- Prévost, Y. y P. Gilruth (1997), *Environmental Information Systems in Sub-Saharan Africa*. Building Blocks for Africa 2025, Informe número 12. Washington D.C.: Banco Mundial y Nueva York: Programas de desarrollo de las Naciones Unidas y Oficina de estadística de las Naciones Unidas.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1997). *A Survey of Geographic Information Systems and Image Processing Software*. Sioux Falls, Dakota del sur: Environmental Assessment Program. (<http://grid2.cr.usgs.gov/survey>)
- Rajani, P. (1996). Simple models reflect GIS market segmentation, *GIS World*, vol. 9, No. 12, pág. 130.
- Rhind, D. (1991). Counting the People: the role of GIS. En *Geographical information systems – principles and applications*, D.J. Maguire, M.F. Goodchild y D.W. Rhind, comp., vol. 1, págs. 127-137, Londres: Longman.
- _____ (1992). Data access, charging and copyright and their implications for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 6, No. 1, págs. 13-30.
- _____ comp. (1997). *Framework for the World*. Cambridge, Reino Unido: GeoInformation International.
- Ritter, N. (1996). The GeoTIFF Web Page. (<http://home.earthlink.net/~ritter/geotiff/geotiff.htm>)
- Robinson, A.H., y otros (1995). *Elements of cartography*, sexta edición. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Romano, F.J. (1996). *Pocket Guide to Digital Prepress*. Albany, Nueva York: Delmar Publishers.
- Satellitbild (1994). Reference project: national population census in Nigeria. Kiruna, Suecia: Swedish Space Corporation. (www.ssc.se/sb/ssc_sb.html)
- Schmidt, J.J. (1996) Evaluation of hand-held GPS for registration of cadastral maps. *GIS/LIS Proceedings*. Denver, Colorado, 19 al 21 de noviembre.
- Snyder, J.P. (1982). *Map Projections Used by the US Geological Survey*. Washington D.C. Government Printing Office.
- _____ (1993). *Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections*. Chicago: University of Chicago Press.
- Statistics Sweden (1993). *National Atlas of Sweden*, Estocolmo: SNA publishing.
- Steffey, D.L. y N.M. Bradburn, comp. (1994). *Counting People in the Information Age*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Suharto, S. y D.M. Vu (1996). Computerized cartographic work for censuses and surveys. *Proceedings of the Expert Group Meeting on Innovative Techniques for Population Censuses and large-scale Demographic Surveys*, 22 al 26 de abril. La Haya: Netherlands Interdisciplinary Demographic Institute y Fondo de

- Población de las Naciones Unidas. (www.un.org/Depts/unsd/softproj/papers/sv01.htm).
- Thygesen, L. (1996). GIS and official statistics – Synergy or clash? *Proceedings of the Fifth Independent Conference of the International Association for Official Statistics*. Reykjavik, 1 al 5 de julio.
- Tobler, W.C. (1979). Smooth pycnophylactic interpolation of geographical regions. *Journal of the American Statistical Association*, vol. 74, No. 367, págs. 519-530.
- Tripathi R.R. (1995). Updating and improvement of census base maps using global positioning systems. Presentado en el TSS/CST Workshop on Data Collection, Processing, Dissemination and Utilization, Nueva York, 15 al 19 de mayo.
- Tufte, E.R. (1983). *The Visual Display of Quantitative Information*. Chesire, Connecticut: Graphics Press.
- _____ (1990). *Envisioning Information*. Chesire, Connecticut: Graphics Press.
- Tveite, H. y S. Langaas (1995). Accuracy assessments of geographical line data sets: The case of the Digital Chart of the World, *Proceedings from the Fifth Scandinavian Research Conference on Geographical Information Systems*. Trondheim, Noruega, 12 al 14 de junio. (véase también <http://ilm425.nhl.no/gis/dcw/dcw.html>).
- Vu, D.M. (1996). PopMap: geographical census software for developing countries, *Proceedings of the Expert Group Meeting on Innovative Techniques for Population censuses and Large-scale Demographic Surveys*. 22 al 26 de abril. La Haya: Netherlands Interdisciplinary Demographic Institute y Fondo de Población de las Naciones Unidas. (www.un.org/Depts/unsd/softproj/papers/vdm961.htm)
- _____, P. Gerland y D. Castillo (1994). PopMap – a step toward better utilization and dissemination of population data – case study of a national census atlas. Working Paper número 37. Work session on Geographic Information Systems, 27 al 30 de septiembre. Voorburg, Países Bajos: Statistical Commission of the Economic Commission for Europe, Conference of European Statisticians.
- Waldorf, S.P. (1995). Commercial cartography: custom design and production, *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 22, No. 2.
- Waters, H. (1995). Feasibility studies for mapping projects in developing countries. *The Cartographic Journal*, No. 32, (diciembre), págs. 143-147.
- Wood, C.H., y C.P. Keller, comp. (1996). *Cartographic Design: Theoretical and practical Perspectives*. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Worrall, L. (1994). Justifying investment in GIS: a local government perspective, *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 8, No. 6, págs. 545-565.
- Wurman, R.S. (1997). *Information Architects*. Nueva York: Graphics Inc.

Anexo I

Sistemas de información geográfica

A. Aspectos generales

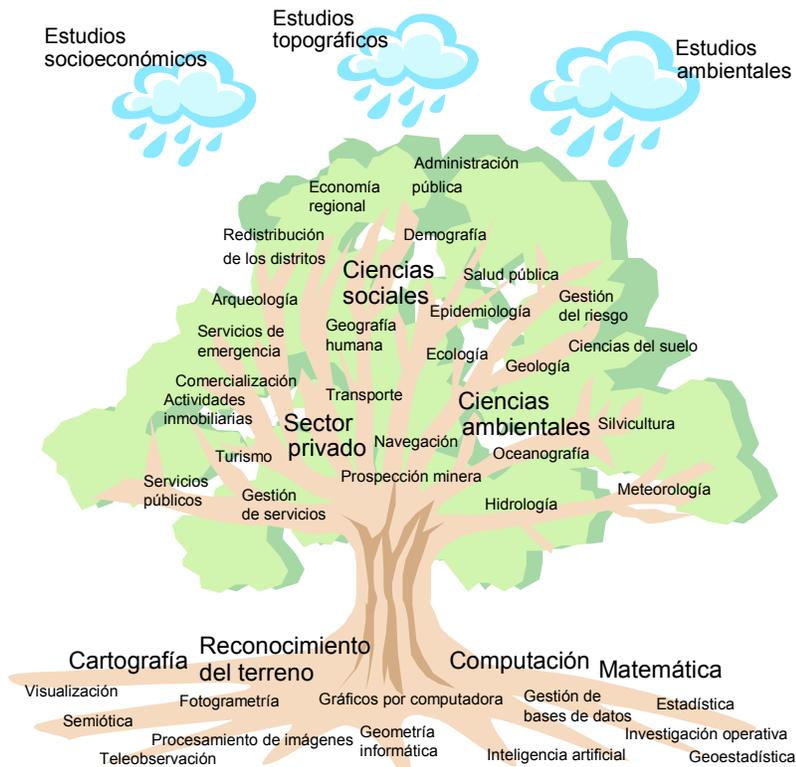
Un sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta informática que sirve para ingresar, almacenar, gestionar, recuperar, actualizar, analizar y producir información y los datos que contiene están relacionados con las características de los lugares o zonas geográficas. En otras palabras, un SIG nos permite responder preguntas acerca de dónde se encuentran ciertas cosas o acerca de qué cosas se encuentran en una ubicación dada.

La expresión “SIG” tiene diferentes acepciones según el contexto en que se la emplee. Puede referirse al sistema integral de equipos y programas informáticos que se utiliza para trabajar con información espacial. Quizás indique un conjunto determinado de programas de computación diseñado para manejar información sobre características geográficas, o puede estar relacionada con una aplicación, por ejemplo, una base integral de datos geográficos de una región o un país. Por último, a veces se utiliza para describir la disciplina que se ocupa de los métodos, algoritmos y procedimientos empleados para trabajar con datos geográficos. Por ejemplo, en muchas uni-

versidades hay ahora carreras de grado especializadas en SIG; la expresión “ciencia de la información geográfica” se usa cada vez más para referirse a la investigación académica sobre programas y procedimientos informáticos para geografía.

Son varias las esferas de estudio que han contribuido a crear los fundamentos de los SIG, como lo muestra el gráfico A.I.1. De las tradiciones cartográfica y de reconocimiento terrestre, se han tomado las reglas e instrumentos para medir y representar características del mundo real. La informática proporciona el marco para el almacenamiento y la gestión de la información geográfica y, junto con la matemática, aporta los recursos para manipular los objetos geométricos que representan características geográficas del mundo real. Como un SIG cuenta con datos provenientes de estudios socioeconómicos, ambientales y topográficos, sirve para aplicaciones en una diversidad de materias, desde algunas principalmente académicas, como la arqueología o la oceanografía, hasta aplicaciones de índole económica, entre ellas la comercialización o las actividades inmobiliarias.

Gráfico A.I.1. Fundamentos de los SIG (según Jones, 1997)



Las aplicaciones tipo inventario tienen lugar en el sector de los servicios públicos, donde, por ejemplo, una compañía telefónica administra y mantiene su infraestructura física utilizando una base de datos de SIG. Otro ejemplo son los sistemas de tenencia de la tierra de los organismos oficiales locales o regionales. En algunas esferas, los SIG se usan para apoyar la reunión de datos. Sin duda, el ejemplo más pertinente en el contexto de este manual es la utilización de mapas digitales para los censos y la divulgación de los datos. En el ámbito académico hay aplicaciones de carácter más analítico, y muchas otras más en disciplinas aplicadas, como la ordenación de los recursos naturales o la comercialización. Las compañías forestales, por ejemplo, usan los SIG para optimizar una explotación sostenible de los árboles, y las compañías de comercialización o minoristas utilizan complejos análisis espaciales para ubicar clientes o para emplazar un nuevo centro.

1. Equipo, programas y datos

Las cuestiones relacionadas con el equipo y los programas informáticos se tratan en el capítulo II en el contexto de la preparación de mapas censales. En general, el equipo que se requiere no es distinto del que se usa en otras aplicaciones gráficas que se caracterizan por las grandes cantidades de datos: una computadora personal compatible —o estación de trabajo— avanzada, un monitor grande de alta resolución y los elementos usuales para la entrada de datos —un teclado y un ratón. Para convertir los mapas de papel en bases de datos digitales se utilizan digitalizadores de formato grande, o un escáner, que también usan los arquitectos o los diseñadores gráficos. Para obtener mapas que puedan mostrarse o analizarse visualmente, se utilizan trazadores o impresoras.

En los últimos años, los programas informáticos de los SIG han progresado rápidamente, a partir de sistemas basados en comandos, que eran muy difíciles de aprender, hasta llegar a los programas basados en un menú, que son muy fáciles de usar con un mínimo de capacitación. Los analistas utilizan SIG muy avanzados cuando crean bases de datos nuevas y realizan complejos análisis espaciales. En el nivel medio, existe ahora una serie de programas cartográficos para computadoras personales que combinan una interfaz estándar de Windows con una gran diversidad de recursos en términos de ingreso, gestión, análisis y producción de datos. Por último, en el nivel menos avanzado, es posible conseguir programas de búsqueda de datos geográficos que, aunque no permiten que el usuario modifique los datos, tienen muchas funciones de visualización. Algu-

nos de estos programas son gratuitos y constituyen un excelente instrumento para la distribución de datos.

Un avance reciente son los “objetos” o rutinas informáticas relacionadas con los SIG que venden distintos proveedores y que permiten al usuario construir aplicaciones cartográficas adaptadas a sus necesidades en un entorno de programación centrado en objetos estándar para una industria. Pueden ser sistemas independientes o estar integrados en otros programas; algunos también incluyen herramientas para desarrollar aplicaciones cartográficas basadas en Internet.

Las tendencias actuales en cuanto a los programas de SIG parecen centrarse en dos aspectos: la cartografía por Internet y el diseño modular que permite la integración de las funciones de SIG en cualquier aplicación. Los usuarios pronto podrán realizar búsquedas y análisis de SIG en bases de datos geoespaciales remotas, utilizando su buscador y programas descargados de Internet según su necesidad. Para las aplicaciones avanzadas, puede haber una mayor convergencia entre los SIG y los sistemas de gestión de bases de datos relacionales. Así como algunos programas de SIG utilizan estos sistemas para almacenar y manipular la información sobre los atributos, ciertos sistemas de gestión de bases de datos ya incluyen funciones para almacenar y manipular objetos geográficos. Por lo tanto, es posible que la distinción entre los SIG y otros sistemas de información vaya desapareciendo gradualmente.

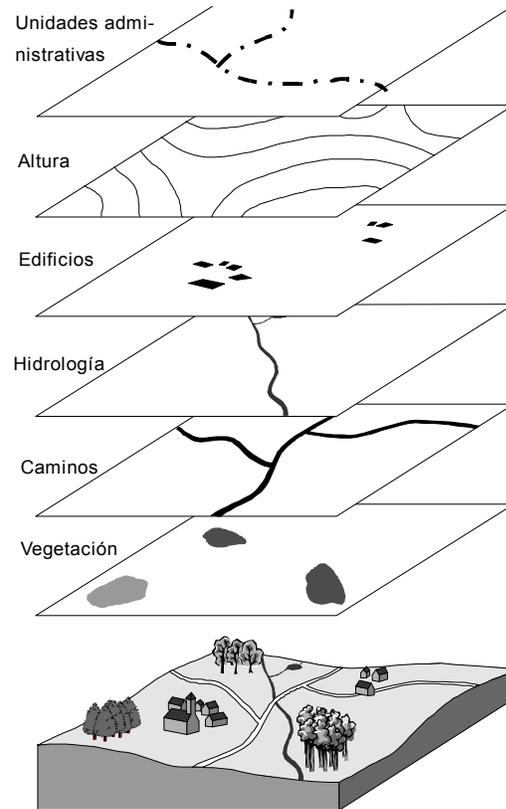
Los datos son como el combustible de las aplicaciones de SIG (véase el gráfico A.I.2). Muchos de los conjuntos de datos de SIG más comunes son los equivalentes digitales de los mapas en papel, como los topográficos que muestran calles, ríos, curvas de nivel y asentamientos. La información temática incluye atributos socioeconómicos referenciados por unidades administrativas, mapas interpretados que muestran la cubierta vegetal o el uso de la tierra e indicadores derivados, como la captación o los límites de las cuencas hídricas. Cualquier objeto geográfico que aparezca en un mapa digital puede describirse con gran detalle en un cuadro vinculado a la base de datos espaciales digitales. A veces, sólo se necesitan unos pocos atributos para caracterizar un conjunto de elementos. En otros casos, por ejemplo para la base de datos de un censo, puede haber mucha información sobre los atributos almacenada en el sistema.

Gráfico A.I.2. Tipos de información almacenada en un SIG

Otra fuente de información geográfica es la teleobservación. Las imágenes o fotografías tomadas desde aeronaves que vuelan a poca altura o bien desde satélites pueden integrarse con otra información con referencias espaciales. A veces, estas imágenes simplemente sirven de fondo para la información temática o topográfica de los mapas. Pero la mayoría de las veces permiten extraer e interpretar la información y almacenarla en forma cartográfica digital. Por último, también puede integrarse en un SIG la información multimedia, como fotografías, vídeos, texto o aun sonido. Por lo general, la integración se realiza por medio de vínculos activos. El usuario puede hacer clic en forma interactiva en un elemento para ver fotografías o vídeos del sitio geográfico.

2. Capas de datos geográficos

Una base de datos de un SIG es una representación por computadora del mundo real. Los programas de SIG proporcionan los instrumentos para organizar la información sobre características definidas espacialmente. La capa de datos es el principio básico de organización de un SIG. Antes que almacenar todas las características espaciales en un solo lugar, como en un mapa topográfico, se pueden combinar grupos de características similares en una de varias de estas capas de datos (véase el gráfico A.I.3).

Gráfico A.I.3. Capas de datos –el espacio como sistema de indización

Una base de datos integral de SIG comprende capas de rasgos físicos como caminos, ríos, y edificios; y capas de características definidas, como los límites administrativos o las zonas postales, que no son observables en el terreno. Además, los programas de SIG nos permiten crear nuevas capas de datos sobre la base de las ya existentes. Por ejemplo, una capa nueva podría mostrar las vertientes derivadas de los datos digitales de la altura, o todas las zonas que se encuentran a determinada distancia de un hospital.

Cuando se crea una base de datos de SIG de varias capas, las características pueden obtenerse de varias fuentes topográficas y temáticas. Además, generalmente se integran las observaciones en el terreno y los datos obtenidos por medio de teleobservación con satélites o fotos aéreas con los datos de los mapas. Un SIG proporciona los recursos que permiten integrar todos estos diferentes conjuntos de datos dentro de un marco común de referencia que se define por el sistema de coordenadas geográficas. Esto permite que el usuario combine diferentes tipos de datos, cree nueva información o ejecute averiguaciones complejas que implican varias capas de datos (véase la sección C). La

capacidad de integrar datos de fuentes heterogéneas usando como vínculo la ubicación geográfica a veces se denomina utilización del espacio como un sistema de indización; de hecho, es uno de los beneficios más importantes de los sistemas de información geográfica.

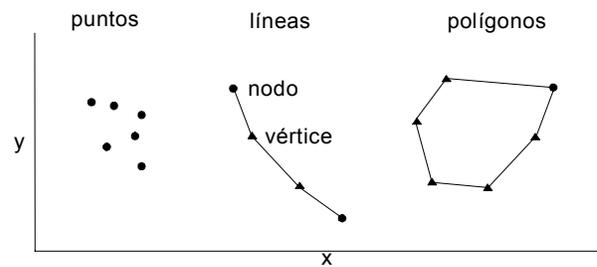
B. Modelos de datos de SIG

A pesar de la heterogeneidad de la información que puede almacenarse en un SIG, hay solamente unos pocos métodos comunes de representar la información espacial en una base de datos de SIG. Cuando se elabora una aplicación de SIG, las características del mundo real deben simplificarse para obtener representaciones que puedan almacenarse y manipularse en una computadora. Hay dos modelos de datos —representaciones internas digitales de la información— que actualmente predominan en los programas informáticos de SIG: el modelo de datos en forma de vectores, que se usa para representar rasgos discretos, como las casas, los caminos o los distritos, y el modelo de datos en cuadrícula, que se utiliza con frecuencia para representar fenómenos que varían continuamente, como la altura o el clima, pero que también se usa para almacenar fotos o datos de imágenes provenientes de satélites y de cámaras ubicadas en aeronaves. Para los censos, suele ser más útil el modelo de vectores, aunque muchos conjuntos auxiliares se almacenan mejor con el modelo de cuadrícula.

1. Vectores

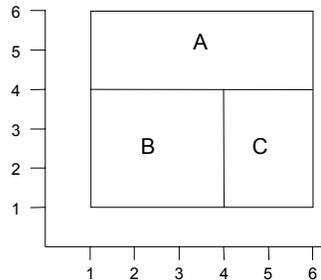
Los sistemas de SIG en forma de vectores representan características del mundo real utilizando un conjunto de primitivas geométricas: puntos, líneas y polígonos (véase el gráfico A.I.4). En una base de datos informática, un punto se representa con una coordenada x,y . Una línea es una secuencia de coordenadas x,y ; los puntos extremos se denominan generalmente nodos y los puntos intermedios se conocen como vértices. Los polígonos o superficies se representan con una serie cerrada de líneas tal que el primer punto es el mismo que el último. Los puntos pueden usarse para representar casas, pozos o puntos de control geodésico; las líneas describen, por ejemplo, caminos y ríos; y las zonas o distritos de empadronamiento, por ejemplo, se representan con polígonos.

Gráfico A.I.4. Puntos, líneas y polígonos

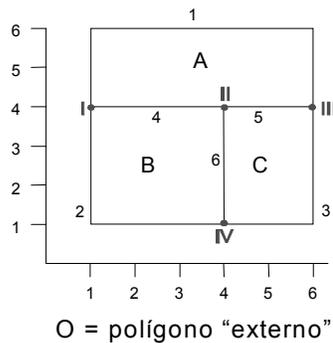


Los modelos de datos en forma de vectores más sencillos almacenan datos sin establecer relaciones entre las características geográficas (véase el gráfico A.I.5), lo que a veces se denomina el “modelo espagueti” (por ejemplo, Aronoff, 1991), ya que las líneas rectas se superponen pero no se intersecan, como los espaguetis en un plato. Otros modelos de datos topológicos más complejos almacenan en una base de datos las relaciones entre las distintas características. Por ejemplo, se separan las líneas que se cruzan y se agrega un nodo adicional en la intersección. En lugar de definir el límite entre dos polígonos contiguos dos veces —una vez para cada polígono— la línea se almacena una sola vez, junto con información sobre qué polígonos se encuentran a su derecha e izquierda, respectivamente. La información sobre la relación entre los nodos, líneas y polígonos se almacena en cuadros de atributos.

Las ventajas de un modelo topológico son claras si consideramos qué tipo de preguntas podríamos formular a una base de datos espaciales. Si esta base está estructurada topológicamente permite averiguaciones rápidas sobre objetos individuales o sobre su relación con otros objetos. Por ejemplo, para identificar con prontitud todos los vecinos en una determinada zona de empadronamiento, el sistema simplemente recorrería la lista de líneas que la definen y buscaría todas las demás zonas que delimitan estas líneas.

Gráfico A.I.5. Modelos de datos en forma de vectores: espagueti o topológico**Estructura de datos en forma de espagueti**

Políg.	Coordenadas
A	(1,4), (1,6), (6,6), (6,4), (4,4), (1,4)
B	(1,4), (4,4), (4,1), (1,1), (1,4)
C	(4,4), (6,4), (6,1), (4,1), (4,4)

Estructura de datos topológicos

Nodo	X	Y	Líneas
I	1	4	1,2,4
II	4	4	4,5,6
III	6	4	1,3,5
IV	4	1	2,3,6

Políg.	Líneas
A	1,4,5
B	2,4,6
C	3,5,6

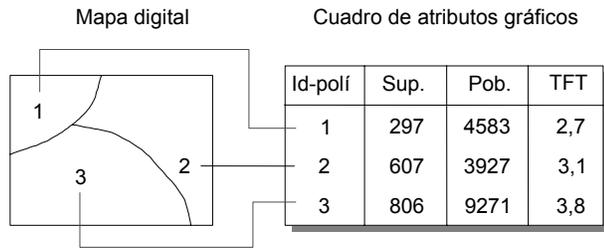
Línea	Desde el nodo	Hasta el nodo	Políg. izq.	Políg. der.
1	I	III	O	A
2	I	IV	B	O
3	III	IV	O	C
4	I	II	A	B
5	II	III	A	C
6	II	IV	C	B

Los programas avanzados de SIG usan estructuras de datos puramente topológicos que permiten realizar operaciones complejas, como la superposición de polígonos. En una operación como ésta, se combinan dos conjuntos de datos en forma de vectores —por ejemplo, los distritos administrativos y los límites de las vertientes. Se crean nuevos polígonos, más pequeños, por medio de la intersección de polígonos de ambos conjuntos de origen. La mayoría de los sistemas informáticos de cartografía utilizan estructuras de datos más sencillas, en las que todos los polígonos se definen como circuitos cerrados tales que las líneas que especifican el límite entre dos distritos se almacenan dos veces en la base de datos.

Cada una de las características de la base de datos tiene internamente un identificador único que vincula el elemento geométrico con su correspondiente entrada en un cuadro de datos o atributos (véase el gráfico A.I.6).

El usuario puede agregar información sobre cada característica en el registro de la base correspondiente. Para los puntos que representan casas, se podrían listar los domicilios, el tipo de casa y si hay electricidad e instalaciones sanitarias. En una base de datos de zonas de empadronamiento, se podría agregar el código administrativo oficial, la cantidad de unidades habitacionales y datos de censos que se han compilado para esa área. A los fines prácticos, la mayoría de los SIG usan un modelo de base de datos relacionales para almacenar la información sobre los atributos o no espacial por separado (en el capítulo II se examinan estos temas con más detalle). Los archivos de atributos se integran estrechamente con los datos geográficos digitales y se puede tener acceso a ellos a través del SIG o a través de un sistema de gestión de bases de datos relacionales.

Gráfico A.I.6. Datos espaciales y no espaciales almacenados en un SIG en vector



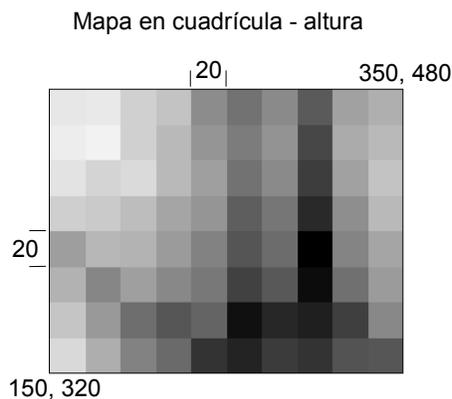
Algunos conjuntos de programas cartográficos han encontrado un punto medio entre estos dos extremos —el sencillo modelo espagueti y el complejo modelo puramente topológico. Sin ser plenamente topológicos, permiten computar rápidamente información sobre cercanía y conectividad. Así pues, combinan la facilidad de edición que permite el modelo simple con las poderosas posibilidades analíticas del modelo de datos de SIG en forma de vectores topológicos.

2. Cuadrícula

Los programas de SIG en forma de cuadrícula dividen el espacio en un conjunto regular de líneas y colum-

nas. Cada casilla de este conjunto o retícula a veces se denomina pixel, que significa elemento de imagen y pone de manifiesto el origen de este modelo de datos en la te-
leobservación o el procesamiento de imágenes. En la mayor parte de los sistemas en forma de cuadrícula, el valor del atributo en una ubicación dada, por ejemplo, la altura, se almacena en la casilla correspondiente de la cuadrícula. La base de datos en forma de cuadrícula para la altura es entonces simplemente una larga lista de números que representan la altura. La única información adicional que requiere el sistema es la cantidad de filas y columnas de la imagen de la cuadrícula, el tamaño de las casillas (que generalmente son cuadradas) en unidades del mundo real (como metros o pies), y las coordenadas de uno de los ángulos de toda la cuadrícula (véase el gráfico A.I.7). Esta información se almacena, por lo general, en un encabezamiento o en un pequeño archivo separado y permite que el sistema calcule las dimensiones de la grilla. Por ejemplo, la coordenada x del ángulo superior derecho es $150+10 \times 20=350$. El sistema puede utilizar esta información para registrar la grilla de la cuadrícula en forma coherente con otras capas de datos, por ejemplo para trazar vectores que representan características sobre la grilla.

Gráfico A.I.7. Ejemplo de un archivo de datos en cuadrícula



Archivo de datos ASCII en cuadrícula

Cantidad de columnas	10								
Cantidad de filas	8								
Ángulo inferior izquierdo x	150								
Ángulo inferior izquierdo y	320								
Tamaño de la casilla (cuadrada)	20								
219	313	407	462	681	783	689	877	595	540
297	274	407	501	642	744	650	955	556	501
336	391	368	501	603	783	689	994	595	462
414	430	485	579	642	861	767	1072	673	501
609	508	524	618	720	900	806	1267	712	579
531	703	602	696	759	978	884	1189	790	618
453	625	797	891	837	1173	1079	1111	985	696
375	547	719	813	1032	1095	1001	1033	907	891

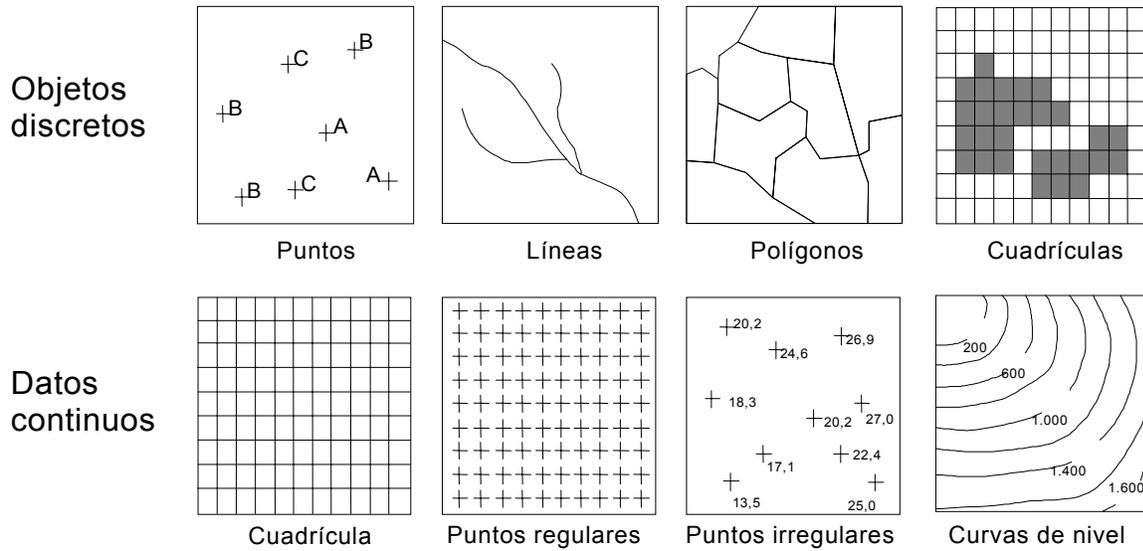
Este método de almacenamiento es, por cierto, muy ineficaz cuando en la cuadrícula hay muchas casillas con valores similares. Por ejemplo, muchas veces se usa este formato para almacenar objetos discretos. Un mapa distrital en este formato mostraría en cada casilla el identificador del distrito o la población total del distrito en el que cae la casilla. Evidentemente, habrá muchas casillas contiguas con el mismo valor. Por ello, la mayor parte de los sistemas de SIG en cuadrícula utilizan algún tipo de com-

presión de datos. La más sencilla es la codificación en la que el sistema almacena pares de números: los valores de los datos y la cantidad de veces que el valor se repite, con lo que se puede reducir significativamente el tamaño de los archivos.

Las cuadrículas se usan, en la mayoría de los casos, para almacenar los datos que varían continuamente o imágenes que muestran muchos tonos grises continuos. Así como se pueden mostrar objetos discretos en formato de cuadrícula, los datos continuos también pueden repre-

sentarse usando estructuras de datos en forma de vector. El ejemplo más claro son las curvas de nivel, que muestran la altura en los mapas topográficos. En el gráfico A.I.8 pueden verse más ejemplos.

Gráfico A.I.8. Tanto los vectores como las cuadrículas pueden usarse para mostrar datos discretos y continuos



3. Ventajas y desventajas de los modelos de datos en vectores y en cuadrícula

El punto fuerte del modelo de cuadrícula es su simplicidad. Muchas operaciones sobre datos geográficos son más fáciles de implementar y más rápidas de ejecutar en un modelo de SIG en cuadrícula. La modelización de datos continuos, como se hace con la altura o los datos hidrológicos, generalmente se realiza con un SIG en cuadrícula. Una desventaja es que la precisión con que pueden representarse las características espaciales se logra a expensas del tamaño de los conjuntos de datos resultantes. Una cuadrícula muy precisa representará todas las curvas en una frontera con detalle suficiente, pero requerirá mucho espacio de disco.

La mayoría de las operaciones de SIG pueden realizarse con ambos modelos de datos. La elección del modelo apropiado dependerá de la aplicación. Para los censos y muchas otras aplicaciones socioeconómicas, el modelo de vectores es más adecuado, ya que las estructuras de datos de este tipo permiten una representación más compacta de los puntos y polígonos que definen a los objetos socioeconómicos. La estrecha conexión con los sistemas de gestión de bases de datos permite que se realicen aplicaciones socioeconómicas

que se caracterizan por una gran cantidad de información sobre atributos —por ejemplo, cientos de variables de censos o encuestas— vinculada a una cantidad fija de características espaciales, como los distritos censales, los poblados o los conglomerados para encuestas. Por último, los productos impresos de las bases de datos de SIG en forma de vectores generalmente se asemejan más a los mapas realizados con técnicas cartográficas tradicionales.

Incluso así, la capacidad de manejar datos en cuadrícula es cada vez más importante cuando se trata de aplicaciones relativas a la población. Algunos de los datos de entrada que son útiles para delimitar las zonas de empadronamiento vienen en forma de cuadrícula. En el capítulo II, por ejemplo, se examina la utilización de las imágenes obtenidas mediante la teleobservación para crear o actualizar la cartografía de los censos. Afortunadamente, la elección entre un modelo de datos u otro no tiene que ser excluyente. Muchos de los programas de SIG sirven hoy en día para ambos tipos de datos espaciales. Esto permite, por ejemplo, utilizar los datos en cuadrícula como base sobre la cual pueden trazarse características lineales o poligonales. En consecuencia, las imágenes obtenidas mediante teleobservación o las superficies en altura pueden mostrarse en

la pantalla de una computadora junto con otra información pertinente para facilitar la delimitación las zonas de empadronamiento.

4. Precisión o exactitud

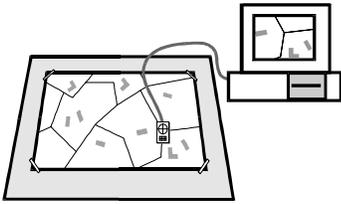
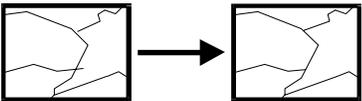
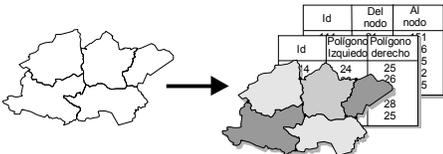
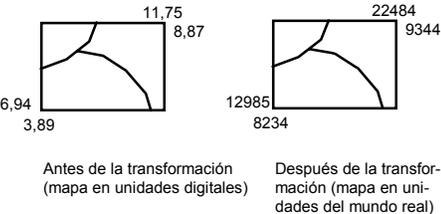
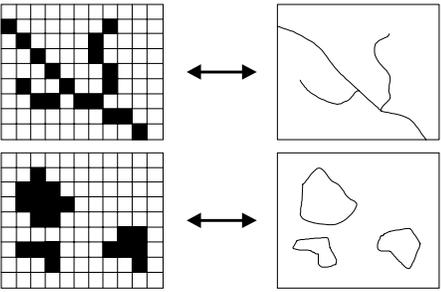
Los términos precisión y exactitud por lo general se usan indistintamente, aunque tienen significados diferentes. Exactitud se refiere a la inexistencia de errores. En un contexto espacial, por ejemplo, la coordenada exacta de un punto en una base de datos de SIG se registra en el lugar correcto con respecto a la verdadera ubicación del punto en la superficie terrestre. La precisión, por el contrario, se refiere a la capacidad de distinguir entre pequeñas cantidades o distancias en la medición. Por ejemplo, si nuestros instrumentos de reconocimiento miden coordenadas únicamente en metros, las ubicaciones de los puntos en nuestro SIG sólo serán exactas dentro del metro más próximo. Si tenemos un instrumento de medición más preciso, podremos obtener coordenadas de puntos que son exactas al centímetro o milímetro más próximo.

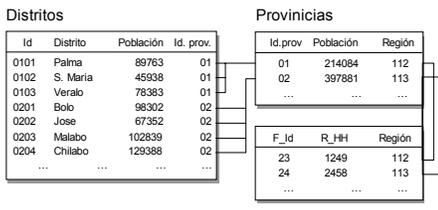
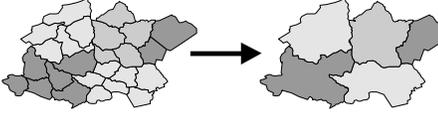
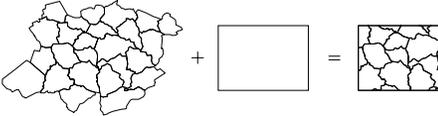
En la práctica, la precisión con que se pueden almacenar las coordenadas en un SIG de vectores es prácticamente infinita porque se utilizan tipos de datos de doble precisión (8 bytes para cada número de coma flotante) para almacenar las coordenadas geográficas. Sin embargo, la exactitud de éstas depende en gran medida de los instrumentos que se usan para reunir datos. Los mejores instrumentos de reconocimiento que se emplean en aplicaciones de ingeniería o investigación sobre tectónica de placas logran una exactitud de menos de un milímetro. Pero la mayor parte de los datos que se usan en un SIG provienen de fuentes mucho menos exactas, como los mapas de papel, los sistemas de mano de determinación de posición o incluso bocetos de mapas trazados mientras se trabaja en el terreno. En estos casos, es más probable que la exactitud se mida en metros antes que en milímetros.

C. Capacidades de los SIG

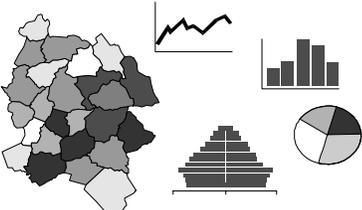
En el cuadro siguiente se da un panorama general de las capacidades de los SIG. La lista no es exhaustiva, ya que los programas avanzados y aun los programas cartográficos para las computadoras personales ofrecen muchas funciones especializadas para la entrada, manipulación, análisis y visualización de los datos.

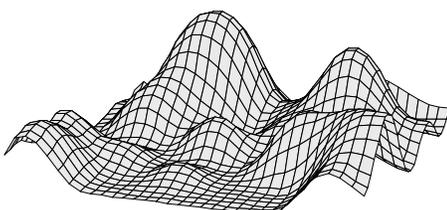
Ingreso y gestión de los datos

<p>Trazado de líneas, ingreso de datos de coordenadas</p>	<p>La forma más común de entrada de datos de coordenadas sigue siendo usar un digitalizador. Las líneas se trazan sobre un mapa de papel con un cursor y se captan en el SIG o en programas de digitalización. Otra posibilidad es escanear los mapas para crear otros de bits en cuadrícula que luego se convierten al formato de vectores.</p>																						
<p>Edición</p>	<p>Una vez que las líneas se han digitalizado, hay que verificar que los datos no tengan errores. Los problemas más habituales son las líneas no conectadas (por exceso o por defecto), las líneas faltantes o las líneas digitalizadas dos veces. En los SIG, algunas de estas operaciones están automatizadas.</p>																						
<p>Elaboración de la patología</p>	<p>Las líneas digitalizadas o vectorizadas no tienen ninguna relación entre sí. Los programas de SIG pueden computar relaciones de cercanía y conectividad entre las características del conjunto de datos.</p>	 <table border="1" data-bbox="1208 856 1370 1010"> <thead> <tr> <th>Id</th> <th>Del nodo</th> <th>Al nodo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>16</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>24</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>25</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>28</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	Id	Del nodo	Al nodo	1	16	5	2	5	2	3	2	9	4	24	25	5	25	28	6	28	25
Id	Del nodo	Al nodo																					
1	16	5																					
2	5	2																					
3	2	9																					
4	24	25																					
5	25	28																					
6	28	25																					
<p>Georreferenciación y cambio de proyección</p>	<p>Las líneas digitalizadas se miden en centímetros o pulgadas. Deben convertirse a unidades del mundo real correspondientes al sistema de coordenadas del mapa de origen, como metros o pies. Para la integración de los datos, quizás también tenga que modificarse la proyección de los mapas digitales.</p>	 <p>Antes de la transformación (mapa en unidades digitales) Después de la transformación (mapa en unidades del mundo real)</p>																					
<p>Conversión cuadrícula-vector</p>	<p>La mayoría de los programas de SIG comerciales permiten actualmente crear de alguna forma imágenes en cuadrícula. Como cada modelo de datos sirve para diferentes tareas, debe haber funciones para convertir uno en otro. El pasaje de cuadrícula a vector también se usa para la conversión automática de los mapas escaneados. La operación contraria —de vector a cuadrícula— es necesaria para el análisis y la modelización en un SIG en cuadrícula.</p>																						

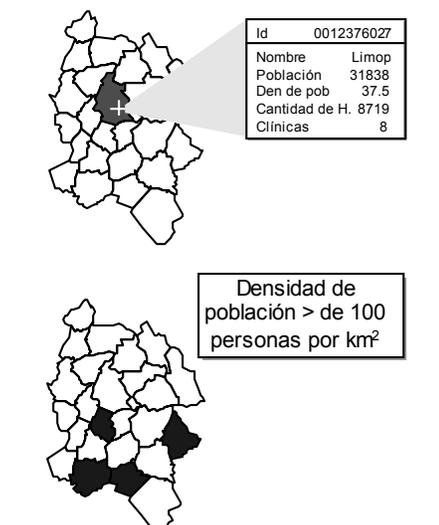
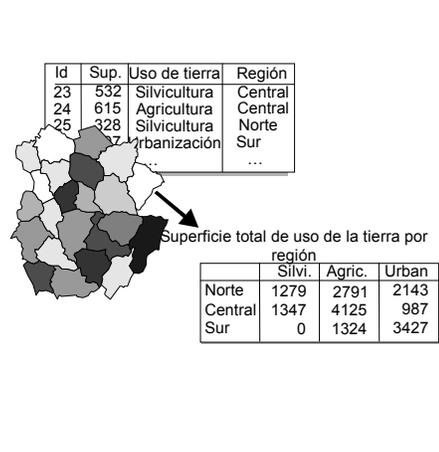
<p>Gestión de datos de atributos</p>	<p>Cada característica de la base de datos tiene asignado un único identificador, que actúa de vínculo con la información externa sobre las características geográficas. Para permitir la manipulación y el análisis de los cuadros de atributos, el SIG generalmente se integra en un sistema de gestión de una base de datos relacionales.</p>	 <p>The diagram illustrates a relational database structure. It features two tables: 'Distritos' and 'Provincias'. The 'Distritos' table has columns for 'Id', 'Distrito', 'Población', and 'Id. prov.'. The 'Provincias' table has columns for 'Id. prov.', 'Población', and 'Región'. Lines connect the 'Id. prov.' column in the 'Distritos' table to the 'Id. prov.' column in the 'Provincias' table, indicating a foreign key relationship. Below the 'Provincias' table, there is a smaller table with columns 'F_id', 'R_J#1', and 'Región', which appears to be a summary or aggregation table.</p>
<p>Reclasificación y agregación</p>	<p>Un SIG permite la agregación de características basadas en un identificador común. Por ejemplo, las zonas de empadronamiento pueden agruparse en zonas censales operativas de aproximadamente la misma población.</p>	 <p>The image shows a map of a region divided into many small, irregular polygons representing administrative units. An arrow points to a second map of the same region, but where the small units have been grouped into a few larger, more regular polygons, representing census zones.</p>
<p>Creación de subconjuntos, analogías</p>	<p>Además de la selección de subconjuntos de acuerdo con las diferentes consultas, un SIG también puede crear subconjuntos adaptados a las necesidades de los usuarios utilizando operaciones de analogía.</p>	 <p>The diagram shows a map of a region divided into many small polygons. A plus sign (+) is followed by a small empty square box, and an equals sign (=) is followed by a map where only a subset of the original polygons is shown, representing the result of a selection or analogical operation.</p>

Visualización

	<p>La producción de mapas con fines de visualización es una de las tantas aplicaciones de la cartografía en un SIG. La simbolización cartográfica también es importante para distinguir características en la edición y el análisis en pantalla.</p>	<p>Funciones cartográficas</p>
<p>Visualización combinada de datos en forma de imágenes y vectores</p>	<p>Los datos en forma de imágenes o cuadrícula provienen de distintas fuentes: los mapas escaneados, las imágenes obtenidas mediante teleobservación, y los datos de SIG en cuadrícula que se almacenan en algún tipo de grilla. La visualización combinada de los datos en vector y en cuadrícula puede proporcionar un contexto valioso para el análisis, y permite extraer características específicas de los datos en cuadrícula.</p>	 <p>The image shows a grayscale aerial photograph of a town. Overlaid on the photograph is a white vector map showing roads and building footprints, illustrating the combination of image and vector data.</p>
<p>Vínculo con la preparación de gráficos estadísticos</p>	<p>Los análisis de los datos espaciales generalmente serán una combinación de cartografía y examen de los datos de los atributos. Los gráficos estadísticos son valiosos, especialmente si pueden mostrarse en los mapas.</p>	 <p>The image shows a map of a region with several statistical charts overlaid. There is a line graph showing a fluctuating trend, a bar chart with four bars of increasing height, a pyramid chart with multiple horizontal layers, and a pie chart divided into three segments.</p>

<p>Visualización tridimensional de superficies</p>	<p>Los datos continuos, como la altura o las precipitaciones —y hasta cierto punto también la densidad de población — pueden mostrarse en varios formatos: cuadrículas, curvas de nivel o visualizaciones tridimensionales simuladas, usando como marco una rejilla sobre la que puedan bosquejarse otras características.</p>	
--	--	--

Consulta

<p>Consultas de la base de datos espaciales</p>	<p><i>¿Qué hay en...? y ¿Dónde se encuentra...?</i> son las preguntas de índole geográfica más fundamentales que puede responder un SIG. En un modo sencillo de búsqueda, un usuario pueden seleccionar características en un mapa digital y obtener información sobre ellas. A la inversa, el usuario también puede seleccionar características que concuerdan con un conjunto de criterios y visualizarlas en el mapa. Los SIG generalmente están vinculados a programas de gestión de bases de datos y las operaciones de consulta se basan en el concepto de SQL. Los SIG también permiten consultas basadas en relaciones geográficas, como distancias (<i>¿Qué hay a x km de este lugar?</i>) o basadas en dos o más capas de datos de SIG (<i>¿Qué edificios se encuentran en esta zona de empadronamiento?</i>).</p>																																									
<p>Resumen de atributos</p>	<p>Las operaciones de la base de datos nos permiten extraer útiles estadísticas resumidas o tabulaciones cruzadas del cuadro de atributos geográficos del conjunto de datos de un SIG. Por ejemplo, se puede calcular el valor mínimo, el máximo y el promedio de un campo del cuadro. O se pueden tabular en forma cruzada dos o más campos del cuadro y producir totales resumidos de un tercer campo para cada combinación de categorías de atributos. Esto nos permite, por ejemplo, calcular la superficie total dedicada a cada clase de uso de la tierra en las regiones de un país. Por lo general, se usan las tabulaciones cruzadas después de combinar dos o más capas de SIG por medio de una operación de superposición de polígonos (véase más adelante).</p>	 <table border="1" data-bbox="974 1270 1226 1375"> <thead> <tr> <th>Id</th> <th>Sup.</th> <th>Uso de tierra</th> <th>Región</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23</td> <td>532</td> <td>Silvicultura</td> <td>Central</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>615</td> <td>Agricultura</td> <td>Central</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>328</td> <td>Silvicultura</td> <td>Norte</td> </tr> <tr> <td>27</td> <td>37</td> <td>Urbanización</td> <td>Sur</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1128 1438 1372 1543"> <caption>Superficie total de uso de la tierra por región</caption> <thead> <tr> <th></th> <th>Silvi.</th> <th>Agric.</th> <th>Urban</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Norte</td> <td>1279</td> <td>2791</td> <td>2143</td> </tr> <tr> <td>Central</td> <td>1347</td> <td>4125</td> <td>987</td> </tr> <tr> <td>Sur</td> <td>0</td> <td>1324</td> <td>3427</td> </tr> </tbody> </table>	Id	Sup.	Uso de tierra	Región	23	532	Silvicultura	Central	24	615	Agricultura	Central	25	328	Silvicultura	Norte	27	37	Urbanización	Sur		Silvi.	Agric.	Urban	Norte	1279	2791	2143	Central	1347	4125	987	Sur	0	1324	3427
Id	Sup.	Uso de tierra	Región																																							
23	532	Silvicultura	Central																																							
24	615	Agricultura	Central																																							
25	328	Silvicultura	Norte																																							
27	37	Urbanización	Sur																																							
...																																							
	Silvi.	Agric.	Urban																																							
Norte	1279	2791	2143																																							
Central	1347	4125	987																																							
Sur	0	1324	3427																																							

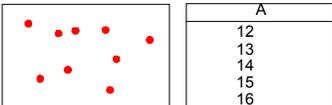
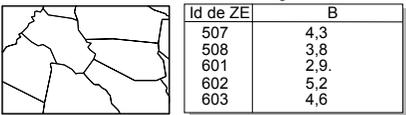
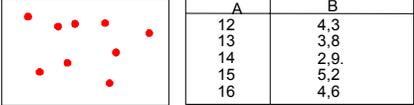
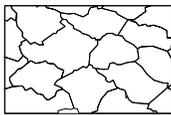
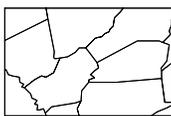
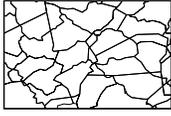
Transformaciones de datos espaciales

<p>Interpolación</p>	<p>También denominada cambio de base, la interpolación nos permite crear una cobertura total a partir de los datos de muestra. Por ejemplo, sobre la base de una serie de pluviómetros podemos crear una superficie cuadriculada que muestra las precipitaciones en toda la región. Más importante para las aplicaciones socioeconómicas es la denominada interpolación de área. Por ejemplo, usando la población por distrito, quisiéramos estimar la población de las regiones donde se realiza vigilancia ambiental pero cuyos límites no coinciden con los de los distritos.</p>	
-----------------------------	--	--

Operaciones de distancia

<p>Cálculos sencillos de distancia</p>	<p>El cálculo de la distancia es una de las operaciones fundamentales de los SIG. Las distancias pueden calcularse como líneas rectas o como una red. Por ejemplo, a partir de una base de datos viales, se pueden estimar las distancias y los tiempos de viaje.</p>	
<p>Zonas tampón</p>	<p>Un tipo especial de operación de distancias es la creación de zonas tampón alrededor de puntos, rectas o polígonos, zonas que pueden ponderarse por los valores de los atributos. Por ejemplo, los caminos afirmados podrían tener un tampón más ancho que los de tierra. Las zonas tampón se usan mucho en las averiguaciones espaciales. Por ejemplo, para identificar la cantidad de casos de esquistosomiasis en un radio de 3 km de un río, deberían crearse en secuencia, una zona tampón, una operación de punto en polígono y una consulta en la base de datos.</p>	
<p>Ubicación de la característica más cercana</p>	<p>Cuando se necesita identificar la característica más cercana de un conjunto de ellas en una categoría dada, se utiliza una combinación de consulta de la base de datos y cálculo de la distancia. Por ejemplo, se quiere calcular la distancia al hospital más cercano desde todos los puntos de un distrito. El conjunto resultante de datos de SIG suele denominarse superficie de accesibilidad.</p>	
<p>Polígonos de Thiessen</p>	<p>Una variante de la función “encontrar la característica más cercana” es una operación en la que se divide toda la región en polígonos que se asignan a la unidad de servicios más cercana. Las unidades resultantes se denominan polígonos de Thiessen. Esta función se usa a menudo para crear sencillas zonas de influencia o de servicios.</p>	

Combinación de capas de datos

<p>Operación de punto o línea en polígono</p>	<p>Muchas de las preguntas que un SIG puede ayudar a responder requieren que se combinen varios conjuntos de datos. Por ejemplo, podemos tener un conjunto de coordenadas puntuales que representan conglomerados de una encuesta demográfica y quisiéramos combinar esta información con datos del censo que tenemos por zona de empadronamiento. El SIG identificará para cada punto la zona de empadronamiento (ZE) en la que se encuentra y adjuntará los datos del censo al registro de atributos de ese punto de la encuesta.</p> <p>La misma operación nos permite resumir un atributo de las características de un punto o una recta para un conjunto de regiones. Por ejemplo, podemos determinar la tasa media de fecundidad para cada distrito sanitario utilizando una muestra de los hogares encuestados (puntos).</p>	 <p>+ A: Id del conglomerado</p> <table border="1" data-bbox="1128 346 1282 451"> <thead> <tr> <th colspan="2">A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>12</td></tr> <tr><td>13</td></tr> <tr><td>14</td></tr> <tr><td>15</td></tr> <tr><td>16</td></tr> </tbody> </table>  <p>= B: Tamaño medio del hogar</p> <table border="1" data-bbox="1128 483 1356 598"> <thead> <tr> <th>Id de ZE</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>507</td><td>4,3</td></tr> <tr><td>508</td><td>3,8</td></tr> <tr><td>601</td><td>2,9</td></tr> <tr><td>602</td><td>5,2</td></tr> <tr><td>603</td><td>4,6</td></tr> </tbody> </table>  <table border="1" data-bbox="1128 630 1364 735"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>12</td><td>4,3</td></tr> <tr><td>13</td><td>3,8</td></tr> <tr><td>14</td><td>2,9</td></tr> <tr><td>15</td><td>5,2</td></tr> <tr><td>16</td><td>4,6</td></tr> </tbody> </table>	A		12	13	14	15	16	Id de ZE	B	507	4,3	508	3,8	601	2,9	602	5,2	603	4,6	A	B	12	4,3	13	3,8	14	2,9	15	5,2	16	4,6											
A																																												
12																																												
13																																												
14																																												
15																																												
16																																												
Id de ZE	B																																											
507	4,3																																											
508	3,8																																											
601	2,9																																											
602	5,2																																											
603	4,6																																											
A	B																																											
12	4,3																																											
13	3,8																																											
14	2,9																																											
15	5,2																																											
16	4,6																																											
<p>Superposición de polígonos</p>	<p>Es la combinación de dos conjuntos de datos de SIG sobre las características de una zona. El sistema fusiona los conjuntos de datos y crea unidades nuevas a partir de las zonas que se superponen. El nuevo conjunto de datos resultante contendrá los atributos de ambos conjuntos de datos. Según los tipos de datos, el atributo debe permanecer igual (por ejemplo, los cocientes o la información sobre categorías) o debe dividirse entre los polígonos nuevos (por ejemplo, los datos de conteo).</p> <p>La superposición de polígonos se usa generalmente en combinación con las tabulaciones cruzadas, por ejemplo, para computar datos de censos por zona de uso de la tierra.</p>	 <table border="1" data-bbox="1120 1050 1315 1165"> <thead> <tr> <th>Id pob.</th> <th>Den. de población</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>103</td><td>23,7</td></tr> <tr><td>104</td><td>110,5</td></tr> <tr><td>105</td><td>35,7</td></tr> <tr><td>201</td><td>96,8</td></tr> <tr><td>202</td><td>73,4</td></tr> </tbody> </table> <p>+</p>  <table border="1" data-bbox="1120 1186 1339 1302"> <thead> <tr> <th>Id de uso tierra</th> <th>Uso de tierra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2308</td><td>Forest</td></tr> <tr><td>2712</td><td>Urban</td></tr> <tr><td>2487</td><td>Agric.</td></tr> <tr><td>3102</td><td>Agric.</td></tr> <tr><td>2402</td><td>Urban</td></tr> </tbody> </table> <p>=</p>  <table border="1" data-bbox="1120 1333 1356 1449"> <thead> <tr> <th>Id nuevo</th> <th>Den pob</th> <th>Uso tierra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>23</td><td>110,5</td><td>Silvi.</td></tr> <tr><td>24</td><td>110,5</td><td>Agric.</td></tr> <tr><td>25</td><td>73,8</td><td>Silvi.</td></tr> <tr><td>26</td><td>96,8</td><td>Urban</td></tr> <tr><td>27</td><td>73,4</td><td>Agric.</td></tr> </tbody> </table>	Id pob.	Den. de población	103	23,7	104	110,5	105	35,7	201	96,8	202	73,4	Id de uso tierra	Uso de tierra	2308	Forest	2712	Urban	2487	Agric.	3102	Agric.	2402	Urban	Id nuevo	Den pob	Uso tierra	23	110,5	Silvi.	24	110,5	Agric.	25	73,8	Silvi.	26	96,8	Urban	27	73,4	Agric.
Id pob.	Den. de población																																											
103	23,7																																											
104	110,5																																											
105	35,7																																											
201	96,8																																											
202	73,4																																											
Id de uso tierra	Uso de tierra																																											
2308	Forest																																											
2712	Urban																																											
2487	Agric.																																											
3102	Agric.																																											
2402	Urban																																											
Id nuevo	Den pob	Uso tierra																																										
23	110,5	Silvi.																																										
24	110,5	Agric.																																										
25	73,8	Silvi.																																										
26	96,8	Urban																																										
27	73,4	Agric.																																										

Anexo II

Sistemas de coordenadas y proyecciones cartográficas

A. Introducción

La reseña anterior de los conceptos de los SIG ha puesto de relieve los beneficios de la integración de los datos espaciales. Gracias a que la información geográfica se organiza como capas de datos, es posible realizar mediciones, consultas, modelizaciones y otros tipos de análisis que aprovechan datos provenientes de muchas disciplinas diferentes. Así, los datos de los censos pueden analizarse en combinación con los de uso de la tierra o agroecológicos, o bien puede vincularse la información proveniente de encuestas socioeconómicas con datos sobre el riesgo de enfermedades referenciados geográficamente. Esta capacidad de vincular datos provenientes de varias fuentes es posible merced a la integración vertical de diferentes capas de datos. Esto significa sencillamente que todos los conjuntos de datos geográficos están referenciados con un mismo sistema de coordenadas, de forma tal que, al superponerse, las capas de datos se alinean correctamente.

Cuando se construye una base de datos de SIG —por ejemplo, de un censo— quien se ocupe del desarrollo de los datos debe asegurarse que se registren las coordenadas y los límites espaciales que se obtienen de fuentes de datos en papel, nomencladores digitales o mientras se trabaja en el terreno, en un sistema de coordenadas adecuado. Este procedimiento se conoce como *georreferenciamiento*. Esto, a su vez, asegurará que los mapas digitales de regiones aledañas elaborados independientemente concuerden a la perfección cuando se visualizan juntos en la pantalla de una computadora o en una hoja impresa.

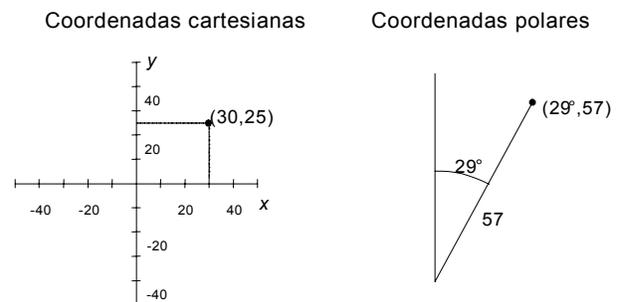
Para la cartografía censal que utiliza técnicas tradicionales, esto no interesa tanto, ya que los mapas en papel —muchas veces bocetos de mapas trazados en el terreno— sólo se utilizan con fines de empadronamiento. No se integran con otros datos ni se usan para ningún tipo de análisis espaciales. El conocimiento de los sistemas de coordenadas y de las proyecciones cartográficas no ha sido tan importante como en el caso de la creación de una base de datos digital que debe servir a muchas finalidades diferentes. En este anexo, se examinarán, en forma sucinta, algunos conceptos cartográficos importantes. Los libros de texto de cartografía, como el de Robinson y otros (1995), Kraak y Ormeling (1997) y Dent (1999) contienen mucha información adicional. Pueden encontrarse análisis más especializados sobre este tema

pecializados sobre este tema en Canters y Decler (1989), Snyder (1993) y Bugayevskiy y Snyder (1992).

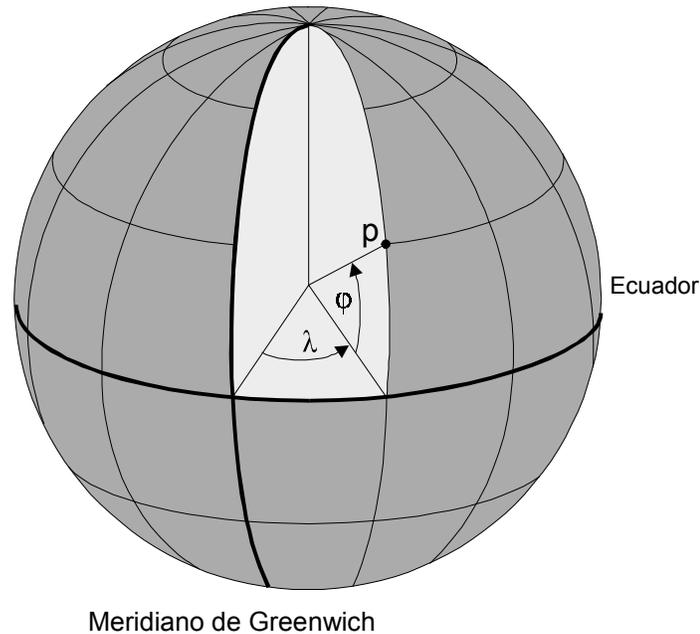
B. Coordenadas

En cartografía, el método por el que se miden las posiciones de los objetos en la superficie terrestre se denomina sistema de coordenadas geográficas. En términos de la geometría bidimensional, el sistema de coordenadas más usual es el de sistema de coordenadas cartesianas, así llamado en honor al científico francés René Descartes (1596-1650). Las coordenadas están dadas como distancias perpendiculares en dos ejes fijos (x e y) medidas a partir de un origen fijo. Este es el sistema que se usa en los SIG y también en aplicaciones informáticas gráficas más generales. Otro método que se puede usar para definir posiciones es el sistema de coordenadas polares, que mide el ángulo y la distancia desde un punto de origen fijo (véase el gráfico A.II.1).

Gráfico A.II.1. Sistemas de coordenadas planas y polares



Un mapa plano, sea en papel o en la pantalla de una computadora, muestra las coordenadas en el sistema plano bidimensional, donde las coordenadas se miden en unidades estándar, como metros o pies. Por lo general, las coordenadas se denominan coordenadas x e y , aunque las expresiones “al este” y “al norte” también se usan en los textos cartográficos. Sin embargo, los objetos de un mapa son una representación de características ubicadas en la superficie terrestre. Como la tierra es esférica, las coordenadas de la superficie terrestre se miden con un sistema de coordenadas esféricas. En general se utilizan específicamente coordenadas de latitud y longitud para referenciar la posición. Se trata de un sistema de coordenadas esféricas polares, donde cualquier punto p se define como el ángulo de latitud, ϕ , relativo al plano definido por el ecuador y el ángulo de longitud, λ , medido en relación con el plano definido por el cero o el meridiano de Greenwich (véase el gráfico A.II.2).

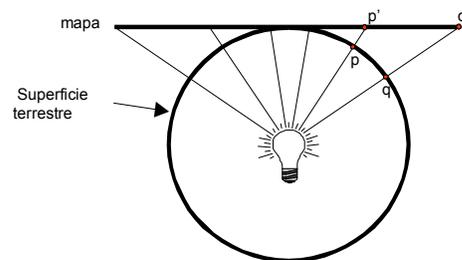
Gráfico A.II.2. Coordenadas en la esfera: el sistema de referencia en base a la latitud/longitud

Para producir mapas de papel de todo el mundo o de alguna parte de él, estas coordenadas esféricas de latitud y longitud deben convertirse de algún modo en un sistema de coordenadas planas. Un libro de reciente publicación sobre proyecciones cartográficas llama a este proceso de producción de representaciones bidimensionales de una parte de la esfera tridimensional “aplanamiento de la tierra” (Snyder, 1993).

Proyecciones cartográficas

El procedimiento matemático por el cual las coordenadas esféricas de latitud y longitud se convierten en coordenadas planas se denomina proyección cartográfica. Podemos concebir este procedimiento literalmente como una proyección si imaginamos una fuente de luz que se encuentra, por ejemplo, en el centro de la tierra. Si la superficie de la tierra fuera transparente, y tuviera delineadas sobre ella solamente los accidentes que nos interesan, sencillamente podríamos poner una hoja de papel sobre la tierra y trazar nuevamente los accidentes proyectados sobre esta superficie denominada desplegable. Por ejemplo, un accidente ubicado en el punto p sobre la superficie terrestre se ubicaría en el punto p' en el mapa. Como podemos observar en el gráfico A.II.3, cuanto más lejos se encuentra un punto de la ubicación donde el mapa toca la esfera terrestre, más se distorsiona la distancia relativa de los puntos más cercanos al punto tangente. Por ejemplo, la distan-

cia entre p y q en la esfera terrestre es mucho menor que la distancia entre p' y q' en el mapa. Los puntos en el ecuador no pueden proyectarse con este método, porque los rayos de luz que pasan por el ecuador corren paralelos al mapa. Por lo tanto, este método de proyección sólo es útil para las zonas que están relativamente cerca del punto tangente.

Gráfico A.II.3. Ilustración del procedimiento de proyección cartográfica (proyección acimutal)

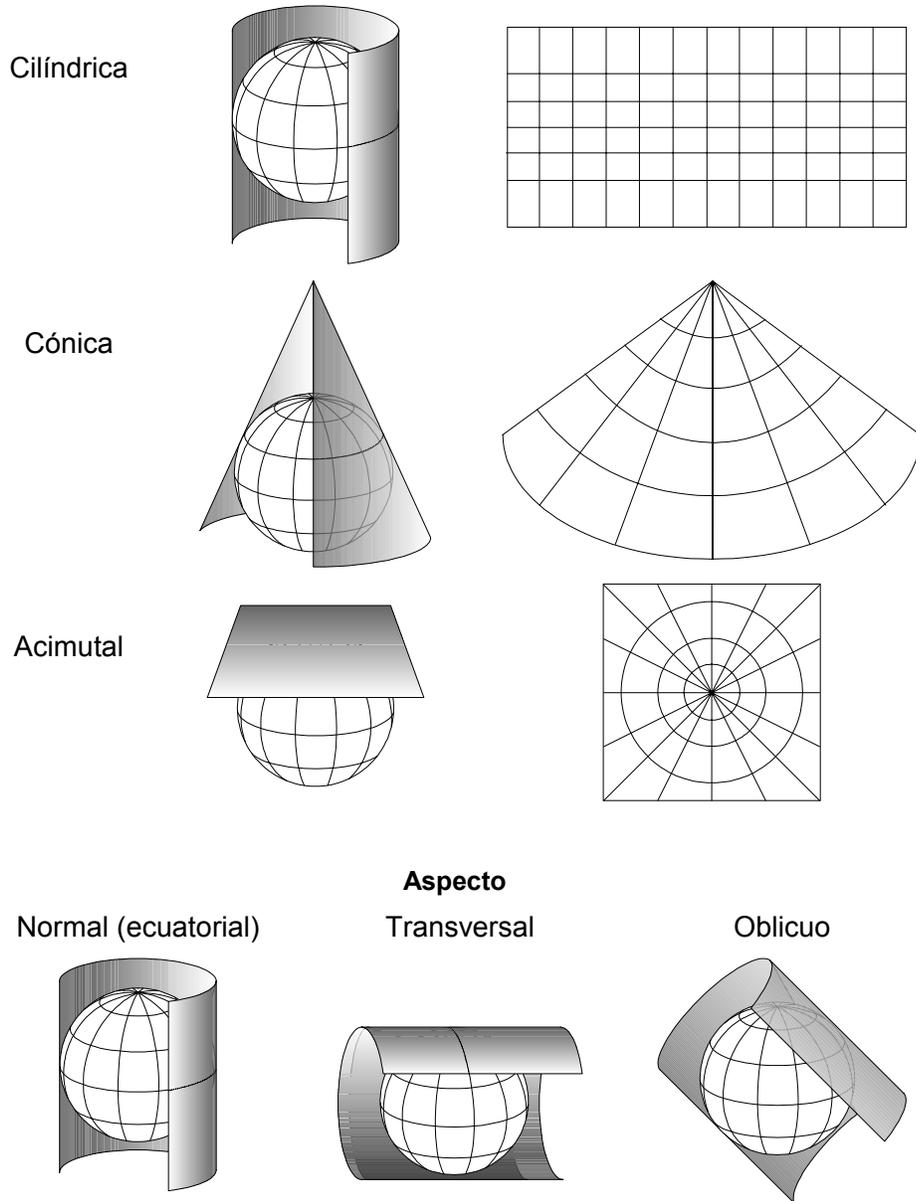
Los cartógrafos han ido desarrollando en el curso de siglos muchas proyecciones diferentes, que pueden clasificarse según la forma en que el mapa se ubica sobre el globo terráqueo o alrededor de él. En el gráfico A.II.4, se resumen tres tipos de proyecciones cartográficas —la cilíndrica, la cónica y la acimutal, y se muestra cómo se construyen. Como puede verse en la cuadrícula a la derecha, cada familia de proyecciones da

origen a una distribución determinada de cuadrículas de latitud/longitud.

Un cartógrafo también puede elegir la ubicación en la que la superficie desplegable el cilindro, el cono o el plano— toca la tierra. Esta línea o punto tangente es

generalmente la zona donde hay menos distorsiones de tamaño o forma. Si producimos mapas para una región en especial, podemos elegir entonces el aspecto de la proyección para optimizar la representación del sector que nos interesa.

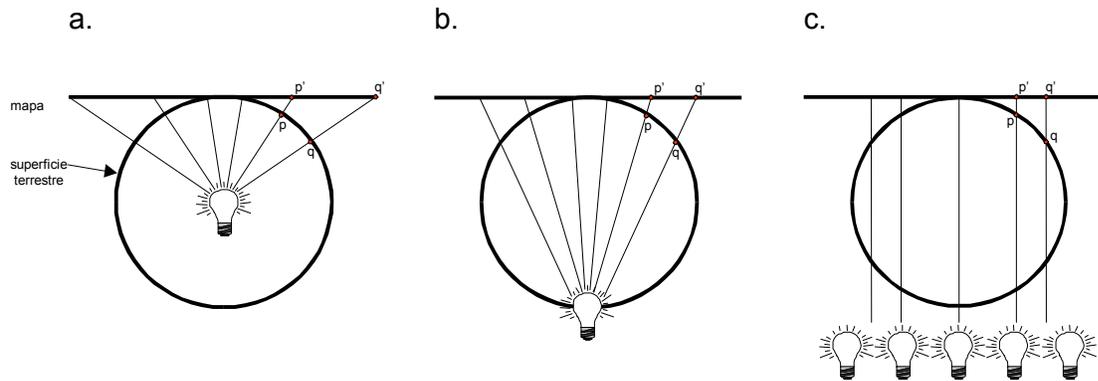
Gráfico A.II.4. Familias de proyecciones cartográficas



La fuente de luz hipotética no siempre se encuentra en el centro de la esfera terrestre (véase el gráfico A.II.5a), sino que puede ubicarse en el polo (véase el gráfico A.II.5b), o podríamos también imaginar una serie de fuentes de luz que emiten desde una base plana paralela al mapa, antes que desde un punto (véase el gráfico A.II.5c). En terminología cartográfica, estos

métodos de proyección se denominan gnomónico, este-reográfico y ortográfico respectivamente. Como puede verse a partir de la ubicación de los puntos proyectados p' y q' , cada uno de estos supuestos producirá un tipo diferente de distorsión de la posición relativa de las ubicaciones que se representan en el mapa.

Gráfico A.II.5. Diferentes formas de construir una proyección



C. Propiedades de las proyecciones cartográficas

Aunque la fuente de luz imaginaria es una buena manera de ilustrar el principio de las proyecciones cartográficas, en la práctica éstas se definen en términos matemáticos. Dadas la latitud y longitud de una ubicación, se utiliza una fórmula para obtener el punto correspondiente en el sistema de coordenadas planas de la proyección. El cartógrafo tiene muchas opciones diferentes para crear una proyección con características específicas. La forma en que la superficie desplegable se ubica alrededor del globo, el aspecto y la posición de la fuente de luz imaginaria son sólo algunos de los posibles parámetros.

Lamentablemente, no hay una forma perfecta de representar las coordenadas esféricas en un mapa bidimensional. Por ende, no hay ninguna proyección que sirva para todas las finalidades. Cada una logra preservar algunas características, pero no otras. Según el método que se haya utilizado para hacer la proyección, habrá diferentes tipos de distorsiones. Por lo tanto, las proyecciones cartográficas se clasifican según la propiedad que conservan. Las más importantes son:

- Superficies correctas. La mayoría de las proyecciones estiran las superficies sobre el mapa. Este estiramiento no es siempre constante en todo el

mapa, de modo tal que los accidentes que están cerca de los polos en un mapa mundial, por ejemplo, en general aparecen relativamente más grandes que los que se encuentran más cerca del ecuador. Por ejemplo, la península árabe es varios cientos de miles de kilómetros cuadrados más grande que la isla de Groenlandia. Pero en muchos mapas, esta última se ve varias veces más grande que la otra. Los mapas que muestran correctamente la superficie relativa de todas las características se denominan proyecciones de área equivalente. Un ejemplo es la proyección de Mollweide.

- Distancia igual. Ninguna proyección puede representar correctamente en un mapa las distancias entre todos los puntos. Es importante recordar esto, ya que una aplicación habitual de las bases de datos de los SIG es el cálculo de las distancias. Para los mapas de gran escala de una región geográfica pequeña, los errores son generalmente insignificantes. Pero para aplicaciones en que se usan mapas de pequeña escala de países o continentes, las distancias calculadas por un SIG no son confiables a menos que el sistema compense el error que se introduce cuando se calculan las distancias utilizando las coordenadas euclidianas en esta escala. Aun las proyecciones equidistantes no muestran todas las distancias correctamente,

aunque pueden representar con exactitud todas las distancias desde uno o dos puntos a todos los demás, o sobre una o más líneas. Un ejemplo es la proyección cónica equidistante. Cabe destacar que los cálculos muy exactos de distancia se hacen habitualmente usando fórmulas geométricas exactas antes que la sencilla distancia euclidiana. Estos cálculos se basan en las coordenadas de latitud y longitud para calcular la denominada distancia del círculo máximo.

- Ángulos correctos. Las proyecciones conformes conservan los ángulos alrededor de todos los puntos y formas en zonas pequeñas. Los meridianos y las latitudes se intersecan en ángulos rectos. Estas proyecciones son más útiles en navegación. Un ejemplo es la proyección Mercator.

Así pues, todas las proyecciones significan un compromiso entre las características cartográficas que se desean. Para cualquier aplicación dada, habrá entonces proyecciones cartográficas más apropiadas que otras. Además de las propiedades de las proyecciones, hay que considerar otros aspectos, como el tamaño de la región que se quiere representar, su extensión principal (por ejemplo, norte-sur frente a este-oeste) y la ubicación de la zona en el globo terráqueo (por ejemplo, polar, de latitud media o ecuatorial).

Los libros de cartografía y los manuales de SIG tienen listas integrales que muestran cuáles son las proyecciones que sirven mejor para una cierta aplicación. En algunos casos, la mejor elección puede ser una proyección que no conserva perfectamente ninguna propiedad. Por ejemplo, la proyección de Robinson, muy habitual en los mapas mundiales, está diseñada fundamentalmente con propósitos estéticos, como la preparación de los atlas. En otros casos, por ejemplo cuando se traza un mapa de una zona relativamente pequeña, las distorsiones de la proyección pueden ser insignificantes para una determinada aplicación.

En el gráfico.II.6 pueden verse algunas proyecciones cartográficas conocidas. En la parte superior, la tierra se muestra como una esfera y en coordenadas de latitud y longitud no proyectadas que se trazan como si fueran coordenadas planas. Puede agregarse que muchos distribuidores de datos de SIG divulgan datos cartográficos digitales en coordenadas “geográficas” no proyectadas, porque si bien la conversión de las coordenadas de latitud y longitud a cualquier sistema de proyección cartográfica suele ser sencilla para cualquier usuario, a veces es más difícil pasar de una proyección a otra.

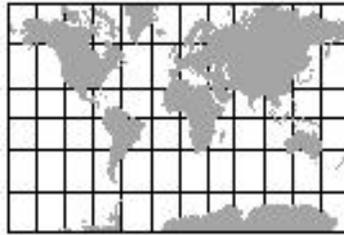
Gráfico A.II.6. Proyecciones cartográficas usuales

Globo terráqueo (la tierra desde el espacio) Sin proyección (geográfica o latitud/longitud)



Cilíndrica de área equivalente

Mercator



Cónica de área equivalente de Albers

Cónica equidistante



Plana de área equivalente de Lambert

Ecuatorial

Oblicua

Polar



De área equivalente de Mollweide

Robinson

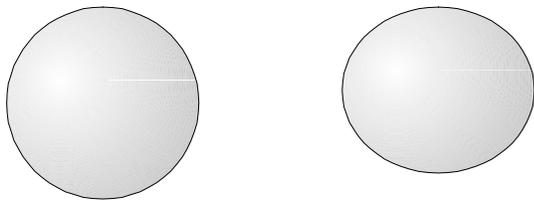


D. Cartografía de mayor precisión: dátums geográficos

El hecho de que la tierra no es una esfera perfecta, con un radio constante, hace que la conversión de coordenadas esféricas de latitud/longitud a coordenadas planas se vuelva más complicada. Las mediciones precisas muestran que la superficie terrestre es muy variable y que cambia continuamente. Y lo que es más importante, la tierra se aplana en los polos, de modo tal que la distancia desde el centro hasta el polo norte (el eje semimenor) es más corta que la distancia hasta el ecuador (eje semimayor). Para lograr mapas más precisos, es más exacto describir el globo terráqueo como un elipsoide o esferoide con una relación determinada entre los radios ecuatorial y polar (véase el gráfico A.II.7). Los parámetros que describen el elipsoide, el origen y la orientación del sistema de coordenadas que se usan para referenciar las características de un mapa se denominan dátum geodésico (por la ciencia que se ocupa de las mediciones de la tierra: la geodesia).

Gráfico A.II.7. Esfera o elipsoide

La tierra como esfera La tierra como elipsoide



Los parámetros más apropiados para aproximar el elipsoide difieren en las distintas partes de la tierra, por lo que se han definido cientos de dátums. Afortunadamente, cada organismo nacional de cartografía generalmente utiliza un sólo dátum estándar para todas sus actividades, y se usan sólo unos pocos para la cartografía regional, continental o mundial. Surgen complicaciones cuando un organismo cartográfico cambia el dátum estándar. Los dátums se han ido perfeccionando continuamente durante los últimos dos siglos, de modo que los mapas más antiguos de un lugar pueden estar basados en un dátum mientras que los más modernos se han compilado con otro más nuevo y más exacto.

En el caso de la cartografía de pequeña escala de una región extensa o en el de la preparación de bocetos de mapas en aplicaciones que no necesitan mucha exactitud, los problemas que plantean los diferentes dátums tienen poca importancia. Pero en el caso de la cartografía más precisa de gran escala, la diferencia

puede ser bastante significativa. En el gráfico A.II.1 pueden verse las coordenadas de la sede de las Naciones Unidas en el sistema de coordenadas Mercator transversa universal, que se trata con más detalle más adelante. Las coordenadas de latitud y longitud de la sede de las Naciones Unidas se trazaron en la misma proyección con dátums geodésicos diferentes. El desplazamiento norte a sur entre los anteriores esferoides de Clarke, que han sido la norma en los Estados Unidos hasta hace poco tiempo, y el Sistema Geodésico Mundial, más nuevo, es de alrededor de 300 metros sobre la superficie o de más de 1 cm en un mapa en escala 1:25.000. Si la tierra se considera como una esfera perfecta antes que como un elipsoide, habría una diferencia de más de 18 km.

Cuadro A.II.1. Proyección de las coordenadas de la sede de las Naciones Unidas en Nueva York con diferentes elipsoides de referencia

Elipsoide de referencia	Coordenadas Mercator Transversa Universal (metros)	
	Este (x)	Norte (y)
Clarke, 866	587141,3	4511337,0
Clarke, 1880	587142,6	4511245,0
Sistema geodésico mundial 84	587139,0	4511549,0
Bessel	587128,5	4511095,0
Esfera	586917,2	4529920,0

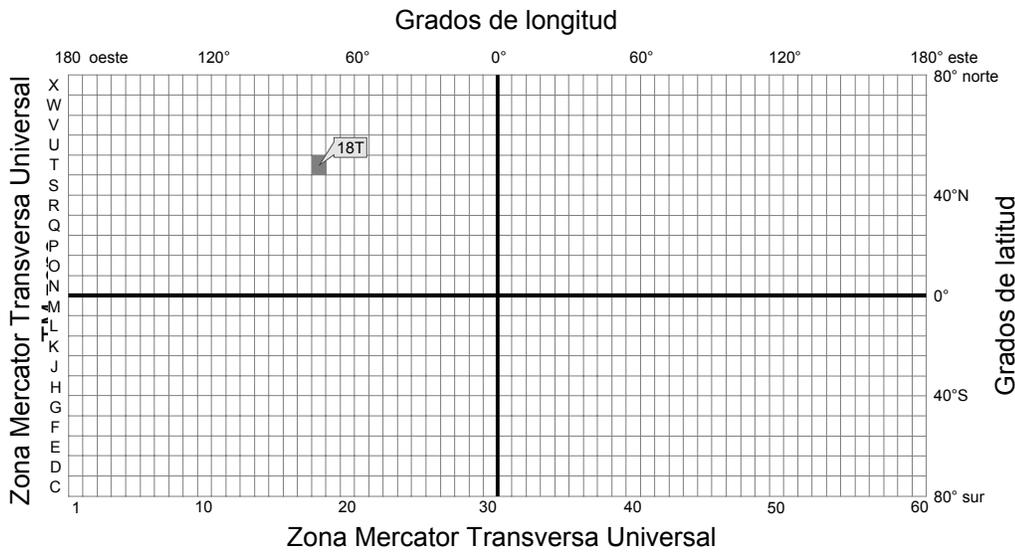
Sistema de referencia Mercator Transversa Universal

Uno de los sistemas de referencia cartográfica que merece ser estudiado con mayor detalle es el sistema Mercator Transversa Universal. Es uno de los sistemas que se usa con mayor frecuencia para los mapas de gran escala en todo el mundo. Se basa en una proyección transversal cilíndrica (Mercator Transversa), donde el cilindro toca el mundo a lo largo de un meridiano. Se selecciona un meridiano “local” diferente para distintas partes del mundo. Las distorsiones de escala, tamaño y distancia a lo largo de esta tangente son muy pequeñas. Este sistema consta de 60 zonas de longitud (véase el gráfico A.II.8).

Cada zona tiene un ancho de seis grados de longitud, tres grados en cada dirección desde el meridiano tangente. Las zonas del sistema se numeran en secuencia de oeste a este comenzando con 1 para la zona que cubre los 180° O hasta los 174° O, con el meridiano central de 177° O. Además, las zonas se subdividen en

filas, con una altura de 8°, a las que se les asignan letras de sur a norte comenzando a los 80° sur con la letra C. Como la distorsión en los polos es muy grande, no se definen zonas para las regiones que se encuentran más allá de estos límites.

Gráfico A.II.8. El sistema Mercator Transversa Universal

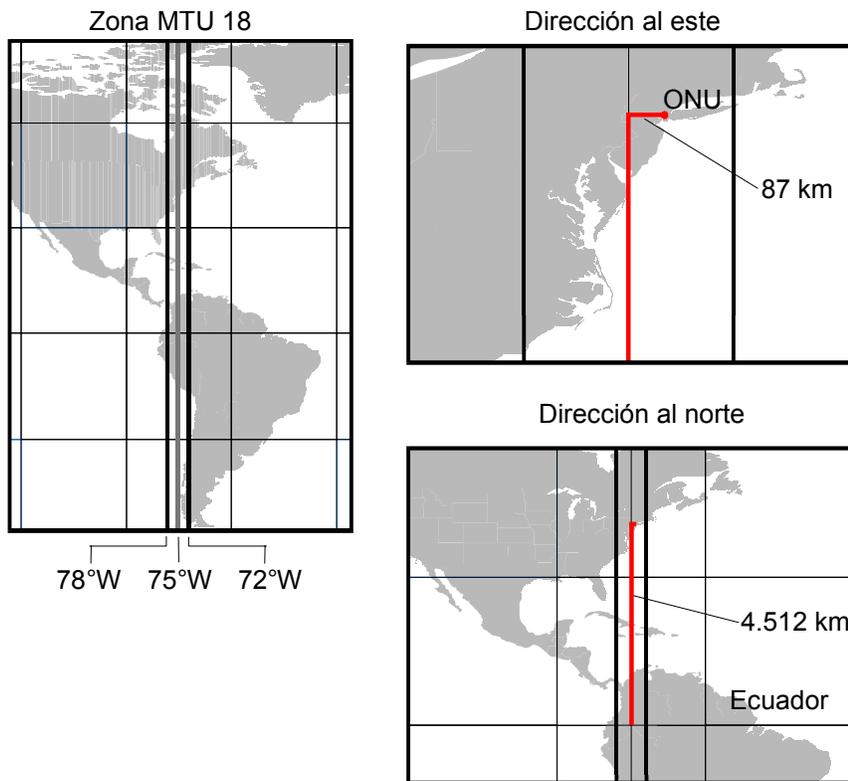


Las coordenadas se miden en metros (o pies) desde el meridiano central como “al este” y “al norte”. Para evitar números negativos, se agrega 500.000 al este. Por la misma razón, se agregan 10 millones al norte, pero sólo para las coordenadas del hemisferio sur. Estas diferencias se denominan “coordenada este falsa” y “coordenada sur falsa”.

En el gráfico A.II.9 puede verse un ejemplo que ilustra el uso del sistema. La sede de las Naciones Unidas

en Nueva York se encuentra en 40° 45' 01'' de latitud norte y 73° 58' 04'' de longitud oeste. Esta ubicación cae dentro de la zona Mercator Transversa Universal 18T, que va desde 72° a 78° oeste y desde 40° a 48° norte. Las coordenadas Mercator Transversa Universal x e y en metros son 587.139,0 y 4.511.549,7. Esto significa que la sede de las Naciones Unidas se encuentra aproximadamente 87 km al este del meridiano central de la zona 18 (75° O) y alrededor de 4.512 km al norte del ecuador.

Gráfico A.II.9. La ubicación de la sede de las Naciones Unidas en el sistema de referencia Mercator Transversa Universal



E. Escala cartográfica

Los mapas que se publican varían mucho en lo que a superficie cubierta se refiere. Los mapas nacionales o regionales sólo muestran las características más importantes, mientras que en los locales pueden verse muchos detalles, como las casas o los arroyos. El tamaño o superficie que cubre un mapa estándar o digital está determinado por la escala cartográfica que se ha elegido para trazar el mapa. Esta escala está representada por una fracción que relaciona la distancia en el mapa con la distancia en el suelo en el mundo real. Por ejemplo, en un mapa topográfico con una escala de 1:25.000, 1 cm en el mapa representa 25.000 cm o 250 metros en el mundo real.

Como la escala es una fracción o un cociente, cuanto mayor es la distancia en tierra que se representa, menor será la escala del mapa. Por ejemplo, un mapa con una escala de 1:1.000.000 es de pequeña escala, ya que 1 dividido por un millón es un número muy pequeño (0,000001). Un mapa con una escala de 1:5.000 tiene una escala relativamente grande, ya que 1 dividido por 5.000 es un número relativamente más grande (0,0002). Por lo tanto, los mapas de pequeña escala

muestran zonas grandes, mientras que los de gran escala se centran en áreas pequeñas. En la práctica, la escala pequeña y la grande se confunden, pues el uso coloquial de “grande” y “pequeño” se refiere más bien a la superficie cubierta o al tamaño de los fenómenos, antes que a la fracción. Los modelos mundiales del clima, por ejemplo, se consideran normalmente de gran escala. Para evitar malos entendidos, se adopta entonces la convención útil de referirse a la “escala cartográfica” explícitamente.

Algunas escalas cartográficas comunes:

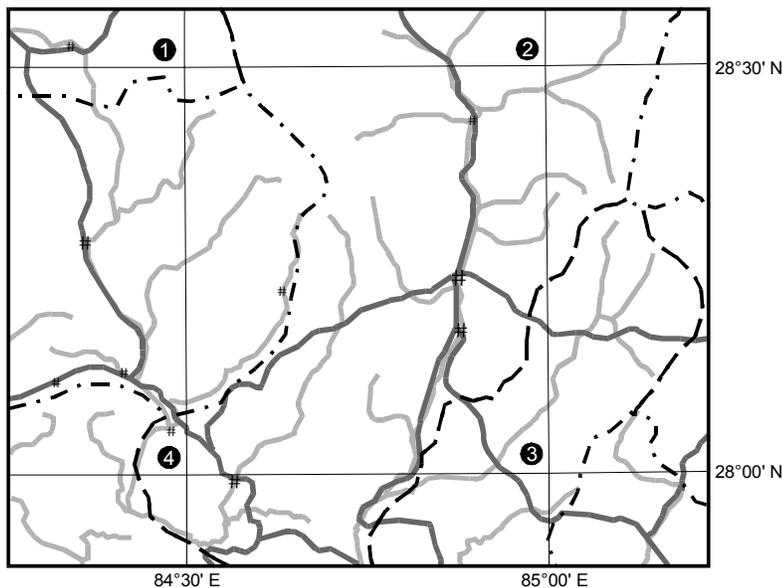
Escala del mapa	1 cm en el mapa representa	
1:5.000	50 metros	escala más grande
1:25.000	250 metros	
1:50.000	500 metros	
1:100.000	1 km	
1:500.000	5 km	
1:1 millón	10 km	escala más pequeña

Los datos geográficos digitales carecen esencialmente de escala. Una vez que se introducen las coordenadas que definen características geográficas en un

SIG, éstas pueden mostrarse en cualquier escala que se especifique. El usuario puede achicar o agrandar el mapa cuando explora los datos, y cambiar en consecuencia de escala rápida y fácilmente. Aun así, es importante recordar que es muy probable que los datos hayan sido derivados de las fuentes (mapas, imágenes, etc.) en una cierta escala. Los mapas impresos en diferentes escalas, por ejemplo, mostrarán distintos grados de detalle. En un mapa de escala 1:25.000, podrán verse las construcciones que hay en un poblado, mientras que en un mapa de escala 1: 500.000 todo el poblado se verá como un punto, si es que aparece.

El procedimiento por el cual las características de los mapas se simplifican o se agregan se denomina generalización, y constituye un componente importante de la confección de mapas. Con motivo de esta generalización de características —caminos de campo sinuosos se vuelven líneas rectas, los detalles en los límites de los distritos desaparecen— tiene poco sentido imprimir un mapa digitalizado de una lámina con escala de 1:250.000 en una escala de 1:5.000, o combinar conjuntos de datos digitales derivados de mapas con escalas muy diferentes. Esto demuestra que es muy importante indicar la escala del mapa fuente en la documentación de un conjunto de datos geográficos digitales.

Gráfico A.II.10. Puntos de control en un mapa impreso



El primer paso consiste en determinar puntos de control bien definidos, generalmente como parte del procedimiento de digitalización. Los puntos de control deben estar bien distribuidos en la zona de interés, para mejorar la estimación de los parámetros de transformación. Esto

Además, debido a estas cuestiones de escala, en cualquier proyecto cartográfico digital grande, es crucial determinar al principio los requisitos de escala del producto, de modo que el desarrollo de la base de datos se base en fuentes apropiadas.

F. Un ejemplo de georreferenciación

En la sección sobre integración de mapas digitales del capítulo II se examinó el problema de georreferenciar un mapa que se ha digitalizado o escaneado con las coordenadas cartográficas adecuadas para ser almacenado en un SIG. Para ilustrar el procedimiento de georreferenciación, en los siguientes párrafos se describirá un ejemplo concreto. En el gráfico A.II.10, puede verse un mapa digitalizado en varias capas. Después de la digitalización, las coordenadas se referencian en unidades del cuadro de digitalización, en este caso, pulgadas. A fin de poder usar este mapa junto con otros datos digitales de esta región geográfica, es necesario convertir las coordenadas del digitalizador a coordenadas del mundo real que correspondan a la proyección original del mapa. Los lectores que no estén familiarizados con sistemas de coordenadas y proyecciones cartográficas pueden referirse al material en las secciones precedentes de este anexo.

significa que no deben estar todos juntos en un sector o en el centro del mapa. Además de los caminos, ríos, unidades administrativas y ciudades, el mapa también muestra una cuadrícula regular de líneas de latitud y longitud, espaciadas a intervalos de medio grado. Las interseccio-

nes de esta retícula son una buena elección de puntos de control, ya que sus coordenadas pueden determinarse fácilmente. En el mapa, los cuatro puntos de control elegidos están numerados de uno a cuatro. Sus coordenadas son, respectivamente, 84,5, 28,5; 85,0, 28,5; 85,0, 28,0; y 84,5, 27,0. Obsérvese que como los programas de SIG utilizan coordenadas planas, se deben especificar pares de longitud/latitud (es decir, x/y) antes que de latitud/longitud. Por la misma razón, hay que especificar las coordenadas en grados decimales, antes que en grados, minutos y segundos, como en los mapas impresos o en los nomenclátors geográficos.

Lamentablemente, no podemos usar las coordenadas de longitud/latitud directamente para la transformación, pues el mapa original en papel no está registrado en estas coordenadas geográficas; muy pocos de estos mapas tienen estas coordenadas y muchas veces esto está indicado por el hecho de que la cuadrícula de latitud y longitud no está formada por líneas rectas. La proyección original del mapa del ejemplo es la de superficie equivalente cónica de Albers, con los siguientes parámetros:

- Paralelos estándar: 27° y 30° norte
- Meridiano central: 84°
- Latitud de origen 28° .

Estos parámetros se indican generalmente en el mapa. Antes de poder transformar las coordenadas, primero hay que convertir las coordenadas de longitud/latitud de los puntos de control a las coordenadas del mundo real correctas en la proyección de Albers. En la mayor parte de los programas informáticos, esto puede hacerse listando los pares de longitud/latitud (la longitud es la coordenada x y la latitud es la coordenada y) en un archivo de texto o a través de una interfaz de menú y especificando los parámetros de proyección pertinentes en el módulo de cambio de proyección del sistema.

Se entiende que este paso adicional es innecesario si se pueden obtener las coordenadas del punto de control del mundo real directamente del mapa. Esto es posible, por ejemplo, en mapas topográficos referenciados en la proyección Mercator Transversa Universal. Sucede lo mismo si los puntos de control se han determinado en el terreno con un GPS que convierte automáticamente las coordenadas a una proyección geográfica dada.

Ahora tenemos los pares de coordenadas de los cuatro puntos de control en las coordenadas del digitalizador y en las coordenadas de la proyección del mundo real —en este caso medidas en metros. Ambos conjuntos de coordenadas se enumeran en el cuadro A.II.2.

El primer punto de control, por ejemplo, se ubica alrededor de 49 km al este del meridiano central (84° E) y 55,5 km al norte de la latitud de origen (28° N).

El tercer paso consiste en el cálculo de los parámetros de transformación basada en los dos conjuntos de pares de coordenadas. La mayoría de los programas de SIG dan esta opción. Técnicamente, los parámetros se estiman con las siguientes ecuaciones de regresión:

$$\begin{aligned}x' &= a + bx + cy \\y' &= d + ex + fy\end{aligned}$$

donde x' e y' son las coordenadas del mundo real y x e y son la coordenadas de digitalización de los puntos de control; a , b , c , d , e y f son los parámetros que deben estimarse. Los errores de estimación que surgen en la transformación son los valores residuales de la regresión.

En el cuadro A.II.2 se muestra, para cada punto de control, el par de coordenadas en el sistema de entrada (unidades de digitalización) y en el sistema de salida (proyección de Albers en metros). Además, se muestran los errores de transformación (residuales) que el sistema ha calculado en unidades de salida (metros). Puede verse que este error es de alrededor de 7,8 metros en dirección x y alrededor de 14,6 metros en dirección y . Muy pocas veces estos errores equivaldrán a cero. Las fuentes de error son, entre otras, las distorsiones de los mapas de papel debidas a contracción y dobleces, así como el error de medición cuando se digitalizan las coordenadas de los puntos de control. Un error muy grande en uno o más de los puntos de control generalmente indica algún tipo de equivocación importante, como el cambio de las coordenadas x e y , o de los identificadores de los puntos de control. En general, el procedimiento debe realizarse con mucho cuidado, ya que tendrá un efecto importante en la exactitud y por ello en la utilidad de la base resultante de datos de SIG.

En el cuadro, hay también indicios de error global de la transformación. Es el de la media cuadrática, que se da en unidades de coordenadas de ingreso y salida (pulgadas y metros respectivamente). Un error grande de este tipo indica que las ubicaciones de los puntos de control en las unidades de entrada y salida no corresponden a las mismas ubicaciones relativas. Para un proyecto de conversión de datos de gran escala, debe especificarse y mantenerse el error máximo aceptable. Lo que se considera aceptable depende de la escala del mapa de papel original y de los requisitos de exactitud de la aplicación. Mientras que la cartografía para fines censales puede no requerir un gran grado de exactitud, las aplicaciones catastrales, por ejemplo, deben ajustarse a normas mucho más estrictas.

Cuadro A.II.2. Parámetros de transformación

<i>Punto de control</i>	<i>Coordenadas en unidades de digitalización (pulgadas)</i>		<i>Coordenadas en unidades proyectadas del mundo real (metros)</i>		<i>Errores calculados en unidades del mundo real (metros)</i>	
	x	y	x	y	x	y
1	11,777	19,660	48 936,2	55 529,6	-14,59	7,80
2	26,670	20,661	97 871,5	55 835,2	14,60	-7,81
3	27,696	3,824	98 333,0	409,3	-14,55	7,78
4	12,751	2,810	49 166,9	102,3	14,54	-7,77

Error cuadrático medio (entrada, salida) 0,005034, 16,524

El sistema convierte todas las coordenadas de la base de datos cartográficas al sistema de coordenadas de salida en el mismo paso. La base de datos de salida se referencia luego adecuadamente en las coordenadas del mapa original. Luego, este mapa puede trazarse en una proyección diferente, por ejemplo, para integrarla en una base de datos comprensiva que tiene una distinta. Con esta descripción se intentó esbozar los principios generales de transformación. Aunque la aplicación de este procedimiento depende de los programas que se utilicen, comprender los pasos que comporta la georreferenciación puede ayudar a apreciar la importancia de este paso.

G. Consideraciones prácticas

Cualquier proyecto grande de cartografía digital (como los mapas para un censo) requiere que se integre la información cartográfica proveniente de diversas fuentes. Por este motivo, hay que elegir una proyección y un sistema de coordenadas estándar. En teoría, el sistema de referencia que se elige debería ser el mismo que el que se utiliza en otras actividades cartográficas de un país. La mayor parte de los países usan una proyección y un sistema de coordenadas estándar que es óptimo para su territorio nacional y las series de mapas nacionales en escalas diferentes.

Casi todos los programas de SIG contienen funciones para transformar coordenadas de un sistema de referencia a otro (por ejemplo, de metros a pies o de unidades de digitalización a unidades cartográficas), para convertir mapas digitales de latitud/longitud a proyecciones cartográficas, o para cambiar proyecciones. También permiten seleccionar dátums geodésicos y cualquier otro parámetro de importancia. En algunos

pocos casos, tal vez sea imposible obtener una proyección determinada y habrá que utilizar programas especializados. Los sistemas mundiales de determinación de la posición geográfica, que se examinan en detalle en el capítulo II, también sustentan proyecciones cartográficas seleccionadas y los dátums geodésicos más usuales. Las coordenadas que se reúnen trabajando en el terreno pueden captarse así como pares de latitud y longitud, o en un sistema de proyección.

Los mapas topográficos generalmente incluyen información acerca de la proyección y el dátum. Un problema de los conjuntos de datos cartográficos digitales es que los formatos estándar de SIG no necesariamente almacenan información sobre la proyección de forma explícita. Por ejemplo, una oficina de censos puede obtener un conjunto de datos de SIG sobre caminos o hidrología sin información sobre su proyección cartográfica. Si estos datos se combinan con los mapas censales digitales, puede pasar que no coincidan perfectamente. La integración vertical es entonces irrealizable, a menos que los dos conjuntos de datos se conviertan al mismo sistema de proyección. Si no se puede determinar la proyección buscando el linaje de los datos hasta los mapas fuente, la única opción posible es la conciliación de los dos mapas digitales de manera pragmática, lo que puede introducir errores importantes. Por ello, es esencial que todos los conjuntos de datos se documenten adecuadamente y que los metadatos —información sobre los datos— se guarden con el conjunto de datos del mapa digital.

Una última consideración práctica que se trata aquí se refiere a la conversión entre diferentes formatos para almacenar las coordenadas de latitud y longitud. Generalmente se las expresa en grados, minutos y segundos. La ubicación de la sede de las Naciones Uni-

das en Nueva York, por ejemplo, es $40^{\circ} 45' 01''$ de latitud norte y $73^{\circ} 58' 04''$ de longitud oeste. Para introducir estas coordenadas en un sistema de SIG o de proyección cartográfica, primero hay que convertirlas a grados decimales. Básicamente, esta conversión las hará aparecer como coordenadas cartesianas x e y normales. Para convertir grados, minutos y segundos a grados decimales se calcula, por ejemplo, la latitud y longitud de la sede de las Naciones Unidas como:

$$40 + \frac{\left(45 + \frac{1}{60}\right)}{60} = 40,7502778$$

$$73 + \frac{\left(58 + \frac{4}{60}\right)}{60} = 73,9677778$$

Como la longitud está al oeste del meridiano de Greenwich, se especifica como un número negativo en grados decimales (es decir $-73,97$). De manera similar, los valores de la latitud en el hemisferio sur también se expresan como números negativos.

Para convertir, por ejemplo, la latitud nuevamente en grados, minutos y segundos:

Grados: 40

Minutos: $0,7502778 * 60 = 45,016668 = 45$

Segundos: $0,016668 * 60 = 1$.

Anexo III

Modelización de los datos

En este anexo se examinan las cuestiones relativas a la modelización de los datos geográficos y se da un ejemplo del contenido de un diccionario detallado del tipo que usaría una oficina de censos para documentar las bases de dichos datos elaboradas con fines censales. En el anexo IV, se presenta un diccionario más sencillo que podría acompañar a los productos geográficos de los censos que se dan a conocer al público.

A. Definición de expresiones clave

Un *modelo de datos espaciales* es la descripción de las entidades geográficas, como las casas, las unidades administrativas o los ríos, y de las relaciones entre ellas. En los modelos de datos que se centran en objetos, la definición en general también incluye las operaciones que pueden realizarse con las entidades. Un modelo de datos no depende de algún programa informático específico y por ello los usuarios pueden realizar el modelo con cualquier programa integral de SIG.

La *estructura de los datos espaciales* implementa un modelo concreto que consta de estructuras específicas de archivos usadas para representar diferentes tipos de entidades. Por ejemplo, las unidades administrativas o las masas de agua se representarían como polígonos —es decir, una serie de coordenadas en la cual coinciden la primera y la última. Dicha estructura permite realizar operaciones informáticas para definir las relaciones entre las entidades geográficas. Por ejemplo, un

camino puede coincidir con una parte del límite de un polígono que define una unidad administrativa.

El *formato de los datos* es una expresión más general que normalmente se aplica a un conjunto determinado de estructuras de datos dentro de un sistema informático. Algunos formatos comerciales se han usado tanto que se han convertido, de hecho, en la norma. El DXF (drawing interchange format), por ejemplo, se desarrolló en un principio para los programas AutoCad, pero ahora lo usan casi todos los programas comerciales de SIG.

Un *diccionario de datos* es un documento maestro que describe el modelo de datos en detalle, así como los códigos que se usan para identificar las entidades y sus atributos.

Por último, un *esquema de la base de datos* es una descripción de las relaciones lógicas entre las entidades espaciales, los cuadros de atributos y las reglas que definen una base completa e integral de datos espaciales.

B. Ejemplo de una plantilla

La siguiente plantilla es una adaptación de la explicación muy completa de las definiciones de entidades geográficas en la Base Nacional de Datos Topográficos del Canadá —Diccionario de Datos (Geomatics Canada, 1994).

Cuadro A. III.1. Información compilada para definir un modelo de datos espaciales

<i>Nombre de la entidad</i>	Nombre conciso de la característica geográfica.
<i>Definición</i>	Descripción detallada de la entidad geográfica.
<i>Atributos de dominio fijo</i>	Atributos que sólo pueden tener un número limitado de valores predefinidos, como, por ejemplo, el tipo de unidad administrativa (distrito, provincia, etc.) o el tipo de revestimiento de un camino. Estos códigos determinados previamente constituyen el <i>dominio</i> de valores posibles.
<i>Atributos de dominio variable</i>	Atributos que tienen una cantidad potencialmente infinita de valores posibles y en consecuencia su dominio no puede definirse. Algunos ejemplos son el identificador único de la unidad administrativa, la población de la unidad o el nombre de un río.
	Cada atributo se describe con la siguiente información:
	<i>Nombre</i>
	<i>Tipo</i> , por ejemplo, alfanumérico (A), entero (I) o real (R)
	<i>Cantidad de caracteres o de dígitos permitidos</i>
	<i>Dominio de valores</i> —es decir, una lista de todos los valores posibles y

	<p>sus definiciones en el caso de los de dominio fijo, o la definición del atributo para los de dominio variable.</p>
<i>Combinaciones autorizadas de valores de los atributos</i>	<p>Para los atributos de dominio fijo, se enumeran todas las combinaciones permitidas de atributos. Por ejemplo, en el caso de las unidades administrativas, sólo los distritos y provincias pueden tener una capital administrativa oficial. Entonces, si el tipo de unidad administrativa no es el distrito o la provincia, cualquier otro atributo que liste el nombre de la capital debería estar vacío. La información sobre las combinaciones permitidas de los valores de los atributos es útil para verificar la consistencia en forma automatizada.</p> <p>Si la entidad no tiene dominio fijo, se ingresa “ninguno”. Si hay un único atributo de dominio fijo, se listan todos los valores autorizados. Si hay varios, se listan todas las combinaciones permitidas.</p>
<i>Relaciones</i>	<p>Descripción de las relaciones que la entidad geográfica puede tener con otras características espaciales. Es útil, por ejemplo, para definir la forma en que los ríos o los caminos pueden coincidir con los límites de las unidades administrativas o zonas de empadronamiento. Las relaciones se definen por las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Nombre y forma geométrica de la entidad —por ejemplo punto (P), línea (L) o polígono (P); – Relación —por ejemplo, conectar, para una línea que se conecta con un punto, o compartir, para una superficie que comparte un límite con una línea; – Cardinalidad, definida por dos valores que marcan la cantidad mínima y máxima de veces que puede intervenir una entidad en una relación. Por ejemplo, una intersección de caminos se relaciona con las características de éstos y debe tener por lo menos un camino conectado con ella y puede, en teoría, estar conectada con una cantidad infinita de caminos. Si el número máximo no puede determinarse, se representa con una N. La relación entre la intersección de caminos y los caminos es entonces (1,N); – Nombre y forma geométrica de la entidad relacionada. <p>Cabe mencionar que esto se refiere solamente a las relaciones entre características geográficas. Las relaciones entre campos en el cuadro de atributos geográficos y en los cuadros externos deben definirse por separado.</p>
<i>Representación geométrica y tamaño mínimo (en metros)</i>	<p>La característica geométrica que se usa para representar la entidad. Para las unidades administrativas, casi siempre será un polígono, pero para otras características, la representación geométrica de una entidad espacial puede depender de la escala cartográfica. Por ejemplo, un poblado puede ser una superficie que represente su perímetro en escalas grandes (por ejemplo 1:25.000), mientras que se vería como un punto en escalas pequeñas (por ejemplo 1:250.000). Dada la misma escala, un poblado más grande o una ciudad puede indicarse como un polígono, pero un poblado pequeño se representa como un punto. Según el tipo de característica, el tamaño mínimo de las entidades puede referirse a su <i>superficie, ancho, largo o altura</i>.</p>
<i>Notas</i>	<p>Cualquier información adicional necesaria para definir la entidad, así como las notas al pie de cualquier otro campo descriptivo.</p>
<i>Diagrama</i>	<p>Para ilustrar la forma en que se modeliza una entidad, un gráfico muestra las relaciones de esa entidad con varias otras.</p>

La información más importante en la plantilla es la definición de cada entidad y la descripción detallada de todos los atributos de las características geográficas que se almacenaron. Para muchos proyectos de cartografía censal, estas descripciones básicas de la base de datos quizás sean suficientes, pero sobre todo si la base de datos para el censo debe incorporarse a una base nacional de datos de SIG, se recomienda dedicar más tiempo y esfuerzo a la elaboración de un diseño que asegure la compatibilidad con la información proveniente de otros organismos.

En este caso, deben definirse claramente las relaciones entre las unidades administrativas o censales y otras características geográficas.

Para clarificar los contenidos de un diccionario de datos, en el cuadro A.III.2 se da un ejemplo, a modo informativo únicamente, que describe una definición de una capa de datos sobre una unidad administrativa. La especificación exacta variará según cómo se emplee en cada país.

Cuadro A.III.2. Ejemplo –unidades administrativas de un país con tres niveles subnacionales

Unidad administrativa

Una zona geográfica con límites definidos jurídicamente creada a los fines de instrumentar funciones administrativas y otras funciones de gobierno.

Atributos de dominio fijo

Tipo de unidad administrativa (1):

1 – Provincia	la unidad administrativa de primer nivel
2 – Distrito	la unidad administrativa de segundo nivel subnacional
3 – Localidad	la unidad administrativa de tercer nivel

Indicador rural/urbano (1):

1 – No se aplica	sólo las localidades se clasifican como rurales o urbanas
2 – Rural	unidad administrativa con predominio de características rurales
3 – Urbana	unidad administrativa que consta de un poblado o una ciudad

Atributos de dominio variable

Identificador de unidad administrativa (14)

Nota: En este ejemplo de base de datos, toda la información sobre los atributos (por ejemplo el nombre, el nombre opcional, la cantidad de hogares, la población, etc.) se almacenan en cuadros de datos separados que se vinculan con el cuadro de atributos geográficos a través del identificador de la unidad administrativa.

Combinación permitida de los valores de los atributos:

Provincia, no se aplica	<i>Nota: Sólo son posibles estas combinaciones. Por ejemplo, no hay provincias urbanas ni distritos rurales.</i>
Distrito, no se aplica	
Localidad, urbana	
Localidad, rural	

Relaciones

Unidad administrativa (P)	Compartir (0,N)	Camino (L)
Unidad administrativa (P)	Compartir (0,N)	Río (L)
Unidad administrativa (P)	Compartir (0,N)	Masa de agua (P)

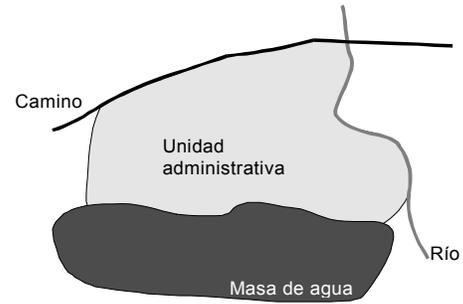
Nota: De manera similar, un límite administrativo puede coincidir con la costa de una masa de agua, como un lago, que se representa como un polígono (P). De manera similar, un límite administrativo puede coincidir con la costa de una masa de agua, como un lago, que se representa como un polígono. (0,N) se refiere a la cardinalidad de la relación. Significa que, por ejemplo, como mínimo cero caminos pueden coincidir con un límite de una unidad administrativa, y que el máximo no puede determinarse (se indice con N, que significa cualquier número).

Representación geométrica y tamaño mínimo

La unidad administrativa se representa como un punto si su superficie es menor o igual que 1 kilómetro cuadrado y como una superficie si es mayor que 1 kilómetro cuadrado.

Notas

Las unidades administrativas deben coincidir con los límites de las zonas de empadronamiento y, además, cubrir el territorio nacional en su totalidad. En otras palabras, no puede haber ninguna parte del territorio de un país que no tenga una unidad administrativa asignada.

Diagrama

Anexo IV

Ejemplo de un diccionario de datos que se podrá distribuir

El siguiente es un ejemplo de un diccionario de una base de datos censales de un SIG de las localidades de un país hipotético: Poplandia, elaborado a modo de ilustración. La oficina nacional de censos debe diseñar el contenido real del diccionario de datos con detenimiento, teniendo en cuenta cuestiones específicas que tienen que ver con el país.

Diccionario de datos: base de datos de SIG de un censo de las localidades

Título de la base de datos	Base digital de datos geográficos censales de las localidades de Poplandia.
Fuente	Oficina Nacional de Estadística (ONE), Departamento de Censos, Sección de Cartografía (1996), Censo nacional de población y vivienda de Poplandia, 1995.
Contenido de la base de datos	<p>La base consiste de una capa de datos de SIG sobre las localidades de todo el país que se distribuye en el formato de archivos ArcView (Environmental Systems Research Institute, Inc.), MapInfo Interchange (MapInfo, Inc.) o como un simple archivo de texto de coordenadas. Esta documentación se refiere a la versión de archivos ArcView.</p> <p>El cuadro de datos de atributos geográficos de la capa de SIG sobre la localidad (LOC.DBF) contiene solamente información básica, incluido el código (LOC_CODE) y los nombres de la unidad administrativa en que está la localidad. Junto con la base de datos de SIG, se distribuyen dos cuadros externos de datos, uno con las características de población provenientes del censo (POP.DBF) y el otro con los atributos de los hogares (HH.DBF). Estos cuadros pueden vincularse con la base de datos de SIG de la localidad usando el campo común LOC_CODE- Si no se indica lo contrario, todos los datos se refieren a la fecha del censo, 1 de julio de 1995.</p>
Unidades administrativas e informantes	La base de datos contiene información para 1.291 localidades en 9 provincias y 123 distritos.
Requisitos de programas y equipos informáticos	<p>Se puede visualizar con cualquier grupo de programas cartográficos o de SIG que pueda importar archivos con formato ArcView o MapInfo Interchange.</p> <p>La configuración mínima de los sistemas depende de los programas que se usen para tener acceso a los datos. Por lo general, basta con una computadora personal compatible con una IBM de 486 MHz o más, con 8 MB de RAM por lo menos. Se puede tener acceso a la base de datos desde el CD-ROM o puede estar instalada en el disco duro de la computadora, para lo que se necesitarán 16 MB de espacio.</p>
Formato de distribución de la base de datos	La base de datos se distribuye en forma no comprimida en el CD-ROM y se puede tener acceso a ella directamente.
Proyección	Crónica equidistante
Paralelos estándar	20° norte y 60° norte
Meridiano central	140° oeste
Unidades de las coordenadas	Metros
Traslación de las coordenadas	Ninguna

Escala del mapa fuente	Varía. La mayor parte de las localidades urbanas se delinearón en mapas con escalas 1:25.000 y más grandes; las localidades rurales se delinearón en mapas con escalas 1:50.000 y más pequeñas.
Información sobre la exactitud general	Según la información de las oficinas nacionales de cartografía, la exactitud media estimada de las coordenadas es de +/-100 metros en zonas rurales y de +/-30 metros en zonas urbanas.
Unidades informantes disjuntas	Algunas localidades consisten en más de un polígono. El cuadro de atributos contiene un campo (FLAG), que vale 1 para el polígono más grande (el único que tienen las localidades que constan de un solo polígono), y cero para los polígonos menores. Para evitar contarlos dos veces cuando se agregan los datos de los censos, la agregación se debe realizar sólo después que se seleccionaron las localidades con valor FLAG de 1.
Productos relacionados	La ONE ha publicado bases similares de datos digitales de SIG para las zonas de empadronamiento. Como existe gran cantidad de zonas de empadronamiento, hay bases de datos de SIG separadas de cada provincia. Hay que tomar contacto con la ONE para obtener más información.
Referencias	Oficina Nacional de Estadística (1995). Informe técnico sobre las actividades de cartografía censal para el Censo Nacional de Población y Vivienda de Poplandia, 1995, Departamento de Censos, Sección de Cartografía. Oficina Nacional de Estadística (1995). Informe metodológico y administrativo del Censo Nacional de Población y Vivienda de Poplandia, 1995, Departamento de Censos. Oficina Nacional de Estadística (1996). Resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda de Poplandia, 1995, Departamento de Censos, Sección de Cartografía.
Para obtener información	Oficina Nacional de Estadística, Departamento de Censos Sección de Cartografía, Servicios a los usuarios Casilla postal 9999 Tarota, Provincia de Sambas Teléfono: 99-99-99999 Fax: 99-99-99998 Dirección de correo electrónico: geog@census.gov.xx Internet: www.census.gov.xx

Archivos de datos geográficos

LOC.SHP – Base de datos de SIG sobre los límites de las localidades

Nobre del archivo:	LOC.SHP	
Tipo de archivo:	Archivo con formato ESRI ArcView	
Tipos de características:	Polígonos	
Archivos asociados:	LOC.DBF	Cuadro de atributos de los polígonos (parte del archivo de formato)
	POP.DBF	Indicadores de censos de población
	HH.DBF	Indicadores de censos de hogares
	LOC.SHX	Archivo interno de indización geográfica utilizado por ArcView

Archivos de datos sobre atributos

LOC.DBF: características de las localidades

Nombre del campo	Descripción	Definición del campo	Intervalo	Códigos	Valores faltantes
LOC_CODE	Código oficial de la localidad. Proporciona el vínculo con los cuadros de datos externos pop.dbf y hh.dbf. El código geográfico se construye concatenando los identificadores administrativos: provincia de dos dígitos+distrito de tres dígitos+localidad de tres dígitos.	Entero, 8	Valor positivo	Ninguno	-999
AREA	Superficie de la localidad en kilómetros cuadrados.	Real, 6,1	Valor positivo	Ninguno	-999
FLAG	Indica si el polígono es el mayor para la localidad. Cuando éstas consisten en dos o más polígonos, sólo el más grande o el más importante valdrá 1.	Entero, 1	0 – 1	0 – menor 1 – mayor	
URBAN	Indica si la localidad se clasifica como urbana o rural.	Entero, 1	0 – 1	0 – rural 1 - urbano	-1
LOC_NAME	Nombre de la localidad.	Caract, 25	Ninguno	Ninguno	"n.a."
DIST_NAME	Nombre del distrito.	Caract, 25	Ninguno	Ninguno	"n.a."
PROV_NAME	Nombre de la provincia.	Caract, 25	Ninguno	Ninguno	"n.a."
AREA_TOTAL	Superficie total de la localidad en kilómetros cuadrados.	Real, 10,3	Valor positivo	Ninguno	-999
AREA_LAND	Superficie de la localidad cubierta por tierra en kilómetros cuadrados.	Real, 10,3	Valor positivo	Ninguno	-999
AREA_WATER	Superficie de la localidad cubierta por masas de agua en kilómetros cuadrados.	Real, 10,3	Valor positivo	Ninguno	-999

POP.DBF – indicadores de población del censo

Nombre del campo	Descripción	Definición del campo	Intervalo	Códigos	Valores faltantes
LOC_CODE	Código oficial de la localidad. Proporciona el vínculo con los cuadros de SIG de datos de atributos loc.dbf y hh.dbf.	Entero, 8	Valor positivo	Ninguno	-999
POP_TOT	Población empadronada total.	Entero, 7	Valor positivo	Ninguno	-999
POP_DENS	Densidad de población en habitantes por kilómetro cuadrado (POP_TOTAL/AREA).	Real, 5,1	Valor positivo	Ninguno	-999
...

HH.DBF – indicadores de hogares del censo

Nombre del campo	Descripción	Definición del campo	Intervalo	Códigos	Valores faltantes
LOC_CODE	Código oficial de la localidad.	Entero, 8	Valor positivo	Ninguno	-999
HH_NUM	Cantidad de hogares..	Entero, 7	Valor positivo	Ninguno	-999
HH_HEAD	Sexo del jefe de la vivienda.	Entero, 1	0 – 1	0 – masculino 1 – femenino	-1
...

Anexo V

Diseño de mapas temáticos

A. Introducción

Los cartógrafos distinguen varios tipos diferentes de mapas. Los destinados a fines generales sirven como marco de referencia para orientarse. Muestran principalmente características geográficas reales observables en la superficie terrestre, y pueden ser naturales —ríos, montañas, costas— o construidas por el hombre —camino o asentamientos, por ejemplo. También muestran otras que no pueden verse en la superficie, como los límites políticos y la cuadrícula de referencia con las latitudes y longitudes. Los mapas topográficos pertenecen a esta categoría de referencia o para fines generales. Cumplen una función importante en la elaboración de los mapas de las zonas de empadronamiento, porque proporcionan información al empadronador acerca de las características que puede usar para orientarse en la zona de trabajo asignada.

Pero cuando se trata de elaborar los mapas de los resultados de los censos, los temáticos resultan más adecuados ya que presentan la distribución geográfica de fenómenos físicos o culturales que no pueden observarse con facilidad directamente en la superficie. Los mapas temáticos pueden basarse en información cualitativa o cuantitativa. Un ejemplo del primer tipo es un mapa que muestra la distribución de la población por lengua materna o religión. En cambio, los mapas temáticos cuantitativos, también llamados a veces mapas estadísticos, dan información sobre el tamaño relativo de las características que se incluyen en el mapa, por ejemplo un mapa donde los símbolos que representan las ciudades de un país tienen una escala proporcional al tamaño de cada una de ellas. Otro ejemplo es un mapa donde las zonas informantes, como los distritos, están coloreados según la densidad de población. La mayor parte de los mapas que se producen para un atlas censal son de esta naturaleza.

B. Principios del diseño de mapas

A pesar de que se usan con frecuencia para realizar análisis, los mapas no sirven para mostrar los valores exactos de los datos. En un mapa, los valores se expresan en forma de símbolos. El cartógrafo debe asignar valores a los datos en intervalos de clases para obtener una cantidad controlable de categorías, que se representan con colores o símbolos. Esto significa que se pierde algo de información en la visualización. Si bien el punto

fuerte de los mapas es mostrar tendencias, magnitud y distribución relativas de los valores de los indicadores, cuando son los valores exactos los que interesan, resultan más apropiados los cuadros de datos o los mapas digitales cuya base de datos puede consultarse.

La producción de mapas de presentación es un procedimiento de diseño en el cual el cartógrafo comunica una idea o un concepto al lector (Monmonier, 1993). Es similar a otras formas de comunicación de información cualitativa o cuantitativa en forma gráfica, usando cuadros, fotografías u otros recursos visuales. Por ello, se pueden aplicar a la cartografía los mismos principios que rigen el diseño gráfico.

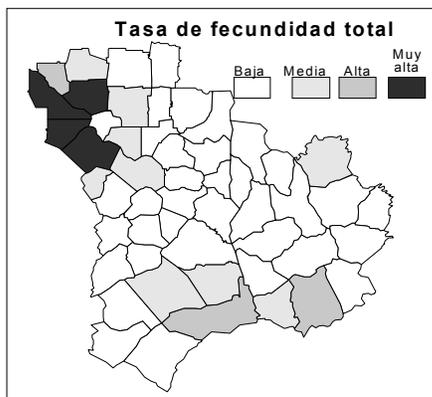
El principio más importante de diseño es la sencillez y claridad. Muchos mapas terminan atiborrados de información porque el cartógrafo intentó presentar demasiadas cosas en un espacio pequeño. Un concepto útil es el enunciado por Tufte de maximización de la relación entre datos y tinta (Tufte, 1983): en términos de cartografía, esto significa que casi toda la tinta que se utiliza debe dedicarse a representar los datos geográficos antes que a dibujar información extrínseca. Por lo tanto, se debe descartar la información superflua. Los títulos, como “Mapa de ...” o “Leyenda” son innecesarios, como lo son muchos cuadros, ciertas líneas y, con frecuencia aunque no siempre, las flechas que indican el norte y las barras de escala. Como casi todos los principios, éste por supuesto también tiene sus limitaciones. Algunos elementos, como la leyenda misma, un título conciso y la información sobre las fuentes, son evidentemente necesarios para entender los mapas.

Sencillez también implica que no se debe desperdiciar espacio alguno. Con las impresoras láser de alta resolución disponibles casi en todas partes, no es necesario imprimir los mapas en formatos muy grandes para mostrar todos los detalles. Cuanto mejor es el diseño del mapa, menor podrá ser el tamaño de la impresión. Utilizar el espacio con parsimonia significa evitar también las fuentes, los símbolos de las leyendas o las inserciones demasiado grandes.

Otro concepto importante es establecer una jerarquía visual que se aplique a los elementos dentro del mismo mapa y a la disposición de todos sus componentes. En el mapa, los colores o símbolos que se eligen reflejan el ordenamiento de los valores de los datos. En un mapa de mortalidad infantil, por ejemplo, las unidades informantes con los valores más altos podrían tener

el color más fuerte o el matiz de gris más oscuro. Estos son los puntos clave, que deberían atraer de inmediato la atención. En el gráfico A.V.1, por ejemplo, las clases de bajas a altas se colorearon adrede con matices de gris claro, para destacar la categoría “muy alta”. Lo que crea la jerarquía visual es el contraste entre los colores oscuros y los matices más claros que los rodean. Una zona relativamente clara rodeada de tonos oscuros también se destacaría. La elección del color se examina más adelante con mayor detalle.

Gráfico A.V.1. Establecimiento de la jerarquía visual mediante la elección de matices de colores o de gris



El cartógrafo también puede usar otros recursos para que el observador se concentre en una determinada parte del mapa. Por ejemplo, las características más importantes del mapa pueden destacarse con un borde nítido a su alrededor. También se usan a veces anotaciones o flechas que señalan determinadas características, aunque con frecuencia éstas hacen que el mapa resulte confuso.

Los mismos principios se aplican a la composición general del mapa. La parte más importante es la información cartográfica misma, el título y la leyenda que explican los símbolos, que deberían ser las características más destacadas en el mapa. Todos los demás elementos debe agregarse con precaución.

Un último comentario sobre el diseño de los mapas se relaciona con la responsabilidad de los cartógrafos de no ofender a ningún sector de la población a causa del diseño que eligen. Es necesario que conozcan la sensibilidad de los distintos grupos de población o las regiones; algunos símbolos o colores pueden tener determinadas connotaciones negativas o positivas para ciertos grupos étnicos o raciales del país. El diseño debe evitar los símbolos asociados con estereotipos de cualquier subgrupo de la población.

1. Elementos de un mapa temático

Un mapa temático tiene varios componentes. Consiste en un mapa básico que muestra los límites de la zona de interés, por ejemplo, las fronteras del país, y posiblemente algunas características de referencia, como los ríos o ciudades más importantes, que sirven para orientar al lector que quiere comparar la magnitud de una variable en dos partes distintas del país. El segundo elemento principal es la superposición del mapa temático que muestra la distribución geográfica de la variable.

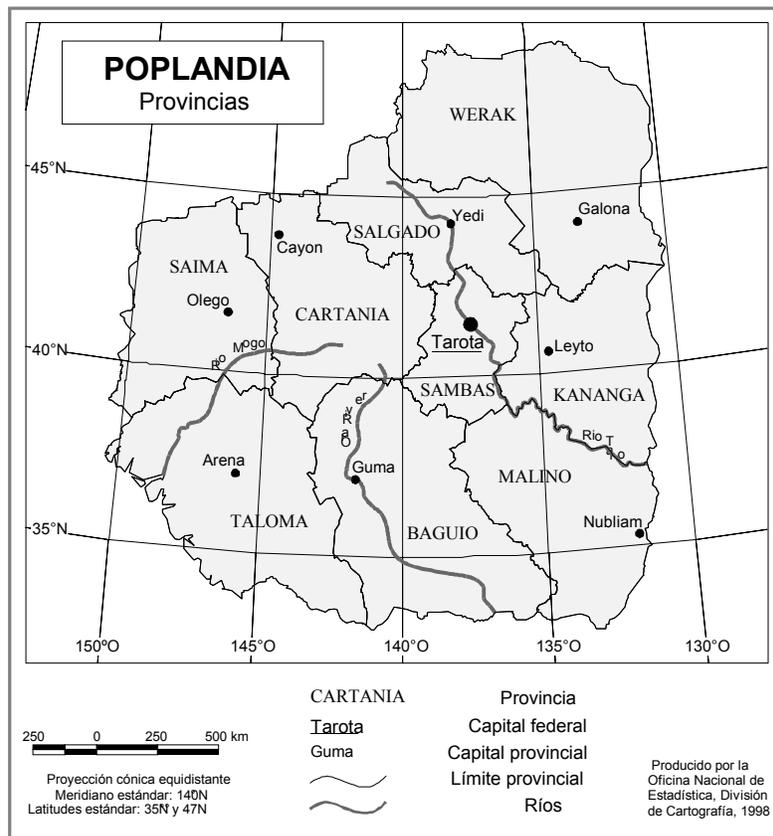
Además de la información en sí, un mapa con calidad suficiente para publicación contiene otros elementos, a saber:

- Los *títulos y subtítulos* deben ser cortos y muy descriptivos. Deben evitarse los títulos que incluyen frases como “Mapa de ...”;
- Las *fuentes, las notas de reconocimiento y la fecha de producción de los datos* dan información al usuario sobre la confiabilidad y credibilidad del mapa. Algunos organismos que producen mapas con frecuencia también agregan números de referencia y de versión para uso interno. Asimismo debería incluirse toda otra explicación pertinente para comprender el contenido del mapa. En el caso de los mapas impresos en formato grande, hay que indicar los parámetros de la proyección cartográfica;
- La leyenda describe la forma en que los valores de la variable que se usó se convirtieron en símbolos cartográficos, por ejemplo, los colores que se utilizan para un intervalo dado de valores de la densidad de población. Es importante incluir siempre las unidades de medida, por ejemplo “habitantes por kilómetro cuadrado”;
- La *escala* permite medir las distancias en el mapa. En el caso de una serie de mapas temáticos, como los atlas censales, donde todos los mapas tienen la misma escala, no es necesario que esta información aparezca en todas las páginas. Lo mismo ocurre en el caso de los mapas relativamente pequeños de zonas bien conocidas en los que no es probable que se quieran realizar mediciones de la distancia. Una barra de escala es generalmente mejor que la especificación numérica de la escala (por ejemplo, 1:1.000.000). Si el mapa se reduce o agranda al ser fotocopiado, la barra todavía servirá, pero no así la escala nominal que se utilizó para dibujar el mapa original, que será incorrecta;

- Una *flecha que indique el norte* no es absolutamente necesaria en un mapa de referencia, en tanto y en cuanto todos los mapas estén orientados hacia el norte. Sobre todo, así ocurre cuando el mapa muestra una zona geográfica bien reconocida, como el país entero. Si los mapas se rotan para que entren mejor en la hoja, siempre hay que incluir una flecha hacia el norte;
- Los *contornos* y las *líneas nítidas* sirven para separar diferentes elementos del mapa; el uso de estos elementos gráficos es principalmente una cuestión de diseño. Si hay demasiadas líneas y cuadros, el mapa parece atiborrado; por lo tanto, sólo se deben usar bordes adicionales si los elementos del mapa no están bien separados;
- *Los nombres de los lugares y las etiquetas* que facilitan la identificación de las características geográficas o de las zonas estadísticas;
- La *retícula*, la grilla de latitudes y longitudes (paralelos y meridianos) que facilitan la orientación. Deben incluirse en mapas de pequeña escala;
- Los *mapas de localización* se usan para mostrar la ubicación de la zona cubierta por el mapa principal. Por ejemplo, un mapa de la densidad de población de un distrito podría estar acompañado por un pequeño mapa que muestre la ubicación de ese distrito en el país o provincia;
- Los *mapas insertados* son similares a los anteriores, pero en vez de mostrar la ubicación de la zona que abarca el mapa principal, muestran alguna pequeña parte del mapa a una escala mayor. Por ejemplo, un mapa de una provincia puede estar acompañado por un pequeño mapa insertado que muestre la zona de la capital o la información de un distrito pequeño con más detalle;
- El *texto y las anotaciones* proporcionan información o explicaciones básicas, que deben ser breves y concisas;
- Los *elementos gráficos adicionales* podrían incluir un histograma que muestre la distribución estadística de la variable o el logotipo del organismo que produjo el mapa.

En los gráficos A.V.2 y A.V.3 pueden verse dos ejemplos de mapas que contienen muchos de los elementos de un mapa temático. En el gráfico A.V.2, se presenta el mapa de las unidades administrativas de primer nivel en el país imaginario de Poplandia. Alrededor del mapa hay una grilla de latitudes y longitudes que proporciona la referencia geográfica. Como referencia, se agregan la capital federal, las capitales administrativas de las provincias y los ríos más importantes. Todas las características están adecuadamente etiquetadas, con diferentes tipos de letra para distintas clases de características. En el margen debajo del mapa pueden verse la escala, la leyenda que describe los tipos de características temáticas que se muestran y la fuente del mapa. Si la oficina de estadística tiene un logotipo, se podría agregar a cada mapa. Se ha omitido incluir una flecha hacia el norte por dos motivos. El primero es que el mapa no tiene una orientación desacostumbrada. Además, las líneas de longitud indican con claridad que el norte se encuentra en la parte superior. El segundo es menos evidente: en la proyección cartográfica que se usó, las longitudes convergen hacia el norte, lo que implica que el norte se encuentra en una dirección ligeramente diferente en las distintas longitudes.

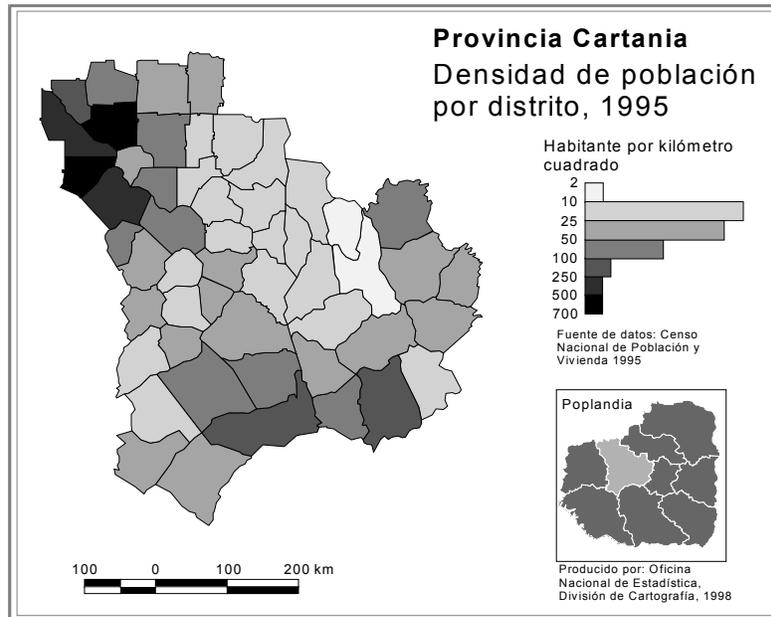
Gráfico A.V.2. Un mapa de las unidades administrativas y los centros urbanos más importantes



El mapa temático del gráfico A.V.3 muestra la densidad de población de una de las provincias de Poplandia. Un mapa de este tipo podría, por ejemplo, acompañar a los cuadros que presentan las características de la población por provincia en la publicación de un censo. El diseño del mapa es bastante sencillo. El título describe el tema y el subtítulo indica la zona geográfica. En lugar de la leyenda habitual que muestra los colores en casillas de igual tamaño, la de este mapa indica las categorías de densidad de población en forma de un histograma y cumple la misma función de la leyenda tradicional —relacionar los valores con los mati-

ces de color— a la vez que presentan la distribución de la frecuencia de los valores de los distritos. Cuando los mapas son más complejos, con un número mayor de zonas, se podría agregar el número real de distritos que caben en cada categoría. No se hizo esto en este caso para mantener el mapa claro y sencillo. Debajo de la leyenda y la fuente de los datos, hay un pequeño mapa que muestra la ubicación de la provincia de Cartania en el país. Por lo general, no es necesario agregar etiquetas en el mapa que muestra la ubicación el país, ya que la forma del país es fácil de reconocer.

Gráfico A.V.3 Ejemplo de un mapa temático de la densidad de población



2. Niveles de medición y variables gráficas

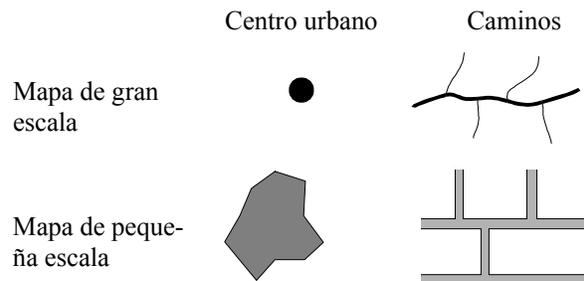
a) Dimensiones espaciales

Los mapas temáticos no solamente muestran la ubicación de una característica sino que también proporcionan información sobre esa característica —el valor de una variable en cada ubicación geográfica. Así pues, un mapa temático se compone de los elementos geográficos y de algún atributo de esos elementos. Esto significa que al diseñar un mapa temático hay que considerar la dimensión espacial de las características geográficas y hay que conocer el nivel de medición de la variable. Ambos aspectos a considerar determinarán las opciones que se tienen para producir un mapa que sea visualmente atractivo, fácil de interpretar y exacto.

Las características geográficas se representan en una base de datos de SIG a partir de primitivas geométricas: puntos, líneas y superficies. Hay otras categorías que, si bien se usan con menos frecuencia, agregan una tercera y una cuarta dimensión: volumen, y espacio-tiempo. La elección de la forma geométrica que se usa para una característica del mundo real depende a veces de la escala espacial del mapa o del conjunto de datos. Por ejemplo, un poblado o un centro urbano pueden representarse como una superficie en un mapa de gran escala, pero se verán como un punto en mapas con escalas más pequeñas al nivel de la provincia o del país (véase el gráfico A.V.4). Un camino puede representarse como una línea en un

mapa provincial, pero como una doble línea —una superficie— en el mapa de una ciudad.

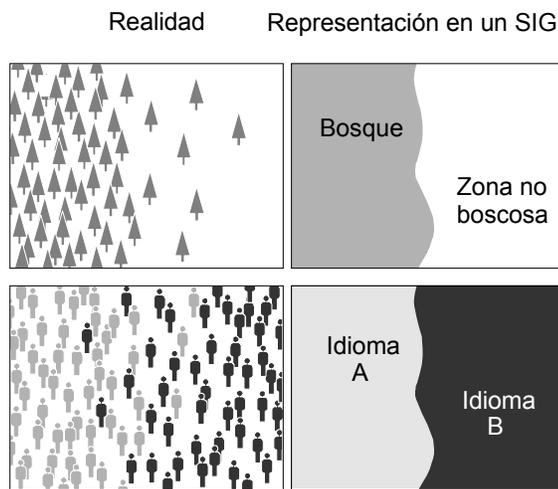
Gráfico A.V.4. Efecto de la generalización sobre la presentación de características espaciales



Es importante recordar que los límites y las ubicaciones no siempre están tan claramente definidas como aparecen en la representación discreta de un mapa o en una base de datos de un SIG: Muchas veces hay que generalizar, simplificar o abstraer las características complejas del mundo real para poder representarlas en una base de datos informática. Por ejemplo, muchas características del mundo real no tienen límites precisos. Generalmente hay una zona de transición entre un bosque y una zona no boscosa. Si se representa al bosque como una superficie (antes que como un punto por árbol), necesariamente se perderá algo de información (véase el gráfico A.V.5).

Algunos ejemplos de la esfera socioeconómica que tienen límites mal definidos son las distribuciones de los grupos étnicos o lingüísticos. A pesar de que muchas veces estos grupos tienen una distribución muy clara, hay zonas en las afueras de cada región donde es probable que se mezclen personas de diferentes grupos étnicos o lingüísticos. Por lo general, los cartógrafos utilizan líneas cortadas para representar estos límites imprecisos, aunque esto no resuelve el problema de dónde ubicar el límite en el mapa.

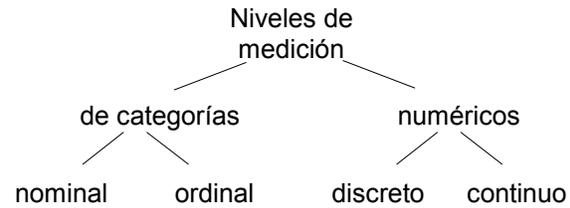
Gráfico A.V.5. A veces hay que simplificar a complejidad del mundo real para representarla en un SIG



b) Niveles de medición

Igual importancia tiene la forma en que se mide la variable que se desea incluir en el mapa. La distinción principal se produce entre información sobre las categorías y la información numérica (véase el gráfico A.V.6). A la vez, los datos de las categorías pueden clasificarse como nominales u ordinales. Los primeros simplemente describen un tipo de característica pero no hay un orden natural entre las categorías, como los tipos de viviendas, de piedra o de madera, por ejemplo. Los ordinales, por otro lado, implican un orden entre las categorías, aunque no se conozca el intervalo entre ellas. Por ejemplo, sobre la base de respuestas a encuestas, se podría clasificar a los hogares como de nivel de bienestar bajo, mediano o alto. No se sabe, sin embargo, si la diferencia entre bajo y mediano es la misma que la existente entre mediano y alto.

Gráfico A.V.6. Medición de variables



Si es posible cuantificar la diferencia entre las categorías, tendremos datos numéricos. Los datos discretos son conteos, por ejemplo, la cantidad de dormitorios en cada hogar o la población total. Las variables continuas o de relaciones pueden asumir cualquier valor deseado y en consecuencia pueden medirse con mucha precisión. Para los datos de los censos, las variables continuas son generalmente indicadores que se calculan para unidades censales agregadas, como la densidad de población, la proporción de la población con acceso al agua potable, o la tasa de fecundidad total.

c) Variables gráficas

En un mapa temático, los símbolos gráficos revelan las diferencias de los valores o categorías de las características geográficas. Los conceptos de simbolización que se usan en cartografía son similares a los que elaboró Bertin para aplicaciones de diseño gráfico (Bertin, 1983; véase también MacEachren, 1995). Bertin distingue las siguientes variables gráficas:

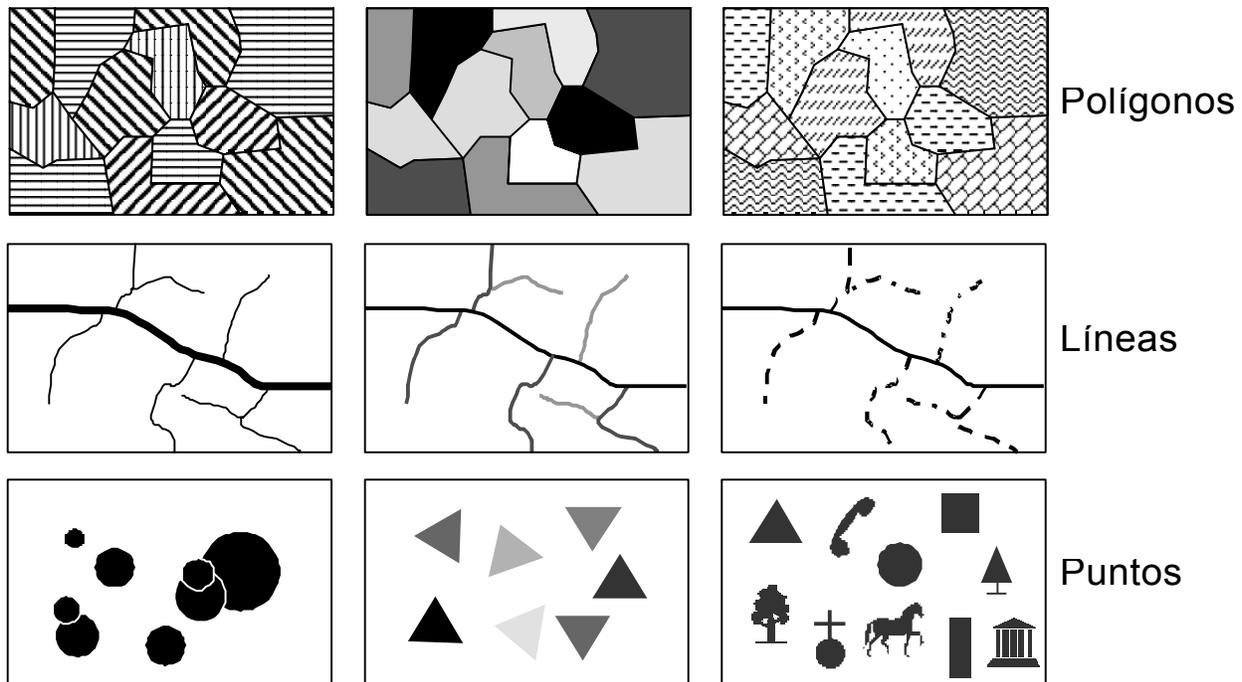
- El tamaño es un indicador de las diferencias ordinales o numéricas. Es más importante para las características puntuales o lineales, por ejemplo, para mostrar el tamaño de los pueblos o ciudades con círculos graduados, o la magnitud de la migración entre regiones con líneas o flechas de distinto grosor.
- La orientación se usa, por ejemplo, cuando se sombrea con rayas cruzadas los polígonos. También se pueden mostrar las características puntuales con diferentes orientaciones. La orientación no implica que existan diferencias en la magnitud de una variable y, por ello, es útil para mostrar datos nominales.
- La textura se refiere a la densidad de un dibujo constante que varía en cada sector. Puede usarse para representar diferencias ordinales o numéricas. Esta es una solución conveniente cuando los dispositivos de producción no tienen demasiada capacidad para imprimir colores o matices de gris. La textura también es muy útil para mostrar la información en capas, en las cuales se dibujan dos variables

superpuestas. Pero no es fácil conservar la claridad en estos mapas y por eso se adecuan más a la realización de análisis exploratorios.

- La forma tiene suma importancia en el caso de las características puntuales. Los conjuntos de símbolos y de tipos de letras que vienen en los programas cartográficos o de SIG ofrecen muchas posibilidades distintas. Los más conocidos en cartografía son aquellos que representan edificios públicos como los templos o los hospitales.
- El color es adecuado para mostrar diferencias numéricas y, hasta cierto punto, diferencias ordinales. La elección del color es una de las cuestiones más importantes en el diseño cartográfico, y por ello se examina con más detalle más adelante.

En principio, cada una de estas dimensiones se aplica a cada tipo de característica geográfica —esto es, puntos, líneas y polígonos. Pero en algunos casos, sólo se usa un subconjunto de variables gráficas para distintos tipos de características. En el gráfico A.V.7 pueden verse algunos ejemplos. Las variables gráficas de un mapa temático se eligen de modo que se ajusten al tipo de medición del indicador que se usa para realizar el mapa. Por ejemplo, el tamaño y el color tienen mucha importancia en lo que se refiere a representar valores numéricos. Las formas de los símbolos puntuales o la textura de los polígonos representan diferentes valores nominales.

Gráfico A.V.7. Variables gráficas para polígonos, líneas y puntos



3. Tipos de mapas temáticos

a) Incorporación de características discretas en los mapas

Los datos de los censos que se compilan para divulgar públicamente consisten en números agregados correspondientes a una unidad informante, como un distrito o una zona de empadronamiento. La mejor manera de representar cartográficamente estos datos es un mapa coroplético, expresión que proviene de las palabras griegas *choros* (lugar) y *pleth* (valor). Los mapas

coropléticos muestran los datos de unidades informantes discretas que con frecuencia se establecen independientemente de la distribución espacial real de los datos (por ejemplo, los límites administrativos). El símbolo —es decir, el color o el dibujo— que se usa para sombreadar cada unidad se determina por el valor. Los mapas coropléticos son diferentes de los conocidos como mapas de clases de zonas, en los que las unidades informantes se determinan por los datos. Por ejemplo, en un mapa que muestra una cubierta forestal, las unidades

informantes se determinarán por los límites entre las zonas con y sin bosque.

En el gráfico A.V.3 ya se ha dado un ejemplo de mapa coroplético. Estos mapas se construyen dividiendo primero toda la serie de valores de los datos de las unidades informantes en un conjunto de categorías. Luego, se le asigna a cada una de éstas un color o dibujo con matices. Como los datos de empadronamiento ya tienen un orden natural, generalmente la elección de colores o tonos tienen cierta lógica, por ejemplo, desde tonos de color más oscuro a más claro, o desde un dibujo menos denso hasta otro más denso. El objetivo es permitir que el usuario perciba intuitivamente la magnitud del valor en cada unidad informante. Hay muchas formas distintas de determinar los símbolos que se utilizan para colorear los mapas coropléticos. La elección depende del tipo de variable, el intervalo de valores de los datos y también del medio que se use para presentar el mapa. Esta elección es muy importante y por ello se examina minuciosamente en la siguiente sección.

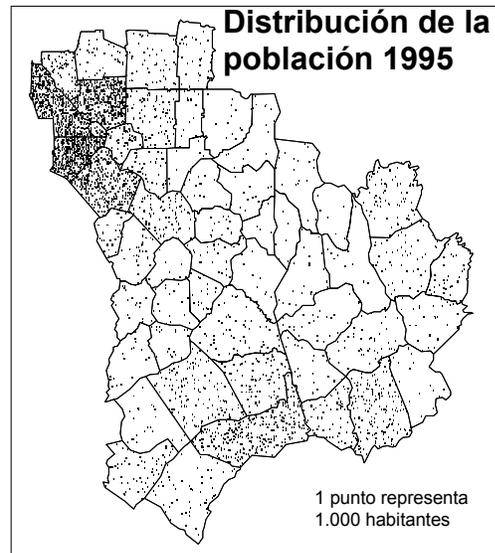
Los mapas coropléticos sirven para mostrar la distribución general de los valores de los datos en un mapa y para comparar las distribuciones entre diferentes mapas. Por lo general, no es posible obtener el valor exacto de cada unidad informante, ya que los colores o los sombreados solamente representan series de valores similares. Para presentar u obtener la información exacta, son mejores los cuadros de datos o la consulta interactiva a un SIG.

Los valores que se usan para producir mapas coropléticos son casi siempre cocientes, ya sea geográficos, donde el valor de un dato —como la población— se divide por la superficie para calcular la densidad de población, o bien cocientes generales, donde el denominador es un valor distinto de la superficie, por ejemplo, la tasa bruta de natalidad como el número de nacimientos cada 1.000 habitantes. En la mayoría de los casos, cuando se preparan mapas de variables socioeconómicas, el tamaño de las unidades informantes no es constante. Por ejemplo, el tamaño y la población de los distritos o de las provincias suelen variar drásticamente. Si se elaborara un mapa de una variable de conteo, como la población total, antes que un cociente, es más probable que los distritos más grandes lleven los colores más oscuros, aún cuando su población sea reducida en relación con su superficie. Por lo tanto, los mapas coropléticos no son adecuados para elaborar mapas de valores absolutos.

Un método opcional para presentar datos de conteo son los mapas de puntos, que se usaron por primera vez en Francia en 1830 para trazar el mapa de la distri-

bución de la población de ese país. En estos mapas, se usa un punto como símbolo que representa una o más unidades de la variable que se traza. Por ejemplo, cada punto podría representar 1.000 habitantes u hogares. La magnitud de la variable se representa por la densidad variable de los puntos en la unidad informante. En el gráfico A.V.8, se presenta un ejemplo de un mapa de este tipo que muestra la distribución de la población.

Gráfico A.V.8. Mapa de puntos de la densidad



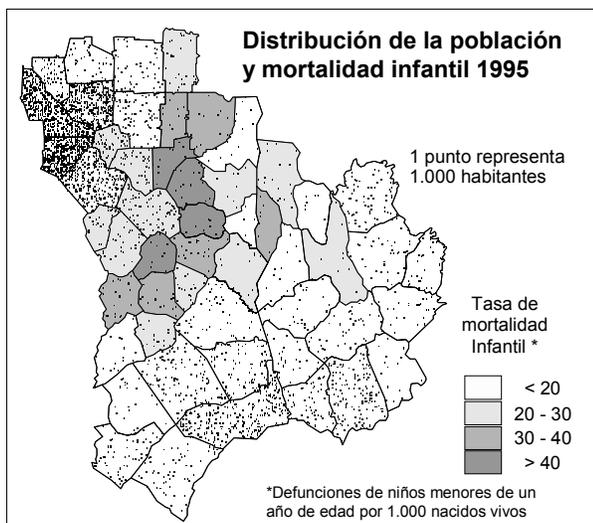
Pueden usarse dos métodos para ubicar los puntos. El cartógrafo puede seleccionar la ubicación de los puntos de acuerdo con lo que sabe acerca de la distribución real de la población dentro de cada distrito. Por ejemplo, habría más puntos en las zonas urbanas y a su alrededor que en las regiones rurales menos habitadas. En algunas aplicaciones, se utilizaron mapas del uso o de la cubierta de la tierra para facilitar la determinación de las densidades de los puntos dentro de cada unidad informante. Además, se podrían utilizar máscaras virtuales para evitar ubicar puntos en zonas que se sabe están deshabitadas, como masas de agua, los bosques muy densos o las reservas naturales protegidas.

La otra opción es ubicar los puntos al azar dentro de cada distrito. En este caso, la densidad de los puntos refleja la densidad del valor global. Los programas cartográficos o de SIG que tienen funciones para confeccionar mapas de densidad de puntos utilizan habitualmente este método. El usuario sólo controla el tamaño de cada punto y el símbolo que se usa para los puntos, que podría elegirse de modo de reflejar la variable en cuestión, aunque generalmente basta un punto simple para lograr una presentación clara.

En algunas universidades se han elaborado programas especializados que permiten la ubicación de los puntos con ayuda de otras capas de datos, pero no se han incorporado todavía a los programas informáticos comerciales. Sin duda, la ubicación manual de los puntos, una tarea que necesita del conocimiento del cartógrafo sobre la distribución de la variable, es muy tediosa.

Los mapas de puntos constituyen una manera eficaz de representar la información sobre la densidad, siempre que la ubicación de los puntos refleje la distribución geográfica real de la variable en cuestión, o si la distribución dentro de cada unidad informante es principalmente homogénea. Una gran ventaja del método es que estos mapas pueden reproducirse con mucha exactitud cuando se fotocopian o imprimen, ya que son esencialmente monocromáticos (blanco y negro). También pueden usarse combinados con los mapas coropléticos para mostrar dos variables al mismo tiempo —por ejemplo, en el mapa del gráfico A.V.9, se muestra que no hay relación entre las densidades de población altas y las tasas de mortalidad infantil elevadas. En este caso, la densidad de los puntos no debería ser muy alta, de modo de poder determinar fácilmente los colores o sombreados de los distritos subyacentes.

Gráfico A.V.9. Combinación de mapas de puntos de densidad y mapas coropléticos

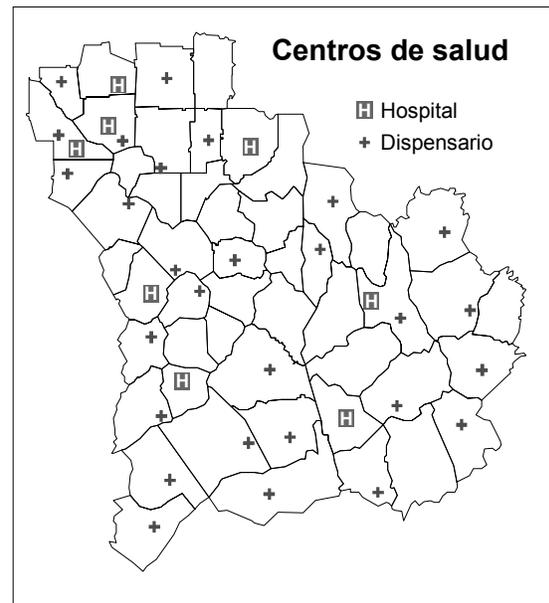


b) Datos de puntos nominales

El ejemplo más sencillo de un mapa de puntos es cuando cada punto representa un elemento discreto, como una explotación agrícola o un hospital. Estos datos en forma de puntos nominales representan categorías de características antes que un conteo o tamaño. En los mapas de puntos simples, la localización del punto representa correctamente la ubicación del elemento. El

tamaño, color o símbolo que se usa podría reflejar distintos tipos de características, por ejemplo centros de servicios de salud en contraposición a hospitales, como en el gráfico A.V.10. Para representar los diferentes tipos de características puntuales, se podrían usar figuras geométricas sencillas, como círculos, cuadrados y triángulos. Otra opción, permitida por los programas de cartografía o de SIG, es especificar un símbolo que se corresponda con el tipo de característica que se representa. Por ejemplo, en el mapa del gráfico A.V.10 se muestra la distribución de dos tipos de centros de salud con símbolos fáciles de interpretar. Se utilizan símbolos que son normalmente caracteres de texto o mapas de bits. La mayor parte de los programas tienen sus propios conjuntos de tipos de caracteres, que proporcionan una gran cantidad de símbolos cartográficos ordenados por temas, como transporte, servicios o centros públicos. Algunos sistemas también permiten la importación de símbolos de mapas de bits diseñados por el usuario.

Gráfico A.V.10. Representación cartográfica de objetos puntuales discretos



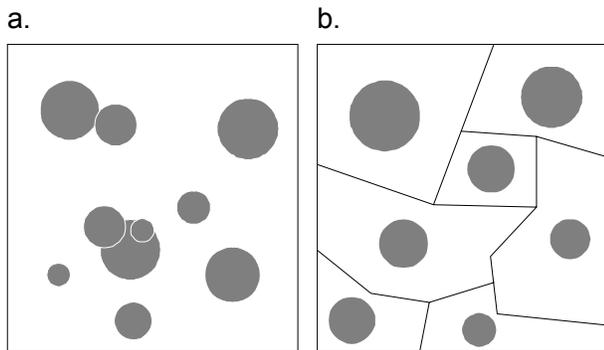
b) Símbolos puntuales proporcionales

Los puntos también pueden usarse para representar una cantidad en una ubicación determinada. Un mapa censal que es muy popular, por ejemplo, muestra la ubicación y el tamaño de las ciudades más importantes por medio de círculos o cuadrados en escala acorde con cada característica y cada valor numérico. Estos mapas se denominan mapas de símbolos proporcionales o graduados y sirven para mostrar el valor absoluto de una

variable, aunque no son tan apropiados para mostrar un valor relativo, como la densidad o la relación.

Hay dos tipos de mapas de símbolos graduados. En el primer caso, los datos se refieren a una característica puntual como una ciudad o un hogar y la ubicación del símbolo corresponde a la ubicación de la característica (véase el gráfico A.V.11a). En el segundo caso, los símbolos se usan para representar valores de características de superficie, como los distritos. En este caso, debe elegirse una ubicación representativa dentro de cada unidad informante (véase el gráfico A.V.11b). Cabe destacar que la mayoría de los sistemas dibujan un halo alrededor de cada círculo de modo tal que los círculos pueden distinguirse aun estando muy cerca unos de otros. El sistema dibuja los círculos más grandes primero para evitar tapar a los más pequeños.

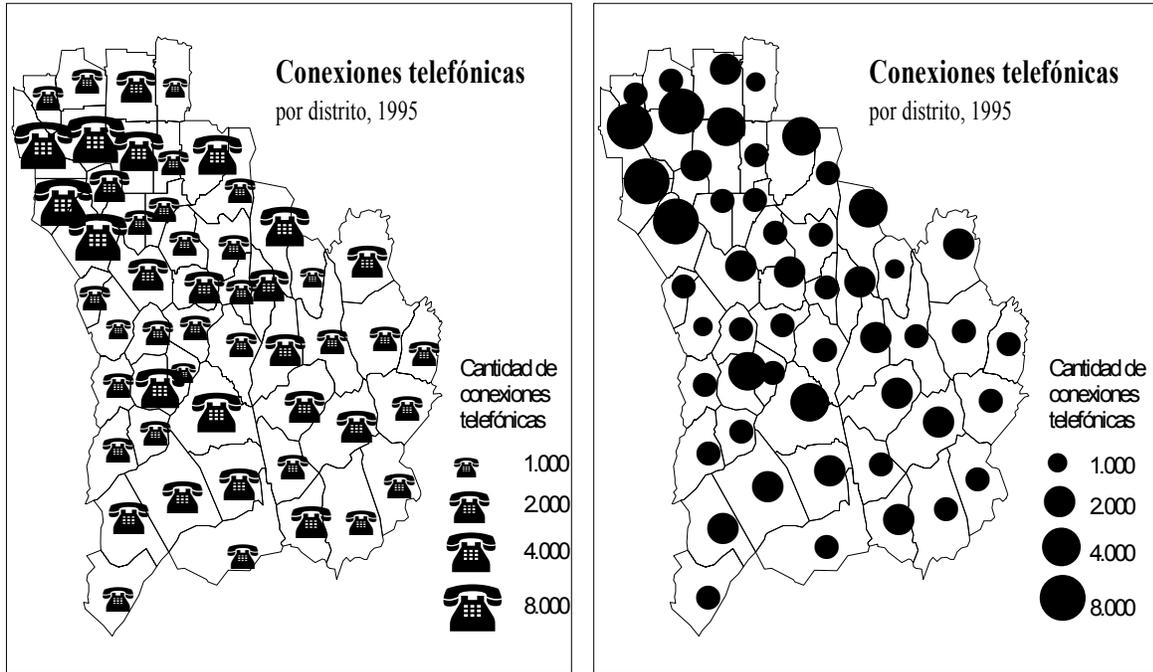
Gráfico A.V.11. Símbolos proporcionales para características puntuales y poligonales



Como dijimos antes, un programa informático nos permitirá seleccionar un símbolo que refleje el tema del mapa. Estos símbolos figurativos pueden hacer que el mapa tenga un aspecto más interesante. Pero si los símbolos son muy complejos, se corre el riesgo de que la atención no se concentre en la información más importante que se quiere comunicar: la magnitud relativa de la variable en las diferentes regiones. En el gráfico A.V.12, pueden compararse dos versiones de un mapa que muestra la cantidad de conexiones telefónicas. Aunque el símbolo del teléfono es bastante sencillo, es más difícil juzgar el tamaño de una variable en el mapa de la izquierda que en el más sencillo de la derecha. El cartógrafo tiene que encontrar el equilibrio entre mostrar información en forma clara y fácil de comprender y, por otro lado, hacer que el mapa luzca atractivo. En la mayoría de los casos, se obtienen mejores resultados con símbolos sencillos que no distraen la atención del lector de la magnitud relativa de la variable que se está estudiando.

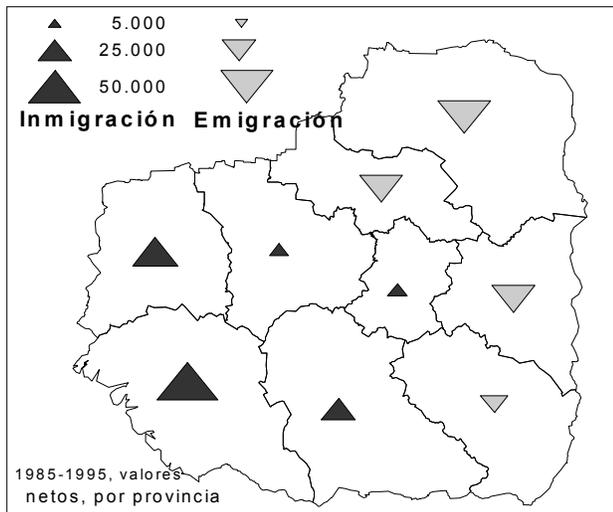
También se pueden usar símbolos proporcionales para presentar dos variables al mismo tiempo. Por ejemplo, el tamaño de los círculos podría representar la cantidad de hogares de una unidad informante, mientras que el color o el matiz de gris de cada círculo podría indicar el porcentaje de hogares que tienen conexión telefónica. Nuevamente, el cartógrafo debe evitar recargar el mapa de información. Si hay muchas unidades informantes, o si son muy pequeñas, puede ser preferible mostrar las dos variables en mapas distintos.

Gráfico A.V.12. Pictogramas o símbolos gráficos sencillos



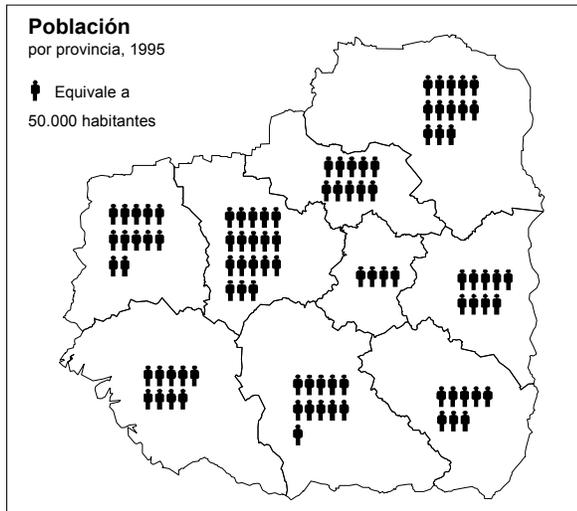
Además de los círculos, se usan otros símbolos geométricos, como los cuadrados y los triángulos. Variando la orientación de los triángulos, se pueden mostrar las variables divergentes, como la inmigración y la emigración en cada unidad informante (véase el gráfico A.V.13). Los diferentes matices de gris o de colores también facilitan la interpretación del mapa.

Gráfico A.V.13. Presentación de la magnitud y dirección de los flujos con símbolos gráficos sencillos



Hay mapas relacionados con los de símbolos graduados donde las diferencias en el valor se representan por las veces que se dibuja un símbolo estandarizado en cada unidad geográfica. Por ejemplo, la población total se puede representar como en el gráfico A.V.14. Este tipo de mapa solía tener mucha aceptación en la cartografía temática, pero como sucede con los símbolos figurativos, es fácil que terminen abarrotados y se vuelvan difíciles de interpretar. La magnitud de valores diferentes se representa mejor con símbolos proporcionales.

Gráfico A.V.14. Representación de los valores de los datos por medio de la variación de la cantidad de símbolos de cada característica



d) Mapas con gráficos o diagramas

Se han vuelto muy populares los mapas que muestran la información estadística de cada observación geográfica en un gráfico o diagrama gracias a que es posible obtenerlos en los programas informáticos comerciales o de SIG. Como sucede con varios de los tipos de mapas que se trataron antes, es muy fácil que estos mapas tengan exceso de información. Lamentablemente, se han publicados muchos de estos mapas, en los cuales es muy complicado, si no imposible, extraer información útil.

Los tipos más habituales de mapas con diagrama utilizan gráficos de sectores, de barras o de columnas. Por lo general, se usa una cierta escala a fin de que el tamaño de cada gráfico de sectores, por ejemplo, refleje la magnitud del denominador. Por ejemplo, en el gráfico A.V.15 se muestra la distribución geográfica de la proporción de los grupos religiosos más importantes. Los gráficos de sectores tienen una escala acorde con la población total, y hay que mostrar dos tipos de información en la leyenda: el color que se refiere a cada grupo religioso y los totales de población que corresponden a un sector dado del gráfico.

Gráfico A.V.15. Mapa con gráfico de sectores

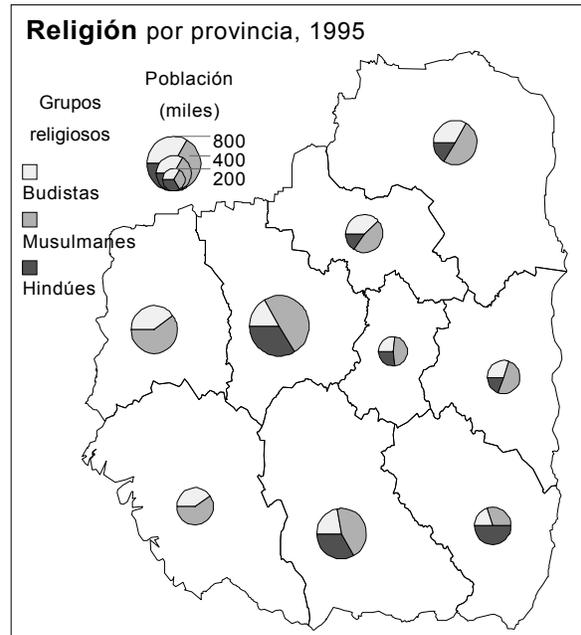
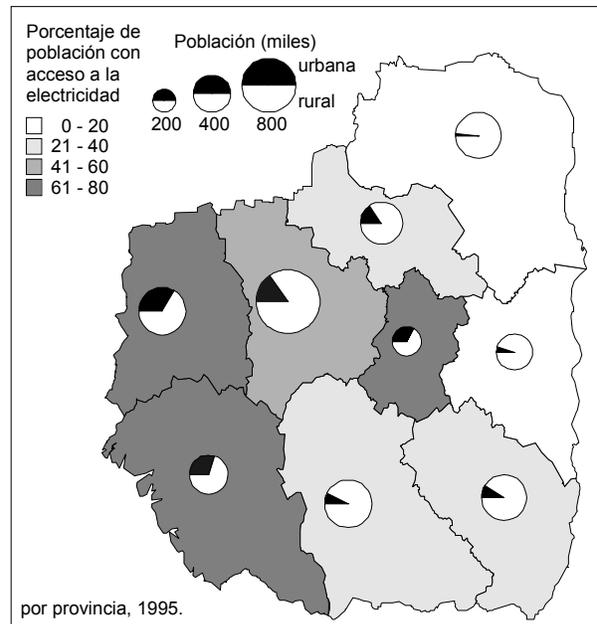
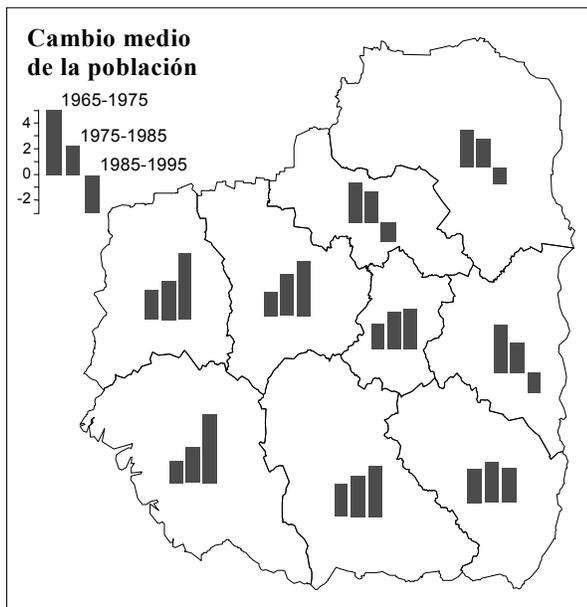


Gráfico A.V.16. Combinación de un mapa coroplético y de un mapa con gráfico de sectores



Los mapas con gráficos son mejores si hay relativamente pocas observaciones geográficas y se representan muy pocos grupos. Por ejemplo, un mapa con gráficos de sectores que tiene solamente dos categorías puede ser muy eficaz, combinado con un sencillo mapa coroplético, para mostrar varias variables simultáneamente (véase el gráfico A.V.16): la distribución espacial de los diferentes niveles de acceso a la electricidad, la población total en cada provincia, y la proporción de la población rural o urbana. En este mapa, es posible advertir que las provincias con una elevada proporción de población urbana también tienen un porcentaje más alto de acceso a la electricidad. Un mapa bien diseñado, que no esté recargado de símbolos, colores o matices, puede favorecer el análisis de variables múltiples. Pero los mapas con gráficos de sectores o similares pueden volverse difíciles de interpretar, por lo que debe limitarse su uso a los casos donde el mensaje cartográfico no pueda quedar obstruido por un exceso de símbolos y categorías.

Gráfico A.V.17. Mapa que muestra variaciones en el tiempo, usando histogramas

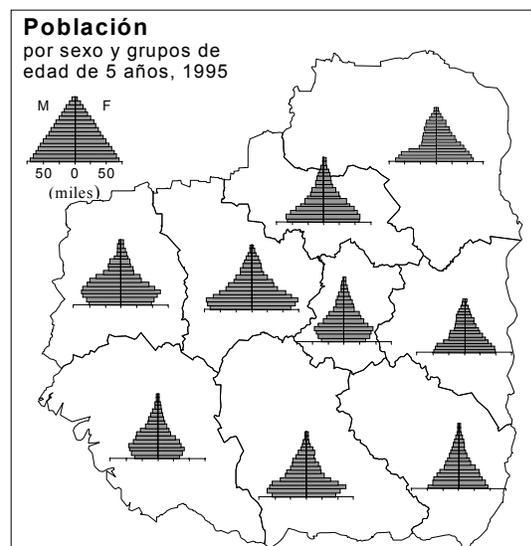


También se pueden usar estos mapas para mostrar tendencias en el tiempo. En el mapa del gráfico A.V.17, por ejemplo, se muestra el cambio medio anual de la población de cada provincia entre los tres últimos censos. Los gráficos de barras son muy sencillos, sin borde ni base, ya que en el caso de estos datos es evidente qué barras representan un aumento o un descenso en la población. Como antes, lo que se quiere mostrar son los cambios relativos en el tiempo, no los valores exactos, que pueden verse mejor en un cuadro.

Un tipo de cuadro que es muy importante para mostrar los datos censales es, sin duda, la pirámide de población que se puede combinar con un mapa básico de las unidades informantes para mostrar la forma en que varía la distribución por edad y sexo en el país por región (véase el gráfico A.V.18). Las pirámides de población son gráficos muy complejos, lo que implica que sólo pueden representarse con razonable exactitud si la cantidad de regiones en el mapa es relativamente reducida. Por lo general, esto significa que en un atlas censal se presentará solamente en el primer nivel subnacional. Un problema práctico que surge es que los programas informáticos de cartografía y de SIG a que se venden comercialmente no producen pirámides en forma automática. En consecuencia, deben crearse externamente, por ejemplo, en un programa de planillas de cálculo, y agregarse a un mapa básico en un programa de gráficos o en el módulo de distribución de un programa de cartografía.

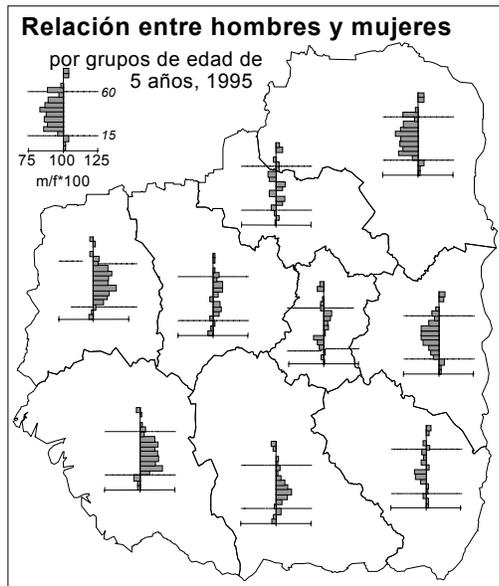
Tiene sentido mostrar las pirámides de población de diferentes regiones si hay alguna variación en su forma. Si la distribución por edad y sexo es relativamente constante en todo el país, los mapas resultantes no serán demasiado informativos. A partir del gráfico A.V.18, se puede inferir que la fecundidad en las provincias del sudeste ha descendido en los últimos 15 años, mientras que no ha habido disminución en las provincias del norte. Además, puede verse que las provincias del noreste muestran una distribución asimétrica de la relación entre hombres y mujeres. Parece haber más mujeres que hombres en los grupos de edad correspondientes a la población económicamente activa. En el sudoeste, la situación parece ser la opuesta.

Gráfico A.V.18. Combinación de mapas y pirámides de población



Las variaciones de la relación entre hombres y mujeres pueden destacarse con un tipo diferente de gráfico de barras, como se muestra en el gráfico A.V.19. Estos gráficos muestran el excedente o el déficit de hombres y mujeres dentro de cada provincia. La tendencia que se observó en el mapa con pirámides de población es mucho más clara en este caso. Aun así, el mapa es bastante complicado y no demasiado atractivo a la vista. Al final del presente anexo se examina otra forma de mostrar las relaciones entre hombres y mujeres.

Gráfico A.V.19. Presentación de las relaciones entre hombres y mujeres en un mapa

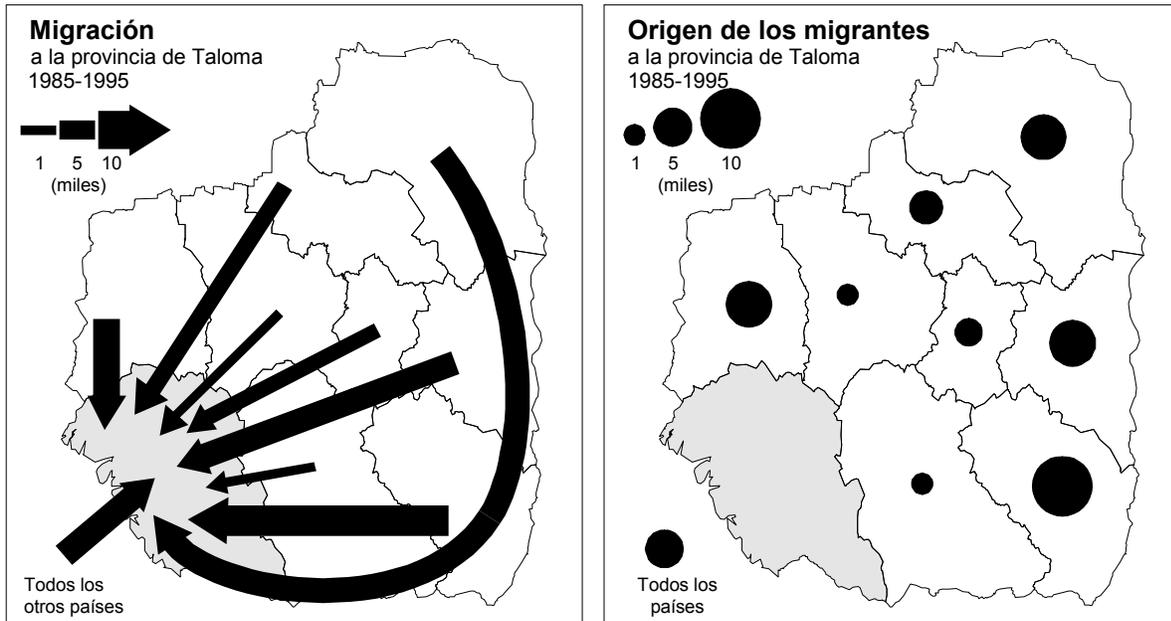


e) Mapas de corrientes

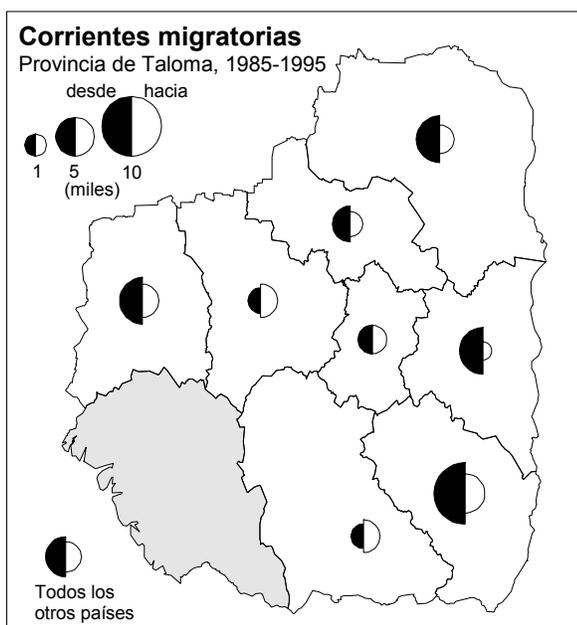
La migración es una variable demográfica que representa el movimiento de personas de una parte del país a otra (migración interna) o entre el país y el resto del mundo (migración internacional) y que puede indicarse en los mapas de varias formas. Las tasas de migración se muestran en mapas coropléticos de inmigración, emigración o tasas de migración neta. El volumen de inmigración o emigración puede mostrarse con mapas de símbolos graduados (véase el gráfico A.V.13 anterior). Otra opción es usar mapas de corrientes —también denominados mapas de líneas de flujo— si se dispone de información completa sobre la migración. Estos mapas muestran varios aspectos de la migración: la ruta de la corriente migratoria y la dirección (desde-hacia) con una flecha, y la magnitud de la corriente con líneas de diferentes grosores.

Los mapas de migración pueden llegar a ser muy complejos con suma rapidez. Aun en nuestro mapa de provincias, con sólo nueve unidades informantes, hay 72 corrientes posibles —sin contar la migración internacional o la migración dentro de cada provincia. Es por esto que muy pocas veces se preparan mapas de corrientes con todas las posibles rutas de migración dentro de una región o un país. Hay varias opciones distintas. Una opción es ignorar las corrientes migratorias más pequeñas y presentar solamente las más grandes y las más significativas. Otra posibilidad es producir mapas separados de cada provincia, que muestren solo la inmigración o la emigración hacia o desde esa provincia (véase el gráfico A.V.20). En el caso de nuestro ejemplo, esto significaría una serie de nueve pares de mapas. Incluso estos mapas más sencillos pueden resultar bastante recargados. Muchas veces, cuando las regiones de origen y de destino están muy separadas, el cartógrafo debe dibujar largas flechas sinuosas que dan vueltas por el mapa.

En los mapas de corrientes que tienen flechas, la longitud y el grosor de la flecha sirven de guía para la vista. Una flecha más larga y más angosta puede destacarse más que una flecha más corta y más gruesa por su superficie más grande. Aunque en algunos casos el cartógrafo puede aprovechar esto para poner de relieve una corriente migratoria interesante desde una región remota, por lo general será difícil para el lector evaluar la magnitud relativa de los flujos que representan las flechas de distinta longitud. Si interesa en especial en el nivel absoluto de migración desde cada región de origen, hay otras presentaciones más apropiadas. Por ejemplo, en lugar de flechas, se pueden usar símbolos graduados para mostrar la magnitud de las corrientes migratorias por origen o destino (véase el gráfico A.V.20).

Gráfico A.V.20. Otras formas de representar corrientes entre regiones

Como se muestra en el gráfico A.V.21, cada mapa puede mostrar la migración hacia y desde cada provincia usando tipos especiales de símbolos graduados. Aquí, los semicírculos de diferentes colores o de diferentes matices de gris se utilizan para distinguir entre la inmigración y la emigración.

Gráfico A.V.21. Representación de la inmigración y la emigración

f) Elaboración de mapas de fenómenos continuos

Los tipos de mapas que se presentaron en las secciones precedentes son adecuados para representar datos con referencia a características geográficas discretas, como las ubicaciones puntuales o las zonas. Pero algunos fenómenos geográficos son continuos. La temperatura o la altitud, por ejemplo, varían gradualmente a lo largo del espacio. También la distribución de la población se puede considerar como una variable que se modifica más o menos continuamente. Las unidades informantes son bastante arbitrarias y los valores agregados que se tabulan para estas unidades no permiten ver la variación espacial dentro de ellas. Por ello, los atlas de población y, cada vez con más asiduidad, los conjuntos de datos de los SIG muchas veces muestran la densidad y la distribución de la población con variación continua.

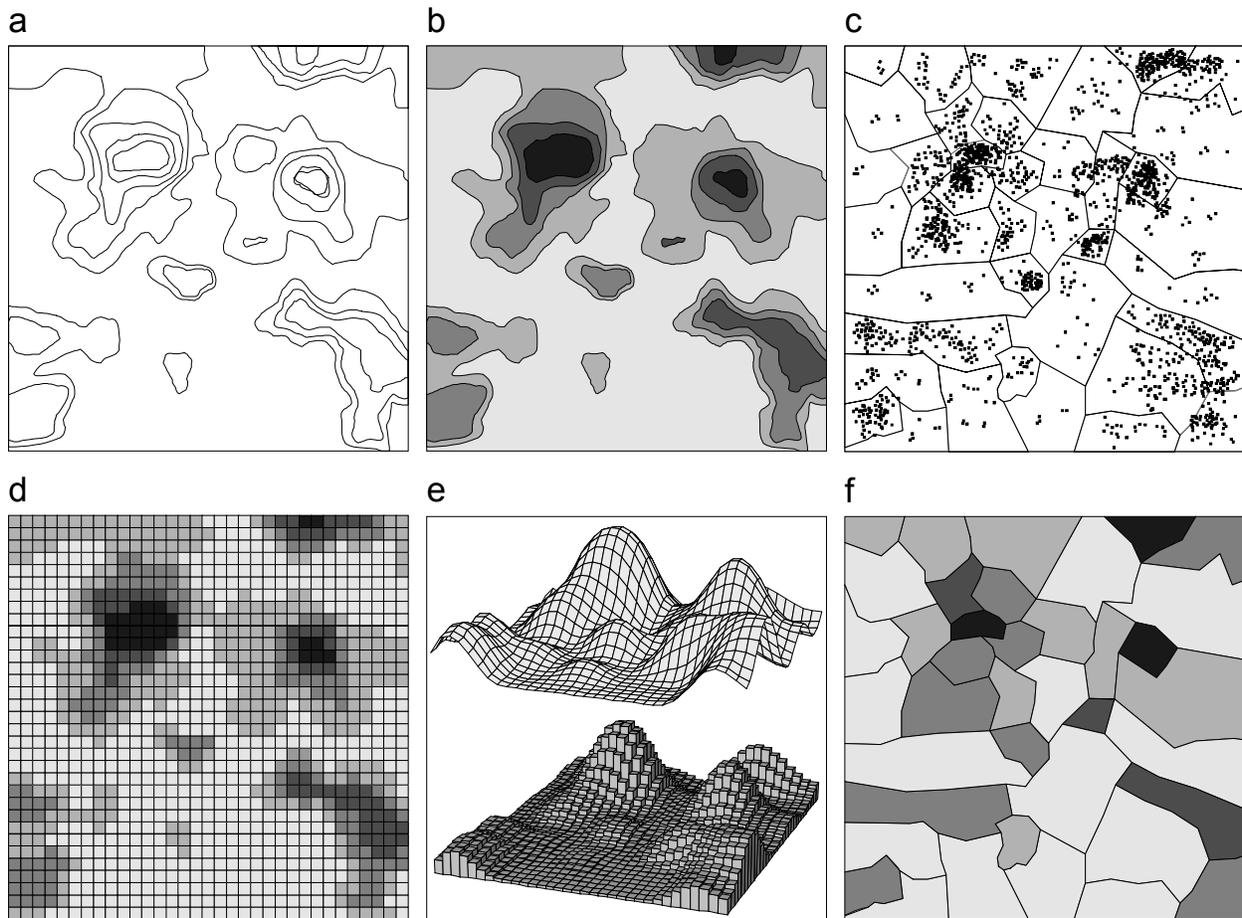
No se puede representar fácilmente la verdadera continuidad en un mapa en papel o en una base de datos informática. Aun cuando se pudiera derivar teóricamente un valor diferente para cada punto exacto en el país, sería necesario que los datos se transformaran en discretos para poder representarlos en un mapa. En el gráfico A.V.22 se muestran varias formas de lograr esto.

La forma más habitual de representar datos continuos es por medio de isolíneas o cuadrículas regulares. Las isolíneas —la palabra griega iso significa igual— son líneas de valor constante, que también se denomi-

nan curvas de nivel (véase el gráfico A.V.22a). Se usan en los mapas topográficos de la altura. Los mapas de curvas de nivel también pueden sombreadarse, lo que hace que parezcan más bien mapas coropléticos (véase el gráfico A.V.22b). Los colores representan los valores de la gama de datos entre dos intervalos de líneas de nivel. También se pueden usar mapas de puntos para una visualización más continua de la distribución de la población u otra variable similar. Como se describió antes, la mayoría de los programas de SIG producen mapas de datos dibujando puntos al azar dentro de cada unidad informante. En este caso, no se obtiene más información que la que brinda un mapa coroplético. Pero si por ejemplo los puntos se ubican según la información adicional sobre la cubierta terrestre o la ubicación de los poblados, se puede obtener una imagen más continua de la distribución de la variable (véase el gráfico A.V.22c).

A los efectos de la modelización y el análisis en un SIG, los datos continuos normalmente se almacenan en forma de una cuadrícula común (véase el gráfico A.V.22d). El tamaño de cada casilla se elige de modo de conservar la variabilidad del conjunto de datos, aunque una cuadrícula muy fina producirá archivos

muy grandes. Por último, los programas de cartografía, así como los programas de gráficos en general, proporcionan varias maneras de mostrar conjuntos de datos que varían continuamente como una superficie. En el gráfico A.V.22e pueden verse dos ejemplos: un modelo cablilíneo y un gráfico de barras bidimensional. Estas técnicas son muy útiles para mostrar información sobre el terreno con arreglo a un modelo digital de la altura. A veces, estos mapas también pueden mostrar muy bien la distribución de la población. En estos mapas, las elevaciones y las cimas representan conglomerados de densidad de población muy alta, mientras que las depresiones indican zonas escasamente pobladas. Pero en el caso de los datos demográficos o de cualquier información socioeconómica similar, es difícil evaluar la verdadera distribución espacial en las superficies. Si bien podemos interpretar las alturas intuitivamente, es mucho más complicado asociarlas con rapidez a sus valores respectivos en el caso de otras variables. Por ello, son más adecuadas las técnicas cartográficas más estándar. A modo de comparación, en el gráfico A.V.22f se muestra un mapa coroplético donde las unidades informantes no están determinadas por los datos de la distribución.

Gráfico A.V.22. Otros métodos cartográficos para mostrar datos continuos

C. Clasificación de datos

En las secciones anteriores se examinaron las herramientas de que dispone el cartógrafo para mostrar la información temática en los mapas. El diseñador de mapas debe elegir las variables gráficas y el tipo de mapa temático más apropiado para la variable que se desea representar. En algunos casos, habrá correspondencia unívoca entre los tipos de símbolos y los valores de las variables, como cuando se representan unas pocas categorías nominales con puntos de tamaño semejante pero diferente forma. Sin embargo, incluso con los datos de las categorías, con frecuencia hay que representar varias características con valores similares con el mismo símbolo gráfico. Por ejemplo, los hogares constituidos por una única familia y los hogares constituidos por más de una familia podrían representarse con el mismo punto. Los datos numéricos casi siempre

deben categorizarse antes de asignarles los colores o tamaños de un símbolo.

El procedimiento por el cual se agrupan las observaciones con valores similares para representarlas con el mismo símbolo gráfico se denomina clasificación. Es similar a los métodos de clasificación que usa la estadística, que agrupan valores en categorías de modo que se minimiza la varianza de las observaciones en la misma categoría y se maximiza la varianza entre categorías. Los programas informáticos de cartografía utilizan métodos para asignar por defecto símbolos a los valores o a los intervalos de valores, que pueden o no ser adecuados para las variables que se representan en un mapa —la mayor parte de las veces no lo son. Las herramientas de clasificación automatizada producen, por lo general, diseños de mapas inadecuados y hasta engañosos. Es por ello que en los siguientes pá-

raños se examinan métodos de clasificación opcionales en más detalle.

Las clases de datos numéricos son generalmente intervalos contiguos de valores. La cantidad de clases se determina por varios factores: la distribución de los datos (es decir, la variación de los valores en el conjunto de datos), la exactitud deseada para representarlos, y por último, aunque no en orden de importancia, la capacidad del dispositivo de salida para mostrar pequeñas diferencias entre colores y texturas. Un mapa temático no es mejor porque tiene más clases, ya que cuantas más haya, más difícil es distinguirlas. Es más importante determinar las gamas de clases de modo que se refleje con precisión la variación en el conjunto de datos.

La técnica de clasificación que resulta adecuada dependerá de la distribución de los datos de la variable. Un método que dé como resultado un mapa preciso y atractivo de un conjunto de datos uniformemente distribuidos (por ejemplo, cuando hay aproximadamente la misma cantidad de valores altos, medios y bajos) puede no servir mucho para una distribución muy asimétrica —es decir, una distribución con muchos valores bajos y muy pocos valores muy altos.

Por lo tanto, para preparar mapas con calidad de publicación, los datos deben evaluarse siempre con gráficos estadísticos. Lamentablemente, los programas informáticos de cartografía y de SIG tienen muy poca capacidad en lo que a gráficos se refiere, aunque sí permiten exportar los datos a programas de planillas de cálculo o de estadística, que tienen muchas funciones para hacer gráficos.

El tipo de gráfico más útil para determinar las gamas de clases es el diagrama jerárquico. Todos los datos en forma de punto se clasifican según sus valores de menor a mayor. Luego, se los ubica uno al lado del otro —el eje x muestra el orden de cada observación y el eje y muestra los valores de los datos. Los espacios vacíos verticales o los cortes naturales entre puntos contiguos sirven bien como límites de la clase, aunque muchas veces puede haber más o menos espacios vacíos que la cantidad de clases deseada.

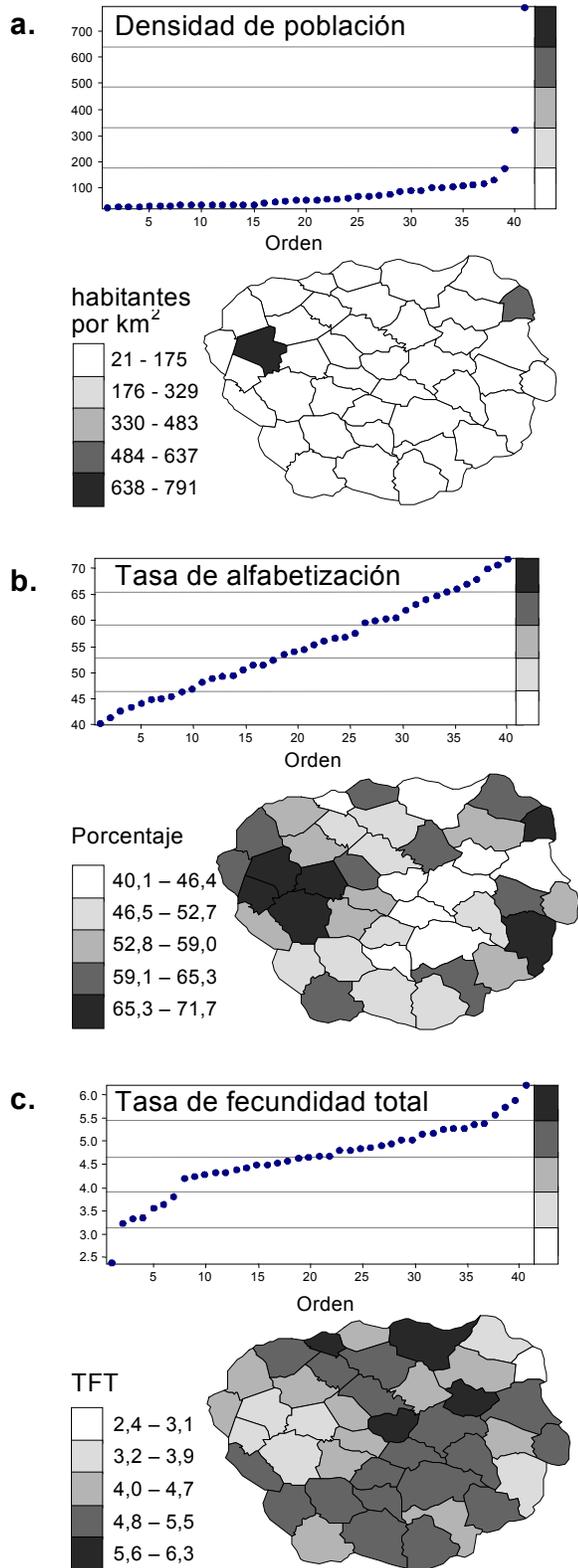
En las páginas que siguen, se presentan ejemplos de métodos habituales de clasificación para tres variables con diferentes distribuciones estadísticas de datos. La variable densidad de población tiene una distribución asimétrica. Hay muchos valores pequeños en la gama de 21 a 110 habitantes por kilómetro cuadrado, y sólo unos pocos valores muy altos. El más alto (791) es casi dos veces y media mayor que el que le sigue en orden decreciente (320), lo que es habitual para esta variable. Por ejemplo, el distrito con muy alta densidad

puede contener a la capital de una provincia que, en general, es rural. La segunda variable es la tasa de alfabetización de los distritos. Los valores aquí tienen una distribución uniforme, lo que queda indicado por la línea casi recta que forman las observaciones en el diagrama jerárquico. No hay valores extremos.

La tercera variable es la tasa de fecundidad total (TFT). El diagrama jerárquico muestra un aumento bastante pronunciado de los valores de las observaciones más bajas, una sección intermedia grande, con un aumento no tan extremado, y nuevamente, un aumento más rápido de los valores de las observaciones muy altas hacia la derecha. Esto indica una distribución denominada normal, que se caracteriza por una menor cantidad de valores extremadamente bajos o altos, y muchas observaciones en las gamas intermedias. Por supuesto, estos ejemplos son solamente ilustrativos. Las mismas variables de otras zonas geográficas pueden tener una distribución muy distinta.

Los ejemplos dejarán en claro que la apariencia de un mapa depende casi exclusivamente de la elección del método de clasificación, que puede o no ser apropiada para la distribución de los datos. Esto confirma que los métodos de clasificación automatizados que vienen con los programas de SIG deben usarse con cierta cautela.

Gráfico A.V.23. Intervalos iguales



1. Clasificación de los datos en una serie

Uno de los métodos más sencillos de clasificación consiste en dividir toda la gama de valores de los datos en intervalos iguales (véase el gráfico A.V.23). Primero, el cartógrafo determina cuántas clases se utilizarán. Dicha gama —el valor más alto menos el más bajo— se divide luego por la cantidad de clases para obtener el incremento, también denominado diferencia común. La primera clase entonces va desde el valor más bajo hasta el valor más bajo más el incremento, y las clases siguientes se determinan sumando el incremento al valor anterior. Si los números que aparecen en la leyenda no son demasiado precisos, será necesario redondearlos.

Para la variable densidad de población, el valor más bajo es 21 y el más alto 791. La gama es entonces de 770. Como se quieren usar cinco categorías, la diferencia común es de $770/5$, o sea, 154. La primera clase abarca en consecuencia desde 21 hasta 175, la siguiente desde 176 a 329, y así sucesivamente.

En el mapa de densidad de población puede verse por qué esto puede ocasionar problemas. La gama de valores puede verse afectada por un valor muy alto. La diferencia común sería tan grande que la primera clase incluiría todas las observaciones, excepto dos. Indudablemente, el mapa resultante no será muy informativo.

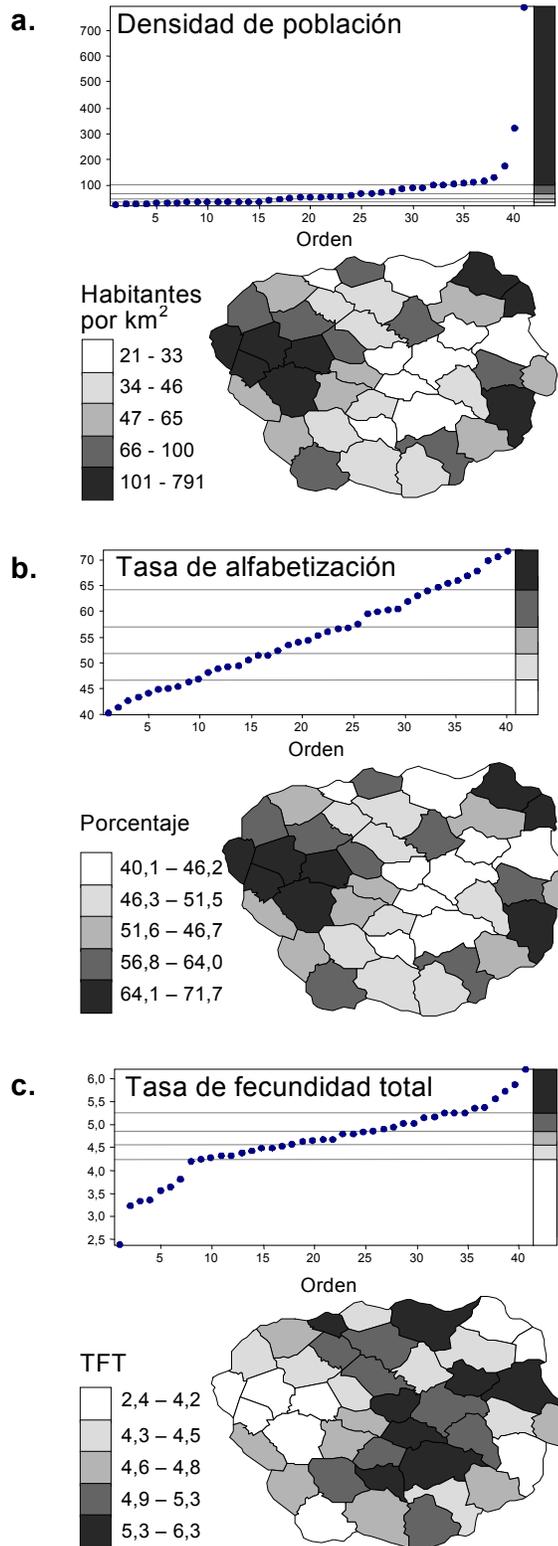
Este método funciona mejor en el caso de la tasa de alfabetización, que tiene una distribución más uniforme. El conjunto de datos se divide en aproximadamente la misma cantidad de observaciones para cada clase y el mapa proporciona una buena muestra de la tasa de alfabetización en los distritos.

Por último, el mapa de la TFT muestra problemas similares al de densidad de población, aunque mucho menos graves. Hay una sola observación en la clase más baja y en el mapa parecen predominar los valores de las clases intermedias. Pero, por coincidencia, los cortes entre la segunda y la tercera categoría y entre la cuarta y la quinta logran captar bastante bien lo que ocurre en la distribución de los datos.

Además de los intervalos iguales, hay otras opciones para clasificar los datos en serie. Una es usar una progresión geométrica constante como 0-2, 2-4, 4-8, 8-16, y así sucesivamente, que puede funcionar bien en el caso de las distribuciones asimétricas de los datos, como la variable densidad de población.

Gráfico A.V.24. Mapas en cuantiles (igual frecuencia)

2. Clasificación estadística



Un método de clasificación consiste en tener aproximadamente la misma cantidad de observaciones geográficas en cada categoría. El método se pone en práctica usando el concepto estadístico de cuantiles, según el cual se divide el conjunto de datos en clases con la misma cantidad de observaciones. Si hay cuatro clases, se denominan cuantiles; si hay cinco, quintiles, y así sucesivamente.

Para determinar los cuantiles, se divide la cantidad de observaciones por la cantidad de categorías deseadas y, si es necesario, se redondea al número entero más cercano. En el diagrama jerárquico, las primeras *n* observaciones se asignan a la primera categoría, las siguientes *n* observaciones a la segunda, etc. Los números impares se asignan a la primera o a la última categoría.

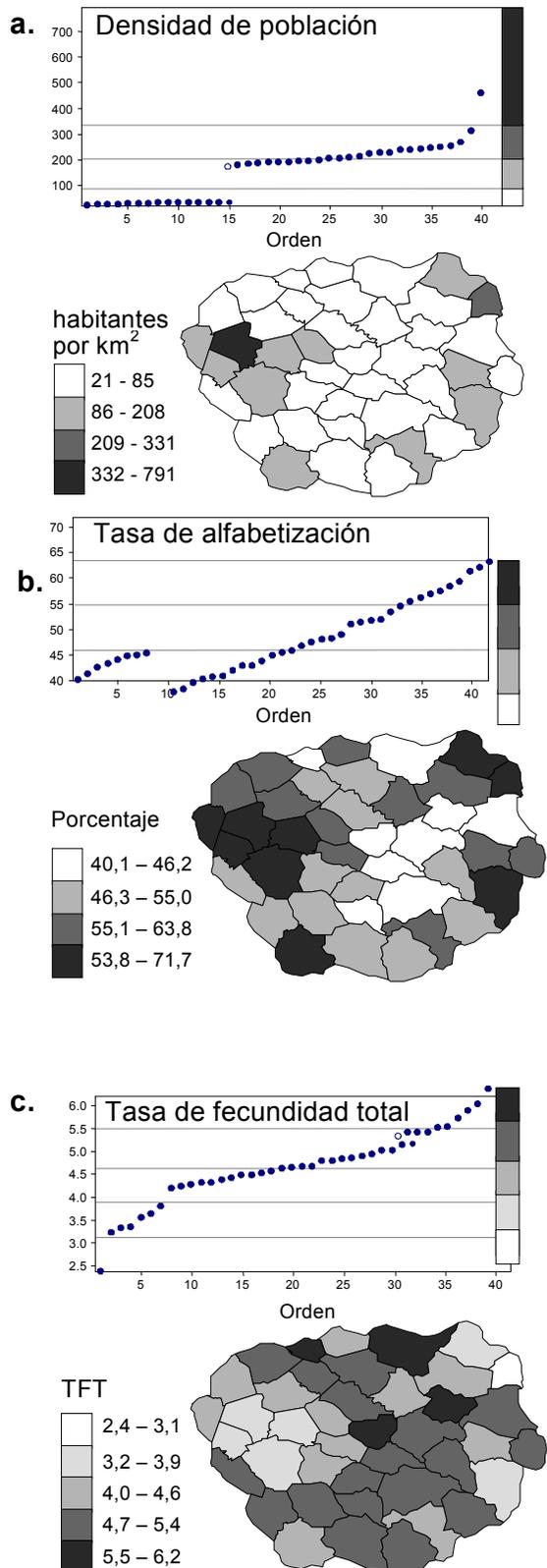
Muchos programas de cartografía hacen uso del método de los cuantiles y por ello el método se ha vuelto muy popular para producir mapas.

Los tres mapas en el ejemplo se ven bien. Hay, por definición, una buena distribución de las observaciones en las clases, de modo tal que en todos los mapas se utiliza la gama completa de grises.

Si se observa distribución de los datos, se verá que la clasificación para la variable tasa de alfabetización parece bastante adecuada. De hecho, el mapa es bastante parecido al de intervalos iguales.

Sin embargo, en los mapas de la densidad de población y de la tasa de fecundidad total, puede observarse que usando este método, se agrupan valores similares en categorías distintas. Para la TFT, por ejemplo, las dos observaciones con los valores más altos en la gama de datos más baja (2,4-4,2) son mucho más parecidas a las observaciones de la segunda categoría que a las de la primera. Lo que es peor, hay tres observaciones con un valor de 5,3, una de ellas se asignó a la cuarta clase pero las otras dos a la quinta (algunos programas de cartografía utilizan un criterio más amplio de igual cantidad de observaciones para evitar que ocurra esto).

En consecuencia, los mapas en cuantiles deben usarse con cuidado. Con frecuencia se asignan valores similares a categorías distintas y se agrupan valores diferentes en la misma clase. Aunque los mapas resultantes sean atractivos visualmente, pueden ser engañosos.

Gráfico A.V.25. Desviación estándar

Otra técnica de clasificación estadística se basa en mediciones resumidas de la distribución de los datos. Es posible determinar lo que cubrirán las clases usando la desviación estándar de la distribución de la variable. Ésta se calcula como la raíz cuadrada de la varianza, que a su vez se calcula como la media de la raíz cuadrada de las diferencias entre los valores de los datos y el promedio del valor general. Por ejemplo, para la variable tasa de alfabetización, la desviación estándar es 8,9.

Las categorías de los mapas basadas en las desviaciones estándar muestran, por lo tanto, cómo se puede comparar cada una de las observaciones —por ejemplo los distritos— con el valor medio de toda la provincia o país.

Las categorías se determinan restando o sumando la desviación estándar a la media (55 para la tasa de alfabetización). Las gamas de las clases son, por lo tanto, constantes, al igual que con el método de intervalo igual.

Para la tasa de alfabetización, la primera gama de datos (40,1-46,2) corresponde a los valores mayores que uno pero menores o iguales a dos desviaciones estándar por debajo de la media. Como la distribución de los datos es bastante compacta, todos los valores caen dentro de +/- dos desviaciones estándar y solamente se necesitan cuatro categorías. Como puede verse en el gráfico A.V.25b, el método divide los valores de la tasa de alfabetización en aproximadamente un número par de observaciones para cada clase, lo que produce un mapa con un buen contraste visual.

Pero para la variable densidad de población este método no es tan apropiado; puesto que hay muchos valores pequeños, la densidad media de población es bastante baja (84,5) y la desviación estándar es bastante alta (124,8). La primera categoría —correspondiente a los valores que se encuentran dentro de una desviación estándar de la media— debería variar en realidad desde -39,5 a 85,4. Por otra parte, el valor más elevado (791) es mayor que cinco desviaciones estándar de la media. En consecuencia, se necesitarían muchas más clases, la mayoría de las cuales no contendría ninguna observación. En cambio, la clase más grande para el mapa que se presenta aquí incluye todos los valores mayores que una desviación estándar de la media. Sin duda, las desviaciones estándar no son una buena elección cuando se trata de representar esta variable.

Las desviaciones estándar funcionan un poco mejor en el caso de la TFT, con una media de 4,6 y una desviación estándar de 0,8. Sin embargo, solamente el valor bien bajo de 2,4 cae dentro de la categoría más

baja, que se encuentra a más de dos desviaciones estándar de la media.

El método de clasificación según la desviación estándar es intuitivamente atractivo porque mantiene una relación estrecha con las técnicas estadísticas de descripción. Funciona bien si los datos tienen una distribución normal, con una varianza relativamente baja, de modo que haya como máximo seis categorías que contengan todos los valores.

Las desviaciones estándar pueden usarse para representar diferentes tipos de tendencias en un conjunto de datos (véanse el gráfico A.V.26 y Dent, 1999). En los ejemplos del gráfico A.V.25, se usa una escala de grises que va de oscuro a claro. Los mapas destacan la progresión de valores bajos a altos de la densidad de población, tasa de alfabetización y tasa de fecundidad total que corresponden a una categorización, como se muestra en el gráfico A.V.26a. De hecho, ésta es la aplicación menos común de la clasificación por medio de las desviaciones estándar.

El método se usa con mayor frecuencia para indicar tendencias divergentes. Por ejemplo, para mostrar los niveles de ingreso, podríamos querer destacar los distritos más pobres y los más ricos. En ese caso, asignaríamos colores fuertes o una textura gruesa a los distritos con valores de más de una y dos desviaciones estándar de la media y tonos relativamente apagados a los que están en el centro de la distribución de los datos (gráfico A.V.26b).

Si sólo interesa la distancia desde la media —sin importar si los valores están por encima o por debajo de ella— entonces se pueden usar los mismos colores de ambos lados. Si además interesa saber si los valores están por encima o por debajo de la media, entonces deben usarse diferentes colores o texturas de cada lado. Por ejemplo, en un mapa impreso en colores, las clases por debajo de la media podrían tener matices de rojo de claro a oscuro, y las clases por encima de la media podrían mostrarse con tonos azules.

En otros casos, tal vez se quieran resaltar las gamas centrales (véase el gráfico A.V.26c). Por ejemplo, McEachren (1994) examina un mapa de Irlanda del Norte publicado en Fothergill y Vincent (1985) donde se muestra el porcentaje de protestantes y de católicos. En este mapa, se destacan los valores en torno al 50 por ciento, que indican casi equilibrio entre protestantes y católicos, asignando a las clases del medio un color fuerte (amarillo). Las zonas donde hay clara mayoría de católicos o de protestantes se muestran en colores menos fuertes (verde y naranja, respectivamente).

Gráfico A.V.26. Asignación de matices para las clases determinadas por medio de desviaciones estándar

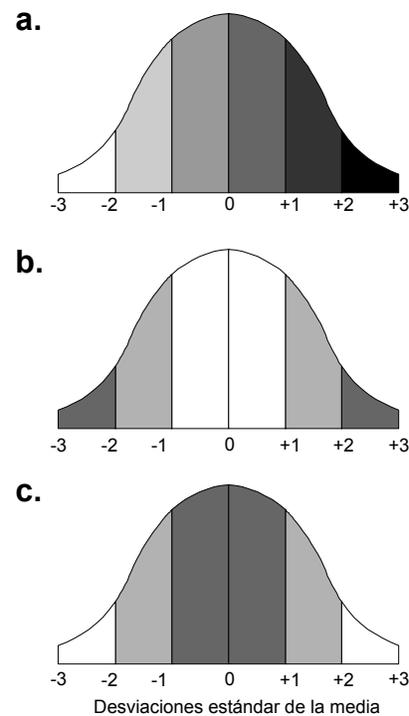
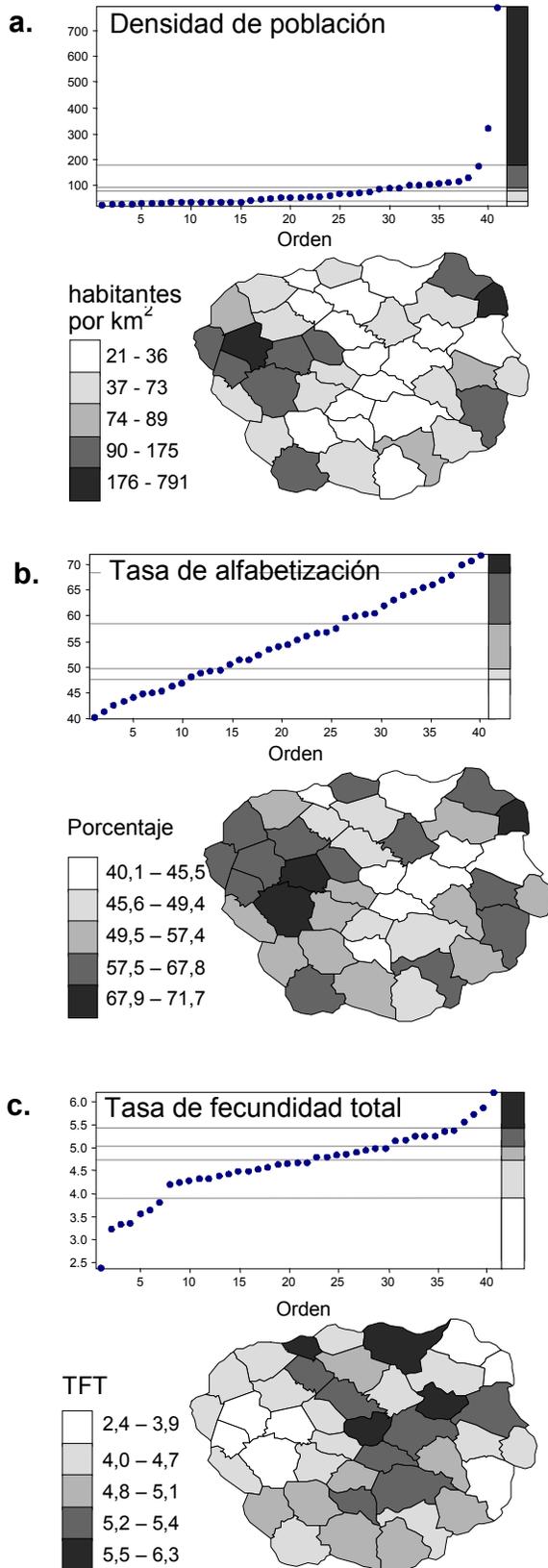


Gráfico A.V.27. Cortes naturales



3. Cortes naturales

Como se ha visto en los ejemplos anteriores, la mayoría de los métodos producen mapas un tanto engañosos en el caso de las variables que no tienen una distribución muy uniforme. Muchas veces sucede que se asignan valores similares a clases diferentes o se agrupan valores muy distintos. Un método lógico para clasificar los datos en cartografía sería entonces encontrar un agrupamiento que logre optimizar la asignación reduciendo al mínimo las diferencias entre los valores dentro de cada categoría y llevando al máximo la variación entre los grupos.

Se puede lograr este objetivo mediante la inspección visual de la distribución de los datos y la ulterior elección de los puntos de corte de las clases. En el gráfico A.V.27 se presentan ejemplos de este método. Para la variable TFT, el método es bastante directo, ya que muestra varios cortes claros en la distribución.

En el caso de las otras dos variables es un poco más difícil. Para la densidad de población, la aplicación estricta del método podría resultar en la asignación de todos los valores bajos en la misma categoría y de los valores altos en una serie de clases distintas. Esto tendrá que equilibrarse si se quiere conservar una pequeña variación en las gamas de valores bajos.

De manera similar, en el caso de la variable alfabetización con distribución uniforme, los puntos de corte de las clases no son muy claros, ya que la diferencia de los valores de las observaciones no varía demasiado.

A pesar de estas dificultades, la clasificación según los cortes naturales, que considera explícitamente la distribución de los datos, por lo general produce representaciones cartográficas exactas y con buen contraste visual.

Antes que recurrir a un criterio algo subjetivo, se puede dejar que la computadora determine los puntos de corte naturales u óptimos. Unos pocos programas informáticos de cartografía y de SIG incluyen funciones que determinan los cortes naturales en base a una evaluación automatizada de la distribución de los datos (el método de clasificación óptima de Jenk). También pueden usarse las funciones de clasificación o de agrupamiento de los programas estadísticos.

4. Mapas coropléticos sin intervalos de clases

Los mapas denominados coropléticos sin clases no requieren que el cartógrafo elija ningún método de clasificación. Gracias a la tecnología más avanzada de visualización e impresión, las pantallas de las compu-

tadoras y las impresoras pueden producir una amplia gama de diferentes matices de colores o de gris. En el caso de un mapa sin clases o de n clases, los valores de los datos determinarían directamente, por ejemplo, el nivel porcentual de gris. Para una variable porcentual se puede seleccionar el nivel de gris correspondiente en una escala de 0 por ciento gris (blanco) a 100 por ciento (negro), que se ajusta al valor de cada observación. Pero si el método de reproducción puede producir una cantidad suficiente de matices distinguibles, se recomienda evitar el blanco, ya que generalmente la hoja es de este color.

En la práctica, sin embargo, quizás no siempre se obtengan óptimos resultados, porque muchas variables no oscilan entre 0 y 100, sino que sus valores se concentran en una gama menor. Entonces, el mapa tendrá solamente matices de gris muy claros o muy oscuros. Una forma de evitar este problema es “estirar” la distribución de los datos: usando el color más claro para el valor más bajo y el más oscuro para el más alto se obtendrán mapas más fáciles de interpretar.

Pero, por lo general, hay un límite para la cantidad de matices de gris o de colores que se pueden distinguir con facilidad. Si bien una gama continua puede ser útil para fines analíticos, en los mapas que se usan para presentación es preferible clasificar los valores de los datos en unas pocas categorías.

5. Clasificación externa de los datos

En algunos casos, el criterio de clasificación está dado externamente. Por ejemplo, para preparar un mapa de la pobreza por distrito, se usa un valor umbral dado del ingreso medio —la denominada línea de pobreza— debajo del cual se considera que un distrito es pobre. Otro ejemplo es cuando se realizan comparaciones con un mapa ya impreso cuyos datos originales no están disponibles. Para comparar con exactitud mapas de, por ejemplo, la tasa de fecundidad de las provincias de un país, la clasificación debe ser idéntica.

6. Observaciones generales

En el presente examen general se ha demostrado que hay muchos métodos para asignar los valores de los datos a las categorías. La mayor parte de los programas informáticos de cartografía y de SIG trabaja con intervalos iguales, cuantiles, desviaciones estándar y puntos de corte naturales. Además, todos permiten que el usuario defina una clasificación de datos que le resulte apropiada.

Cada método tiene ventajas y desventajas, que se indican en el cuadro A.V.1. La elección del método adecuado dependerá de la distribución de los datos y del propósito del mapa. Por lo general, siempre se debe evaluar la distribución de los datos con un gráfico estadístico, como los diagramas jerárquicos que se mostraron antes. Una vez hecho esto, la cantidad óptima de categorías y los mejores puntos de corte serán bastante evidentes.

Cabe mencionar que los puntos de corte naturales no son adecuados si se presentan varios mapas juntos para compararlos; por ejemplo, una serie temporal de la relación entre hombres y mujeres por distrito o mapas de acceso al agua potable de dos provincias en el país. En este caso, los cortes de las clases deben mantenerse constantes. Para ello, hay que elegir un método de clasificación definido por el usuario basado en una evaluación de todas las series de datos. También se pueden usar a veces los mapas de cuantiles, si el objetivo es solamente comparar el orden de las diferentes observaciones en el tiempo o en el espacio antes que los valores de los datos. Por ejemplo, dos mapas cuantiles podrían subrayar el 25 por ciento de los distritos con las tasas de alfabetización más altas tal como se determinaron en el último censo y en el anterior.

Cuadro A.V.1. Evaluación de diferentes técnicas de clasificación

Método de clasificación	Ventajas	Desventajas
<i>Intervalos equivalentes</i>	De fácil realización Adecuado para datos con distribución uniforme	No hay relación entre el método de clasificación y la distribución de los datos Como los intervalos son fijos, puede que se asignen valores similares a diferentes clases, o valores diferentes a la misma clase No es adecuado para distribuciones asimétricas o conjuntos de datos con valores atípicos
<i>Progresión geométrica</i>	De fácil realización Adecuado para datos con distribución muy asimétrica (por ejemplo, muchos valores pequeños y pocos valores muy altos)	El usuario debe determinar la progresión geométrica adecuada. Como los intervalos son fijos, pueden asignarse valores similares a diferentes clases, o valores diferentes a la misma clase
<i>Cuantiles (igual frecuencia)</i>	Se asegura un buen contraste visual Adecuado para datos con distribución bastante uniforme	Valores similares o idénticos pueden terminar en diferentes categorías
<i>Desviaciones estándar</i>	Bueno para mostrar tendencias divergentes centradas en el valor medio Relaciona cada categoría con el valor medio general Adecuado para datos con distribución normal	Las distribuciones asimétricas o los conjuntos de datos con valores atípicos (muy pocos valores muy altos o valores muy pequeños) producirán una gran cantidad de categorías (es decir, varias desviaciones estándar por encima o por debajo de la media)
<i>Puntos de corte naturales</i>	Se asignan valores similares a la misma categoría Con frecuencia, la cantidad de categorías se infiere a partir de la cantidad de puntos de corte	Las gamas de clases resultantes pueden ser muy irregulares Requiere un criterio subjetivo (determinación visual) No permite la comparación de mapas de distintas fechas
<i>Mapas coropléticos sin clases</i>	No hay que definir puntos de corte de las categorías El matiz de gris o color se determina directamente por el valor de los datos Subraya la distribución continua de los valores en el conjunto de datos	La mayoría de los dispositivos de salida solamente permiten una cantidad limitada de matices distinguibles de gris o color Los mapas con diferencias sutiles de gris o color no pueden reproducirse bien (por ejemplo, fotocopiarse) No es fácil de realizar en la mayoría de los programas de cartografía o de SIG

D. Elección del color

En todos los ejemplos de mapas que se examinan en el presente anexo, se ha usado la escala de grises para los símbolos. Las publicaciones en blanco y negro son menos costosas y los mapas que usan esta escala pueden fotocoparse en blanco y negro sin desmedro de su legibilidad. Pero, por otra parte, la utilización de colores da al cartógrafo muchas más opciones de diseño. Las impresoras a color siguen bajando constantemente de precio. Además, en el futuro cercano, cada vez será mayor la cantidad de mapas que se presentarán en forma electrónica, en sitios de Internet o en publicaciones electrónicas. En todos estos medios se pueden utilizar colores para el diseño de mapas.

Resulta útil conocer la forma en que una computadora interpreta los colores cuando hay que definir un modelo para un mapa coroplético. En una computadora, los colores se definen usando uno de varios modelos. Dos de los más usuales son el modelo de saturación del valor de la tonalidad (HVS) y el modelo rojo, verde y azul (RGB). El término tonalidad se refiere a lo que generalmente denominamos color, como “rojo” o “azul”. En términos físicos, la tonalidad se refiere al espectro de luz reflejada y varía de violeta, con escasa longitud de onda, hasta rojo, con la máxima longitud de onda en el espectro visible, pasando por azul, verde, amarillo y anaranjado. A veces, el valor se denomina luminosidad, es decir, la saturación de luminosidad de la tonalidad. Determina la diferencia, por ejemplo, entre un color rosa claro y uno rojo oscuro, ya que ambos tendrían la misma tonalidad. Por último, la saturación es una medida del brillo o intensidad. Un color con menos saturación será más pálido o grisáceo mientras que un color con un valor elevado de saturación parecerá más puro.

En el modelo RGB, los colores nuevos se definen por adición combinando diferentes niveles de rojo, verde o azul. Las pantallas de las computadoras o de los televisores utilizan este modelo. Si se combinan niveles iguales de los tres colores, se obtendrán matices de gris. Los niveles más bajos de rojo, verde y azul combinados producen el negro, y los más altos el blanco.

La elección del color depende del nivel de medición de una variable, el tipo de mapa utilizado y el mensaje que el cartógrafo quiere transmitir. Los seres humanos pueden diferenciar bien las tonalidades, lo que hace que éstas sean adecuadas para establecer la diferencia entre categorías discretas. Por ejemplo, se pueden contrastar círculos azules con círculos rojos para mostrar distintos tipos de escuelas. Cuando se eligen las tonalidades para diferenciar los símbolos de un ma-

pa, hay que tener en cuenta el daltonismo. Las personas daltónicas tal vez no puedan distinguir el rojo del verde —la forma más común de daltonismo— o el azul del amarillo. Algunas personas son incapaces de ver la parte verde del espectro. Por lo general, conviene no basarse en las diferencias entre el rojo y el verde cuando se compone un mapa.

Las variables que se miden continuamente, como la población, el ingreso o las relaciones y porcentajes se presentan por medio de variables gráficas con un ordenamiento bien definido. Las diferencias en los colores (por ejemplo de matices claros a oscuros de la misma tonalidad) se asocian fácilmente con las magnitudes de una variable, los tonos más oscuros se asocian generalmente con los valores más altos y por lo tanto, los niveles de densidad de población suelen representarse con tonos rojos, desde los muy claros para una densidad baja hasta los oscuros para las zonas con densidad elevada. En el caso de las distribuciones asimétricas, los valores de los colores no guardan una proporción directa con los valores de las categorías de datos. En el ejemplo de la sección anterior de la variable densidad de población, se usarían muchos tonos muy claros y apenas diferenciables para los numerosos valores bajos, y un color o un matiz muy oscuro para los pocos valores altos. En lugar de esto, se utilizan partes iguales de valores de color para representar las clases de una progresión geométrica o similar.

Si una clasificación contiene muchas categorías, podríamos terminar teniendo más de las que pueden distinguirse con claridad en una hoja impresa. En este caso, las tonalidades adyacentes pueden combinarse —una gama de colores denominada parcialmente espectral. Retomando el ejemplo de la densidad de población, podríamos empezar con matices amarillo claro, seguir por tonos anaranjados hasta llegar a los rojos oscuros. Lo importante es tener en cuenta que debe haber una progresión bien definida desde colores menos dominantes a más dominantes. Los mapas con varias tonalidades brillantes y dominantes para valores bajos y altos de una serie continua u ordinal de categorías no transmiten el mensaje con claridad y confunden al observador.

Una aplicación en la que resultan apropiadas las diferentes tonalidades para una serie de datos continuos es la escala divergente de datos. Por ejemplo, un mapa de la migración neta por unidad administrativa tendría categorías que van desde números negativos elevados para las grandes masas de emigración, pasando por cero y llegando hasta números positivos altos que reflejan las grandes masas de inmigración. Para resaltar los valores positivos y negativos altos —las zonas en que la migración afecta de manera más significativa a la dinámica de

la población— se puede usar un patrón de colores que vaya, por ejemplo, desde el rojo brillante al rojo claro o rosa, pasando por el blanco para las tasas netas de migración cercanas a cero, y desde azules claros hasta azules fuertes para la inmigración más elevada.

Cabe un último comentario sobre la cartografía de múltiples variables, en la que se muestran dos variables en combinación. Por ejemplo, un mapa podría mostrar una combinación de diferentes niveles de tasas de alfabetización y fecundidad usando una leyenda que esencialmente es una matriz de las combinaciones posibles de las categorías alfabetización y fecundidad. El cartógrafo tiene que encontrar un modelo de color adecuado donde, por ejemplo, se indiquen las diferencias de alfabetización con

tonalidades adyacentes en un diseño espectral parcial y se muestren las diferencias de fecundidad mediante variaciones del valor del color. Lamentablemente, estos mapas no son fáciles de interpretar porque hay que consultar la leyenda continuamente para establecer una correspondencia entre los colores y los valores de los datos de las dos variables. Por lo general, este tipo de mapa debe evitarse. En la sección F se presentan otros métodos que pueden usarse para presentar la información sobre múltiples variables.

Con respecto a los tipos de niveles de medición que se analizaron antes, en el cuadro A.V.2 se resumen las directrices para el uso de matices de gris y colores (véase también Brewer 1994).

Cuadro A.V.2. Elección de matices de gris y colores

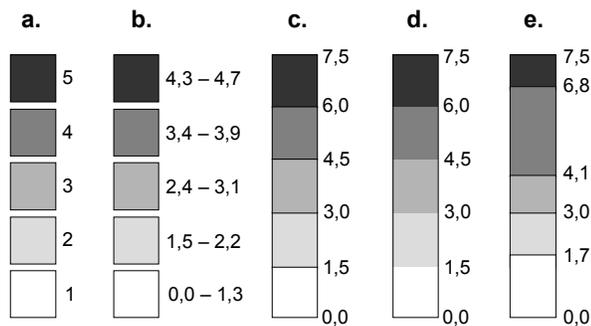
Niveles de medición		Ejemplo	Mapas en blanco y negro	Mapas de color
Nominal	binario	Acceso al agua potable (sí/no)	Negro y blanco, o gris claro y gris oscuro	Colores fuertes y contrastantes de diferentes tonalidades como azul y rojo o amarillo y verde
	relativo a las categorías	Idioma predominante (inglés, francés, español, etc.)	Variaciones de dibujos con similar predominio visual	Diferentes tonalidades con niveles similares de valor y saturación que no implican orden alguno, por ejemplo, azul, verde, amarillo, violeta
Ordinal		Nivel de instrucción (primario, secundario, etc.)	Matices de gris ordenados, con diferencias relativamente marcadas entre los niveles de gris. Las diferencias de textura subrayan aún mejor la naturaleza ordinal de los datos	La misma tonalidad o una gama de colores de espectro parcial, con diferencias relativamente grandes entre las categorías, por ejemplo, amarillo claro, anaranjado, rojo mediano, rojo oscuro
Discreto		Tamaño del hogar (1, 2, 3,...personas) — <i>pero no el tamaño medio del hogar</i>	Similar al caso de los datos ordinales, pero son aceptables diferencias menores entre los matices de gris	Similar a los datos ordinales pero son aceptables diferencias menores entre matices de gris
Continuo	secuencial	Tasa de alfabetización (cualquier valor entre 0 y 100 por ciento)	Gama continua de tonos de gris. El nivel de gris puede o no ser proporcional a los valores de los datos. Son aceptables diferencias sutiles pero distinguibles en los niveles de gris	Gama continua de color dentro de la misma tonalidad o dentro de una gama de colores de espectro parcial. Se aceptan diferencias sutiles en el valor del color
	divergente	Relación entre hombres y mujeres (menor que uno=más mujeres que hombres; mayor que uno=más hombres que mujeres)	Hay que usar diferencias de textura o de dibujos. Los tonos lisos por un lado y las diferentes texturas por el otro pueden producir un buen efecto	Neutro (blanco o gris) en el centro con una gama continua de dos tonalidades diferentes de cada lado. Por ejemplo, desde anaranjado claro a oscuro para los valores menores que uno y desde verde claro a oscuro para los valores mayores que uno

E. Diseño de la leyenda

El nivel de medición puede indicarse en el diseño de la leyenda, que sirve de referencia entre los valores de los datos o gamas de valores y los símbolos gráficos que se usaron. Los programas de cartografía y de SIG incluyen un diseño de leyenda que sirve bien para la mayoría de las aplicaciones. Pero si se quiere un diseño cartográfico más minucioso, es posible modificar el diseño por defecto en el módulo de presentación de los programas o utilizar programa gráfico distinto.

En el gráfico A.V.28 pueden verse algunos ejemplos. Para los datos sobre las categorías, los recuadros de las leyendas deben mantenerse separados (leyenda a). De manera similar, se pueden destacar de esta forma las clases que no son contiguas —por ejemplo, hay una separación entre el límite superior de una clase y el inferior de la próxima (leyenda b). Pero en general, hay que evitar el uso de este tipo de leyendas. Los recuadros contiguos de las leyendas destacan la índole continua de las variables, como relaciones o densidades (leyenda c). La continuidad de los valores de los datos se subraya aún más si el recuadro de cada categoría no tiene borde (leyenda d). Por último, en la leyenda e puede verse una clasificación de una variable continua con intervalos de clase irregulares.

Gráfico A.V.28. Diferentes tipos de leyendas para mapas sombreados

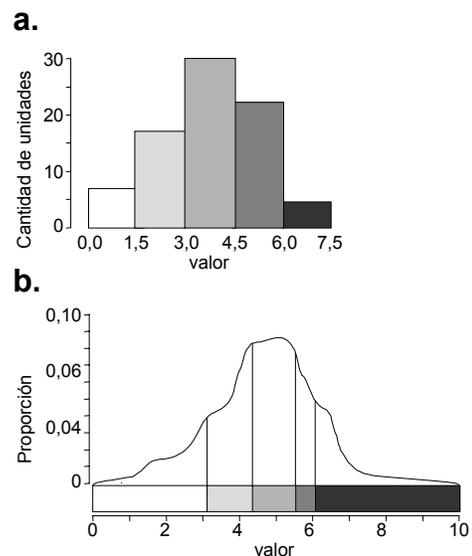


Las últimas tres leyendas del gráfico A.V.28 muestran puntos de corte antes que gamas de datos. Cuando se usan estas gamas para una distribución continua, surge el problema de mostrar un mismo valor para dos categorías: por ejemplo, 0-10, 10-20, 20-30. Se puede resolver este problema usando el símbolo menor que para asignar cada valor a una sola categoría: por ejemplo $0 < 10$, $10 < 20$, $20 < 30$. En el caso de las clases abiertas, se puede usar el símbolo mayor que o igual a: < 10 , $10 < 20$, > 20 .

También se puede integrar la leyenda con un cuadro estadístico que resuma la distribución de los datos de la

variable. Por lo general se usan histogramas, en los cuales los colores de las barras corresponden al color del sombreado (véase el gráfico A.V.29a). Si las gamas de las clases no son constantes, las barras pueden tener diferente ancho. Si el programa cartográfico con que se está trabajando no permite realizar histogramas, se puede diseñar en un programa de gráficos o importarlo desde un programa de cálculo o de estadística. Hay dos opciones para determinar la altura de las barras. La convencional es usar el número de unidades geográficas cuyos valores caen en cada categoría. Algunos programas informáticos de cartografía muestran este número en la leyenda. El problema es que las unidades, por ejemplo, los distritos, pueden tener una cantidad de población muy distinta. En lugar de este número, se podría determinar la altura de las barras del histograma usando el tamaño de la población subyacente. Para un mapa de la densidad de población, por ejemplo, éste será la cantidad de habitantes que hay en cada intervalo de densidad. Es evidente que la forma del histograma será muy diferente y hay que indicar claramente en el mapa o en el texto que lo acompaña qué procedimiento se usó.

Gráfico A.V.29. Leyendas que muestran la distribución de datos estadísticos



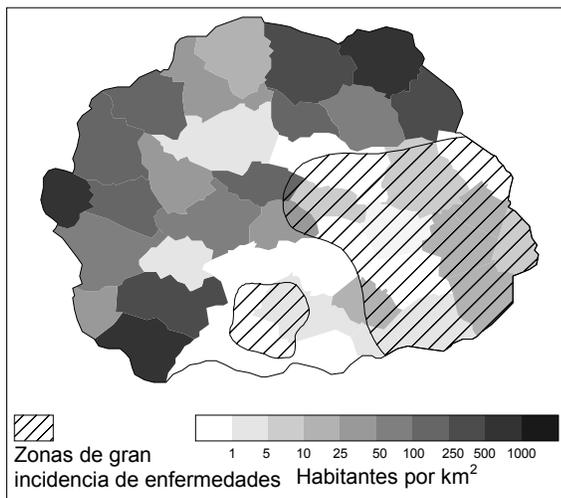
Los programas de estadística también permiten computar gráficos de la densidad que muestran la distribución de los datos de forma más continua que un histograma (véase el gráfico A.V.29b). La superficie bajo la curva de densidad suma uno, de manera tal que la frecuencia aproximada de cada valor puede leerse en el gráfico. Las leyendas de este tipo se han utilizado, por ejemplo, en el atlas mortalidad de los Estados Unidos (NCHS, 1997).

F. Mapas que cuentan historias

1. Mapas de múltiples variables

Con unas pocas excepciones, los ejemplos anteriores mostraron una sola variable por vez, que es el tipo más usual de presentación de los atlas censales. Pero en ocasiones se quiere presentar más de una variable por vez, con fines analíticos o para ilustrar las relaciones entre las variables. En la sección sobre elección del color, se observó que los mapas de múltiples variables que usan un modelo de color complejo para mostrar ambas variables en el mismo mapa pueden ser de difícil interpretación. Una solución, ya mencionada con anterioridad, consiste en usar un dibujo con un color de fondo transparente en un mapa coroplético coloreado. Esta solución es útil si la variable superpuesta tienen unas pocas clases o si es binaria (por ejemplo, presencia o ausencia) (véase el gráfico A.V.30).

Gráfico A.V.30. Combinaciones de símbolos de sombreado liso y rayado para presentar dos variables en el mismo mapa

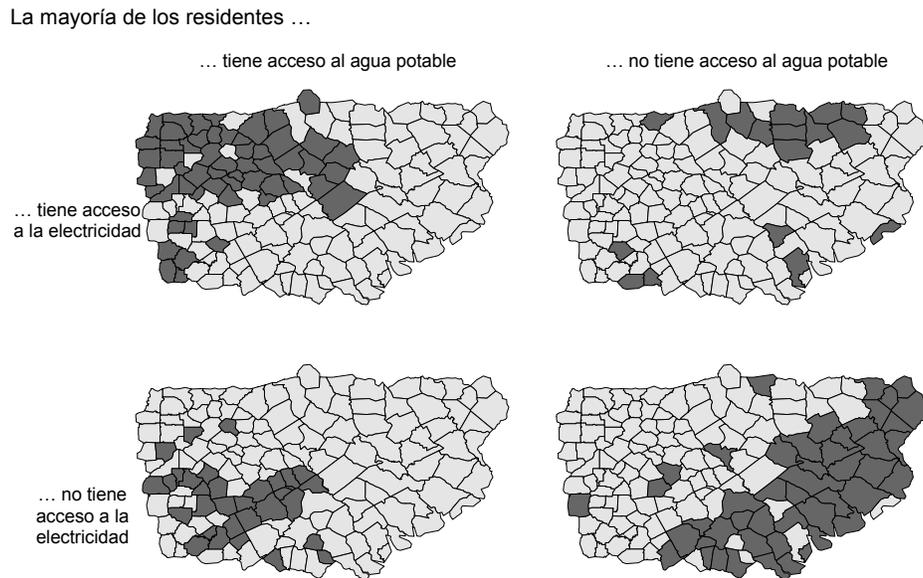


En el análisis de datos estadísticos, se analizan dos variables de categorías que adquieren solamente unos pocos valores por medio de tabulaciones cruzadas, que también se denominan tablas de contingencia. Las filas y columnas de una tabla de doble entrada muestran las categorías de las dos variables y las casillas muestran la cantidad de observaciones que tienen los valores correspondientes de cada variable. Esto permite que evaluar las relaciones con rapidez. Por ejemplo, se pueden haber convertido dos variables de un censo de vivienda —porcentaje de hogares con acceso al agua potable y porcentaje de hogares con acceso a la electricidad— a dos variables binarias que indican si la mayoría de los hogares del distrito tienen ac-

ceso a estos servicios públicos. La tabulación cruzada tendrá el siguiente aspecto:

La mayoría de los hogares...			
	... tiene acceso al agua potable	... no tiene acceso al agua potable	Total
... tiene acceso a la electricidad	55	17	72
... no tiene acceso a la electricidad	31	48	79
Total	86	65	151

Si se quiere presentar esta información geográficamente, se podría elaborar un mapa con cuatro clases: una para cada una de las casillas en la tabulación cruzada. Pero como ninguna de las cuatro clases tiene un ordenamiento natural, resultará difícil detectar modalidades en el mapa. Es mejor traducir el concepto de cuadro de doble entrada al lenguaje cartográfico directamente. En el gráfico A.V.31 puede verse un mapa equivalente a un cuadro de doble entrada. Cada mapa indica los distritos que corresponden a cada casilla de la tabla. Los mapas no requieren una leyenda extensa ya que el matiz oscuro destaca claramente los distritos que interesan.

Gráfico A.V.31. Mapa equivalente a un cuadro de doble entrada

Las tendencias son evidentes de inmediato, aun en un mapa pequeño que cubre solamente un tercio de la página. La mayor parte de los distritos en el noroeste tienen acceso al agua potable y a la electricidad, mientras que la mayoría de los hogares en los distritos del sudeste no tienen acceso a ninguno de los dos servicios. En las tabulaciones cruzadas, las casillas fuera de la diagonal son las más interesantes. En algunos distritos del nordeste, la mayoría de los hogares carece de acceso al agua potable pero sí tiene electricidad. En un grupo de distritos del sudoeste la situación es la contraria.

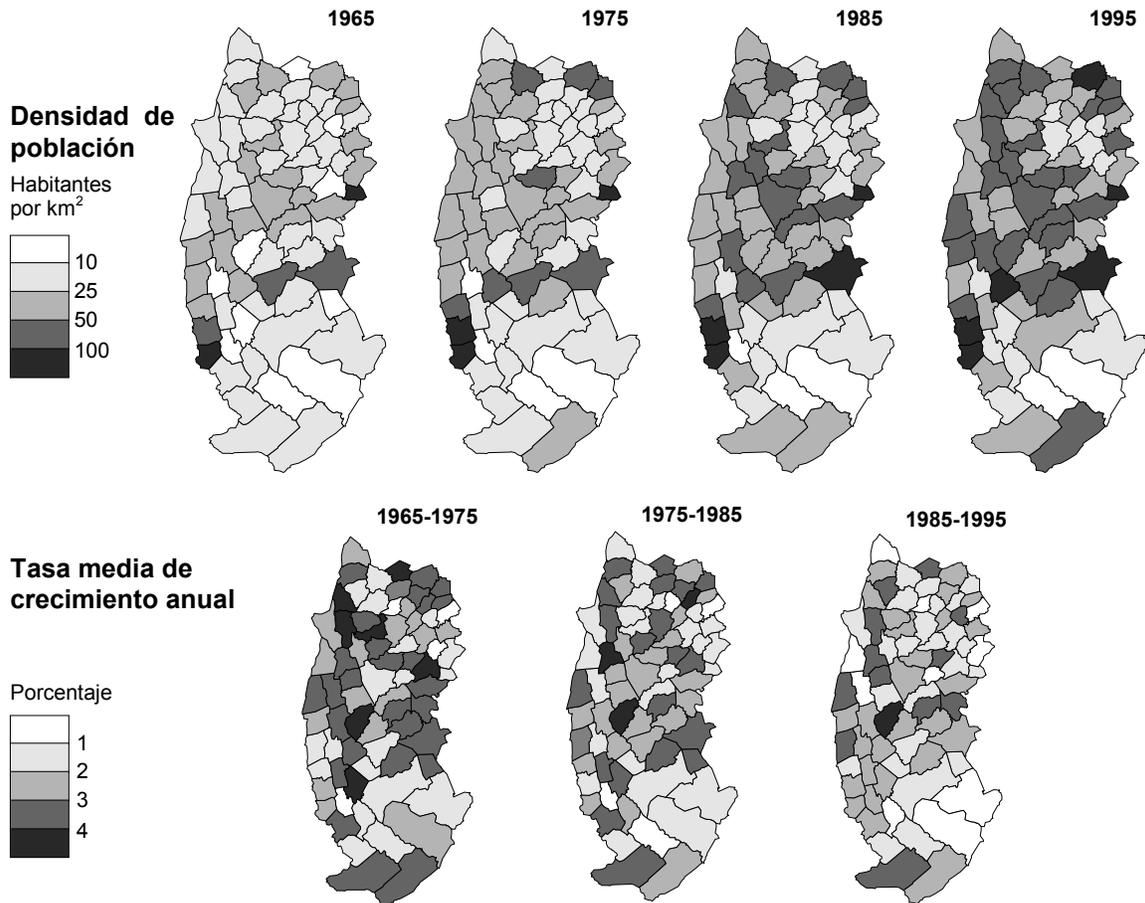
Este enfoque también puede aplicarse a tablas más complejas, por ejemplo donde una variable toma tres valores (bajo, mediano y alto) y la otra tiene dos categorías. Los mapas no tienen que ser grandes, incluso cuando hay muchas unidades geográficas —en este ejemplo hay 151 distritos— los mapas pequeños son suficientes ya que sólo se necesitan dos matices contrastantes de gris o color.

2. Múltiplos pequeños

La organización de los datos en varios mapas también puede ser una forma eficaz de presentar información dinámica. En el gráfico A.V.32 se muestra el crecimiento de la población en el tiempo sobre la base de datos de cuatro censos sucesivos. Los mapas de la densidad de población muestran dónde ha sido mayor este crecimiento. Si se quieren hacer comparaciones temporales, los límites de las clases deben ser los mismos en todos los mapas. Esto significa que los planes de clasificación basados en la distribución de los datos (por ejemplo los puntos de corte naturales) no son adecuados. Los mapas de densidad se complementan con tres mapas más pequeños que muestran las tasas medias de crecimiento anual de la población entre los censos.

Gráfico A.V.32. Múltiplos pequeños –representación de cambios en el tiempo

Dinámica de la población, 1965-1995



Estas presentaciones se denominan múltiples pequeños (Bertin, 1983 y Tufte, 1983). Se repite el mismo diseño de mapa para cada año o para cada subgrupo de población. Como el diseño es constante en todos los mapas, se pueden interpretar con bastante facilidad. Esto permite presentar una mayor densidad de información que la que sería posible de otro modo. Las relaciones entre múltiples variables muchas veces son más claras en los diseños que muestran varios mapas que en mapas compuestos con leyendas posiblemente más complicadas.

Otro ejemplo de un mapa que usa este concepto puede verse en el gráfico 4.8 de Naciones Unidas (1997a), que muestra la relación entre hombres y mujeres para grupos de edad de cinco años en 75 distritos de Nepal. El gráfico está compuesto 17 mapas pequeños, con una clasificación divergente centrada en una rela-

ción equilibrada entre hombres y mujeres. La versión en color de este mapa muestra el excedente de mujeres en varios tonos de rojo, y el de hombres en tonos de azul. La versión en blanco y negro usa tonos de gris liso para el excedente de mujeres y un dibujo de puntos de distinta densidad para el de hombres. Evidentemente, el color mejora la información que se muestra en estos mapas. A pesar de la gran cantidad de información, los mapas pueden interpretarse con bastante facilidad, ya que los grupos de valores similares son muy evidentes. Claramente, un cuadro de 1.275 (17 por 75) valores sería considerablemente más difícil de interpretar que la misma información presentada en forma geográfica. De hecho, el gráfico de Nepal muestra algunas tendencias claras que pueden atribuirse a la migración a lo largo del ciclo vital de los hombres en varios distritos.

Anexo VI

Glosario

Ajuste de bordes — técnica de edición manual o automatizada de SIG que hace corresponder las características compartidas que se digitalizaron a partir de mapas adyacentes. Puede ser necesario, por ejemplo, para conectar caminos o límites de unidades administrativas después de unir mapas que se digitalizaron por separado.

Alcance del mapa — las coordenadas, en unidades cartográficas, que definen el rectángulo que encierra todas las características de una determinada visualización de un mapa o base de datos de SIG, es decir, las coordenadas x e y máximas y mínimas en una base de datos digitales o en la parte de la base de datos que se muestra en la visualización de un mapa.

Análisis de redes — procedimientos para analizar las relaciones entre puntos o direcciones en un conjunto de líneas en una base de datos de SIG que pueden representar, por ejemplo, una red vial. Se utiliza para tomar decisiones sobre ubicación y rutas, como en caso del control de emergencias.

Análisis espacial — conjunto de técnicas utilizadas para obtener información útil a partir de datos con referencia geográfica. Incluye la integración de los conjuntos de datos geográficos, métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar los datos, la modelización, interpretación y predicción. En un SIG, el análisis espacial se refiere, por lo general, a los métodos de integración de datos, como la superposición de polígonos o los análisis de vecindarios. En un sentido más amplio, incluye, por ejemplo, modelos de procedimientos espaciales (como la dinámica migratoria) y las estadísticas espaciales (como los modelos de regresión que representan las disposiciones espaciales y las relaciones entre las observaciones).

Ancho de banda — cantidad o volumen de datos digitales que pueden transferirse por una conexión de comunicaciones.

Anotación — texto que se usa para dar nombre a las características en un mapa. Puede almacenarse en un SIG y llevarse a los mapas cuando se visualizan o imprimen. A diferencia del texto informativo que aparece en un cuadro de atributos, sólo se utiliza para la visualización cartográfica y no para el análisis, Arco — véase línea.

Archivo de atributos geográficos — un cuadro de la base de datos que se vincula estrechamente con los objetos espaciales almacenados en un archivo de co-

ordenadas de SIG. También denominado cuadro de atributos geográficos, contiene información específica sobre cada característica, como su identificador, nombre y superficie. En algunos sistemas, el archivo también se llama cuadro de atributos de puntos, líneas o polígonos. Se pueden vincular los datos almacenados en cuadros externos a través de una operación con una base de datos relacional.

Archivo de intercambio de gráficos (GIF) — formato de archivo de imágenes gráficas desarrollado inicialmente para transmitir imágenes vía boletines electrónicos. Este formato, que permite comprimir eficazmente el tamaño de los archivos, se utiliza para la mayoría de los gráficos en las páginas de la Web.

Archivo de referencia geográfica — archivo maestro digital y tabular donde se listan los nombres, códigos geográficos y posiblemente los atributos de todas las entidades geográficas que se aplican a la reunión de datos para censos y encuestas.

Área amplia de trabajo (WAN) — red informática que conecta computadoras remotas por medio de vínculos o satélites de comunicaciones de alta velocidad.

Atributo — particularidades de una característica geográfica. Por ejemplo, un campo numérico o textual almacenado en un cuadro de una base de datos relacional que puede vincularse a los objetos geográficos en un SIG. Los atributos de una zona de empadronamiento, por ejemplo, podrían ser el identificador único, la superficie en kilómetros cuadrados, la población total y la cantidad de hogares. A veces se distingue entre atributos geográficos y atributos generales. Los primeros se almacenan en un cuadro de datos estrechamente vinculado con los archivos de las coordenadas geográficas y contienen campos como los identificadores internos, códigos de características, y superficie. Los atributos generales se almacenan generalmente en cuadros separados que pueden vincularse con el cuadro de atributos geográficos.

Banda — capa de una imagen multiespectral obtenida mediante teleobservación que muestra las señales medidas en un intervalo definido del espectro electromagnético. Véase también imagen multiespectral.

Base de datos — colección lógica de información que está interrelacionada y que se gestiona y almacena como una unidad, por ejemplo en el mismo archivo informático. Las expresiones base de datos y conjunto de datos se utilizan con frecuencia como sinóni-

mos. Una base de datos de SIG contiene información sobre la ubicación de las características del mundo real y sobre sus particularidades.

Base de datos geográficos — conjunto lógico de datos sobre características que se refieren a ubicaciones en la superficie terrestre.

Binario — compuesto de dos o referido a dos, como en la expresión variables binarias (por ejemplo sí/no). También es una forma de codificación informática basada en unidades de información denominadas bits que pueden tener dos valores, uno o cero.

Bit — dígito binario que puede adquirir un valor de uno o cero.

Bits por segundo — medida de la velocidad de transferencia en las redes de comunicación digital.

Byte — grupo de ocho dígitos binarios o bits que los programas informáticos pueden procesar como una unidad. Un kilobyte tiene mil bytes, un megabyte un millón de bytes y un gigabyte mil millones.

Cadena — véase línea.

Campo — columna en un cuadro de base de datos.

Canal — parte del sistema electrónico de un receptor GPS que capta la señal del satélite. Los receptores de multicanal pueden captar y procesar señales de varios satélites al mismo tiempo.

Capa — conjunto de datos de SIG que contienen características relativas al mismo tema, como los caminos o las casas. El término capa se refiere a la capacidad que tiene un SIG de superponer y combinar capas de diferentes temas que están referenciadas en el mismo sistema de coordenadas. También se denomina cobertura.

Capa temática — véase capa.

Captación de datos — conversión de datos de coordenadas geográficas a partir de fuentes impresas o por medio de mediciones en el terreno a un formato que pueda leer una computadora. Generalmente implica la digitalización o el escaneo de mapas de papel o fotografías aéreas.

Característica — objeto geográfico que se muestra en un mapa o se almacena en una base de datos de SIG. Pueden ser objetos del mundo real naturales o contruidos por el hombre (un río, o un asentamiento), o pueden ser conceptuales o definidas (como los límites administrativos).

Características geográficas discretas — entidades individuales que pueden distinguirse fácilmente, como las casas o los caminos, a diferencia de los fenómenos geográficos continuos.

Carta de navegación — mapa diseñado fundamentalmente para la navegación por aire o por agua, por ejemplo, cartas náuticas o aeronáuticas.

Cartografía — arte y ciencia de la creación de una representación bidimensional de alguna parte de la superficie terrestre. Las características representadas pueden ser los objetos reales (mapas topográficos), o pueden ser conceptos y características más abstractas (mapas temáticos).

Cartografía automatizada/Gestión de servicios — aplicaciones de SIG en el sector de obras y servicios públicos que se centran en cuestiones relativas a aspectos técnicos y de mantenimiento.

Cartograma — mapa que se construye ordenando las unidades informantes según el valor de una variable registrada para cada una de estas. También se denomina cartografía de valor-por-zona.

Centro de información — en el contexto de las infraestructuras de datos espaciales del país, es el lugar donde se acumulan y desde donde se divulgan datos y metadatos de los SIG.

Centroide — centro matemático de un polígono. En el caso de los polígonos irregulares, se puede pensar en el centroide como en el “centro de gravedad”.

Círculo máximo — círculo formado por la intersección de un plano a través del centro de la esfera terrestre. Por ejemplo, todos los meridianos y el ecuador son círculos máximos. Sobre el globo terráqueo, el camino más corto entre dos puntos se encuentra sobre el círculo máximo que pasa por ambos.

Clasificación — asignación de objetos a grupos que tienen características iguales o similares. En cartografía, es el procedimiento por el cual se asignan símbolos a las características de un mapa que son similares o que tienen valores semejantes. Se utiliza para simplificar un mapa, a fin comunicar el mensaje con más claridad.

Clave externa — en los sistemas de gestión de bases de datos relacionales, campo o elemento de un cuadro que contiene un valor que identifica las filas de otro cuadro. Se utiliza cuando se unen dos cuadros, definiendo la relación entre dos elementos de una base de datos relacionales. Es la clave principal del otro cuadro.

Clave primaria — uno o más campos en un cuadro de atributos que identifica de forma exclusiva una instancia, fila o registro específico.

Cliente — computadora que usa datos o programas almacenados en otra computadora (servidor), muchas veces, ubicada a gran distancia.

- Cobertura** — en un SIG, a veces se refiere a un conjunto de datos en forma de vectores que contienen características geográficas sobre un único tema, como las unidades censales o los caminos.
- Codificación comprimida** — técnica para compresión de datos de cuadrículas, grillas o imágenes. En lugar de almacenar un valor igual en casillas adyacentes, el sistema almacena el valor y la cantidad de veces que se repite. Cuando se almacenan objetos discretos en un SIG en cuadrícula, la compresión será considerable.
- Código** — caracteres alfanuméricos utilizados para identificar objetos geográficos. También se emplean para identificar categorías de atributos como las gamas de densidad de población, las clases de uso de la tierra o las industrias. Véase también código geográfico.
- Código Estándar Norteamericano para Intercambio de Información (ASCII)** — código informático elaborado con el propósito de facilitar el intercambio de datos alfanuméricos y caracteres especiales entre computadoras y sistemas operativos. Se asigna un código de bytes a cada carácter, esto es, un valor entre 0 y 255.
- Código geográfico** — identificador alfanumérico único que se asigna a una unidad jurídica, administrativa, estadística o informante.
- Coincidencia geográfica** — cuando dos o más características geográficas comparten la ubicación o los límites. Por ejemplo, algunas unidades informantes o estadísticas también pueden ser unidades administrativas.
- Columna** — En un SIG, grupo de casillas o pixels en una base de datos en forma de grilla o cuadrícula que están alineadas verticalmente. En los sistemas de gestión de bases de datos, un campo o elemento en un cuadro de atributos.
- Comparación de direcciones** — el procedimiento por el cual se compara la información general sobre los atributos con las ubicaciones geográficas en una red vial, utilizando la dirección. Por ejemplo, es posible comparar un registro tabular de direcciones con un mapa digital detallado de las calles para producir una capa de datos puntuales de SIG que muestre la ubicación de cada hogar. Este procedimiento también se denomina a veces geocodificación.
- Compilación de mapas** — procedimiento por el cual se reúnen, evalúan e interpretan las mediciones y materiales cartográficos a fin de producir un nuevo mapa.
- Composición de mapas** — disposición de los elementos de un mapa para crear un producto cartográfico que sea atractivo visualmente y represente correctamente los fenómenos.
- Conectividad** — en un SIG topológico, cuando dos o más líneas se unen en un único punto o nodo.
- Conjuntos de datos** — colección lógica de valores o de objetos de una base de datos que se refieren a un mismo tema.
- Contigüidad** — cuando dos o más características geográficas son adyacentes o aledañas.
- Control** — véase control geodésico.
- Control de calidad** — medidas y procedimientos adoptados cuando se elabora una base de datos o un sistema de producción cartográfica que aseguran que los datos o productos resultantes cumplen con las normas especificadas de exactitud y utilidad.
- Control geodésico** — red de marcadores de control o de referencias que se han medido con precisión y exactitud y que se utilizan como base para obtener nuevas mediciones de la ubicación. También se denominan puntos de referencia.
- Conversión de datos** — transferencia de datos de un formato a otro. Por lo general, se refiere a la transformación de la información en un mapa de papel al formato digital. En sentido más amplio, la conversión de datos geográficos también incluye la transferencia de información digital desde un formato de archivo de SIG a otro.
- Coordenada** — dos o tres números que describen la posición de un punto en dos o tres dimensiones (por ejemplo, x/y o $x/y/z$, donde z indica la altura). Una coordenada bidimensional se denomina a veces par de coordenadas, una coordenada tridimensional, un trío. En las bases de datos de los SIG, las coordenadas representan las ubicaciones correspondientes en la superficie terrestre en relación con otros lugares.
- Cuadrángulo** — zona rectangular que está limitada por pares de meridianos y paralelos.
- Cuadrícula** — modelo de datos geográficos que representa la información como un arreglo regular de filas y columnas, similar a una grilla o imagen. Las casillas de una cuadrícula son generalmente, aunque no siempre, cuadradas. Las características poligonales o lineales se representan como grupos de casillas adyacentes con el mismo valor.
- Cuadro** — en los sistemas de gestión de bases de datos, conjunto de datos organizados en filas (registros o instancias) y columnas (campos o elementos). La cantidad de columnas queda fijada, generalmente, cuando se define la estructura del cuadro mientras que la cantidad de filas es flexible.

- Cuantil** — clasificación estadística o cartográfica que asigna una misma cantidad de objetos a una cantidad fija de clases. Los sistemas de cuatro clases se denominan cuartiles, de cinco clases quintiles y de diez clases percentiles. Por ejemplo, el primero de los cuatro cuartiles de una distribución de datos contendría un 25 por ciento de las observaciones con los valores más bajos.
- Curva de nivel** — línea que conecta puntos de igual altura en un mapa. Véase también *isolinéa*.
- Datos básicos** — véase *datos marco*.
- Datos de campo** — información obtenida durante un reconocimiento del terreno para verificar o calibrar la información que se obtuvo de datos de la teleobservación.
- Datos en forma de vector** — modelo de datos de SIG en los cuales la ubicación y la forma de los objetos se representan con puntos, líneas y polígonos que principalmente se componen de coordenadas *x* e *y*.
- Datos espaciales** — información sobre la ubicación, dimensión y forma de las características geográficas, así como sobre sus relaciones. En un SIG, los datos espaciales se clasifican técnicamente como puntos, líneas, superficies y cuadrículas.
- Datos marco** — en el contexto de las actividades nacionales de SIG, conjunto de temas o datos geográficos básicos para fines generales, como los límites administrativos, la altura o la infraestructura de transporte. El objetivo de las iniciativas de infraestructura de datos marco o espaciales nacionales es coordinar el desarrollo y la normalización de los conjuntos de datos marco de SIG en un país.
- Dátum** — en cartografía, conjunto de parámetros que definen un sistema de coordenadas. Más específicamente, es la referencia o base de las mediciones o cálculos. Por ejemplo, un dátum cartográfico nacional establece el marco de referencia para las actividades cartográficas de un país.
- Diccionario de datos** — catálogo de datos que describe los contenidos de una base de datos. Se lista información sobre cada campo de los cuadros de atributos, y sobre el formato, definiciones y estructuras de estos cuadros. Un diccionario de datos en un componente esencial de la información sobre metadatos.
- Digitalización** — procedimiento por el cual se transforma la información sobre las características geográficas de los mapas de papel a coordenadas digitales. Habitualmente, se refiere al procedimiento manual de trazado de líneas en un mapa en papel adjuntado a un digitalizador con un cursor tipo ratón que capta las coordenadas y las almacena en una base de datos de SIG.
- Digitalización manual** — técnica de digitalización que no emplea un digitalizador. En cambio, se identifican las características con el ratón en la pantalla a partir de una imagen escaneada o de características dibujadas en un medio transparente, (por ejemplo, mylar) que se adjunta a la pantalla.
- Digitalizador** — dispositivo periférico utilizado para captar los datos de las coordenadas de los mapas de papel u otro material cartográfico similar.
- Dirección** — Número o designación similar asignado a una unidad de vivienda, empresa o cualquier otra estructura. Las direcciones sirven para los envíos postales, pero también son importantes en términos administrativos, por ejemplo para los sistemas de registro civil y para los censos.
- Diseño asistido por ordenador/ diseño y dibujo asistidos por ordenador (CAD/CADD)** — sistema de programas informáticos que proporciona las herramientas para el dibujo y el diseño, específicamente en aplicaciones de ingeniería y arquitectura. Los CAD utilizan un sistema de coordenadas gráficas y por lo tanto se asemejan a los sistemas de información geográfica.
- Disolución** — función de SIG que borra los límites entre polígonos adyacentes con el mismo valor para un atributo específico. Por ejemplo, los polígonos de las zonas de empadronamiento pueden disolverse conforme al código de sus unidades supervisoras para crear mapas de estas unidades.
- Disponibilidad selectiva** — degradación de la exactitud de las señales de un satélite del GPS introducida adrede por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Se prevé eliminarla paulatinamente en el curso de los próximos años.
- Ecuador** — en cartografía, el paralelo de referencia, es decir, latitud 0° norte y sur.
- Elementos de mapas** — componentes de un mapa temático o topográfico como el título, la leyenda, la escala, la flecha hacia el norte, la cuadrícula, los límites y las líneas nítidas.
- Elipsoide** — en cartografía, forma tridimensional utilizada para representar la tierra. El elipsoide terrestre se caracteriza porque hay menos distancia desde el centro hasta los polos (eje semimenor) que desde el centro al ecuador (eje semimayor). También se denomina *esferoide*.
- Entidad** — fenómeno del mundo real de un tipo dado. En los sistemas de gestión de bases de datos, el con-

junto de objetos (por ejemplo, personas o lugares) que tienen los mismos atributos. Se definen durante el diseño conceptual de la base de datos.

Escala — en cartografía, la relación entre la distancia en un mapa y la correspondiente en la superficie terrestre. Se enuncia como una relación, por ejemplo 1:100.000, que significa que un centímetro en el mapa equivale a 100.000 centímetros en la superficie terrestre. Como es una relación, un mapa de pequeña escala muestra una superficie relativamente grande mientras que un mapa de gran escala muestra una superficie pequeña. En términos más generales, la escala se refiere al nivel de observación o investigación, que puede variar desde fenómenos de microescala hasta fenómenos de macroescala.

Escaneo — técnica de captación de datos que obtiene la información en los documentos impresos (en papel o mylar) y los convierte en una imagen digital por medio de un dispositivo óptico sensible a la luz. Para los datos cartográficos, el escaneo puede usarse como opción al ingreso de datos por medio de la digitalización. Después de escanear un mapa, los datos se convierten al formato vectorial con ayuda de un programa de conversión cuadrícula-vector o el trazado de puntos y líneas en la pantalla.

Esfera — cuerpo en forma de globo similar a una pelota. En su aproximación más simple, la tierra es una esfera, pero en realidad se representa en forma más exacta como un esferoide (véase elipsoide).

Estación de base — receptor del GPS cuya ubicación se ha determinado con precisión y exactitud, y que emite y/o recibe información diferencial acerca de los receptores móviles del sistema. Véase también GPS diferencial.

Estructura de datos — aplicación de un modelo de datos que consiste en estructuras de archivos utilizadas para representar diferentes características.

Exactitud — Ausencia de errores. Grado en que una medición o representación concuerda con los valores verdaderos del mundo real. La determinación de los requisitos y la elaboración de una norma de exactitud figuran entre las primeras etapas de un proyecto de SIG. La exactitud no debe confundirse con la precisión, que se refiere a la capacidad de distinguir entre cantidades pequeñas en una medición. Por ejemplo, la ubicación de un punto puede medirse con precisión (digamos, con cinco dígitos decimales significativos) pero sin exactitud (digamos, a varios metros de su verdadera posición en el mundo real).

Exactitud lógica — expresión utilizada para referirse al grado en que se representan correctamente las rela-

ciones entre las características geográficas en un mapa o en una base de datos de SIG (por ejemplo, adyacente a, conectado con). Una base de datos de SIG puede ser lógicamente exacta, aun si su exactitud en cuanto a las ubicaciones es limitada.

Exactitud posicional — expresión utilizada para referirse a grado de corrección con que se registran las posiciones en un mapa o en una base de datos de SIG con respecto a su ubicación real en la superficie de la tierra. Por el contrario, la exactitud lógica se refiere solamente a la representación correcta de las relaciones entre características geográficas.

Fenómenos geográficos continuos — variables geográficas que se modifican sin discontinuidades o interrupciones distinguibles, por ejemplo, la temperatura o la presión atmosférica, a diferencia de los fenómenos geográficos discretos.

Fila — en un SIG, grupo de casillas o pixels de una base de datos en forma de grilla o cuadrícula que están alineadas horizontalmente. En los sistemas de gestión de bases de datos, un registro o instancia de un cuadro de atributos.

Formato de archivos de imagen y marcado (TIFF) — formato estándar de imagen o archivo en cuadrícula que puede almacenar imágenes en blanco y negro, en escala de grises o de color, comprimidas o no. Los escáneres y otros dispositivos que crean imágenes muchas veces proporcionan sus productos como TIFF. En un SIG, geo-TIFF se define como un archivo de imagen TIFF estándar que describe una imagen obtenida mediante la teleobservación, una ortofotografía digital o un conjunto de datos en cuadrícula. Incluye un archivo asociado con una extensión .tfw que contiene información sobre la referencia geográfica de la imagen, el tamaño de la casilla en unidades del mundo real y más información pertinente.

Formato de datos — por lo general se refiere a un conjunto específico, posiblemente registrado, de estructuras de datos dentro de un sistema de programas informáticos.

Formato de intercambio de dibujos (DXF) — formato de ASCII para describir un gráfico o dibujo desarrollado por Autodesk, Inc. (Sausalito, California). Se desarrolló inicialmente para las aplicaciones de CAD, aunque se ha convertido en la norma para el intercambio de datos de SIG.

Formato de un producto en vectores (VPF) — formato de SIG en vectores desarrollado por el National Map and Imagery Agency de los Estados Unidos (antes Defense Mapping Agency) con la intención de

que se convierta en un formato universal de intercambio de datos en forma de vectores.

Fotografía aérea — técnicas para tomar fotografías desde una plataforma aérea, por lo general una aeronave que vuela a poca altura. También suele denominarse fotografía vertical u ortofotografía. Las fotos aéreas se usan para la cartografía fotogramétrica porque permiten un alto grado de exactitud.

Fotogrametría — arte y ciencia de extraer mediciones y otro tipo de información a partir de las fotografías. En el contexto de la cartografía, los procedimientos para reunir información sobre características del mundo real a partir de fotografías aéreas o imágenes satelitales.

Generalización — véase generalización cartográfica.

Generalización cartográfica — procedimiento de abstracción de las características del mundo real mediante la reducción de los detalles para representarlas. Implica selección, clasificación, simplificación y simbolización.

Geocodificación — a) función de SIG que determina una ubicación puntual sobre la base de una dirección. Véase también comparación de direcciones; b) procedimiento por el cual se asignan códigos geográficos a las características en una base de datos digital.

Goespacial — término que a veces se utiliza para describir información de índole geográfica o espacial.

Geometría de coordenadas — expresión utilizada por los topógrafos para referirse a las mediciones precisas de las ubicaciones.

Georreferenciamiento — procedimiento por el cual se determina la relación entre las coordenadas en papel y las del mundo real. Es necesario realizar este procedimiento después de la digitalización, por ejemplo, para convertir las coordenadas en papel medidas en unidades de digitalización (centímetros o pulgadas) al sistema de coordenadas del mundo real que se empleó para dibujar el mapa fuente. Véase también transformación.

Geo-TIFF — véase formato de archivo de imagen rotulada.

Grilla — modelo de datos geográficos que representa la información como un arreglo de casillas cuadradas uniformes. Cada casilla tiene un valor numérico que se refiere al valor real del fenómeno geográfico en ese lugar (por ejemplo, la densidad de población o la temperatura), o indica una clase o categoría (por ejemplo el identificador de la zona de empadronamiento o el tipo de suelo). Véase también cuadrícula.

Hidrografía — características relativas a las aguas superficiales, como los lagos, ríos y canales.

Hipsografía — características relativas al relieve o la altura del terreno.

Imagen — representación de una parte de la superficie terrestre. Pero una imagen en general se produce con un dispositivo de observación óptico o electrónico. Por ejemplo, las fotografías aéreas escaneadas o los datos obtenidos mediante la teleobservación suelen denominarse imágenes. En términos del almacenamiento y el procesamiento de datos, una imagen es muy similar a una cuadrícula o grilla.

Imagen multispectral — conjunto de datos obtenidos mediante la teleobservación que consiste en varias bandas o capas, esencialmente imágenes separadas de la misma zona tomadas al mismo tiempo, cada una de las cuales muestra la señal de un intervalo distinto del espectro electromagnético.

Imagen pancromática — imagen obtenida mediante la teleobservación que registra la señal en un intervalo amplio del espectro electromagnético, similar a las fotografías en blanco y negro.

Imagen satelital — conjunto de datos digitales que se ha registrado desde un satélite en órbita terrestre, ya sea fotográficamente o por medio de un escáner en el satélite. En un SIG, esta imagen es similar a un conjunto de datos en forma de cuadrícula.

Índice espacial — cuadro o estructura dentro de una base de datos geográficos utilizada por un SIG o un sistema de gestión de bases de datos para acelerar las consultas, operaciones analíticas y visualización de las características espaciales.

Información catastral — registros que describen los derechos e intereses pasados, presentes y futuros en materia de propiedad de la tierra con fines impositivos y jurídicos. Los mapas catastrales muestran la ubicación geográfica y el tamaño de las parcelas de tierra. En muchos países se utilizan ahora los programas de los SIG para almacenar la información de los estudios catastrales. También se denomina información sobre la adjudicación de títulos de propiedad de la tierra.

Infraestructura — sistema de obras públicas de un país, estado o región, que incluye los caminos, las líneas de transmisión y los edificios públicos.

Infraestructura de los datos espaciales — véase datos marco.

Integración — en un SIG, el procedimiento por el cual se compila un conjunto que consta de datos espaciales a partir de fuentes heterogéneas. La integración vertical se refiere a la capacidad que tiene un SIG pa-

ra combinar diferentes capas de datos que están referenciados en el mismo sistema de coordenadas.

Integración vertical — véase integración.

Interacción espacial — interdependencia entre las entidades geográficas. Con frecuencia se refiere al flujo de bienes, servicios, información o personas entre ubicaciones geográficas. El análisis de la interacción espacial es importante en el estudio de la migración humana.

Internet — sistema mundial de redes informáticas vinculadas que permite la prestación de servicios de comunicación de datos, como conexión remota, transferencia de archivos, correo electrónico, boletines y grupos de noticias. Es el fundamento de la Web (WWW).

Interpolación — procedimiento por el cual se estima el valor de una variable en una ubicación sobre la base de valores medidos en ubicaciones aledañas. Se utiliza para producir un conjunto completo de datos en forma de grilla a partir de información puntual de muestra, como por ejemplo una superficie de precipitación a partir de las estaciones pluviométricas.

Interpolación de zonas — transferencia de un atributo desde un conjunto de zonas informantes a otro conjunto incompatible; por ejemplo, la estimación de los totales de población en las regiones ecológicas sobre la base de un conjunto de datos de SIG de la población por distrito.

Intersección — función de SIG que se emplea para integrar o combinar topológicamente dos capas de datos espaciales de modo que solo se conserven las características ubicadas en la zona que es común a las dos.

Isolínea — líneas sobre un mapa denominado isorrítmico que conectan puntos de valor constante. El ejemplo más conocido es la isohipsa, que muestra líneas de igual altura (también denominado un mapa de curvas de nivel).

Java — lenguaje de programación que permite crear programas ejecutables en múltiples plataformas (es decir, sistemas operativos). Los programas de Java, denominados applets, pueden enviarse o recibirse a través de Internet y ejecutarse en una computadora remota.

Jerarquía geográfica — en el contexto de la cartografía censal, por lo general se refiere a un sistema de zonas insertadas que se diseñó con fines administrativos o de reunión de datos. Por ejemplo, un país se divide en provincias, que se dividen en distritos, y así sucesivamente hasta el nivel más bajo, que puede ser

la zona de empadronamiento. Véase también geografía censal.

Joint Photographic Experts Group (JPEG) — formato de archivos gráficos utilizado, sobre todo, para imágenes fotográficas; permite comprimir considerablemente el tamaño del archivo.

Latitud — la “coordenada y” de un sistema de coordenadas polares en una esfera. Se mide como la distancia angular en grados al norte o sur del ecuador. También se denomina paralelo.

Lenguaje estructurado para consultas (SQL) — en los sistemas de gestión de bases de datos relacionales, sintaxis estándar que se utiliza para definir, manipular y extraer los datos.

Leyenda — en cartografía, la información que explica los símbolos que se usan para las características y variables representadas en el mapa. Incluye la lista de símbolos requerida para interpretar el mapa, por ejemplo, los colores y los intervalos de valores correspondientes de un mapa de densidad de población.

Límite — línea que define la extensión de una unidad de superficie o los lugares donde se encuentran dos zonas. En un SIG, los límites se representan como líneas, que pueden definir un lado de un polígono. Pueden ser visibles o invisibles en tierra, es decir, pueden seguir ciertas características del mundo real como caminos o ríos, o pueden estar definidos solamente mediante coordenadas geográficas.

Línea — objeto unidimensional. Tipo de dato geográfico que consiste en una serie de coordenadas x, y, donde la primera y la última se denominan nodos y las intermedias se denominan vértices. También se conoce como arco o cadena. La parte de una línea entre dos intersecciones con otra línea se denomina un segmento de línea o de arco.

Línea en polígono — operación de SIG donde se combinan características de líneas con las de polígonos para determinar qué líneas caen en qué polígonos. Con esta operación, los atributos de los polígonos pueden agregarse a cada registro correspondiente en el cuadro de atributos de las líneas (por ejemplo, el distrito en que cae una calle), o los atributos en forma de línea pueden resumirse para cada polígono correspondiente (por ejemplo, la longitud total de un camino en un distrito).

Línea incompleta — en digitalización, línea que no se ha extendido hasta el punto donde debería conectarse con otra línea.

Longitud — la “coordenada x” de un sistema de coordenadas polares en una esfera; se mide como la dis-

tancia angular en grados al este u oeste del meridiano de Greenwich.

Mapa — representación de alguna parte de la superficie terrestre dibujada sobre una superficie plana, como en papel o en la pantalla de una computadora.

Mapa básico — mapa que muestra las características geográficas fundamentales que pueden usarse como referencia de la ubicación de una característica, como por ejemplo, los caminos, los límites administrativos y los asentamientos. Se utiliza para compilar nuevos datos geográficos o para referencia cuando se visualiza la información de un mapa temático.

Mapa boceto — mapa (muchas veces dibujado a mano) que muestra las características principales de una zona dada, pero que puede no ser demasiado exacto en cuanto a posición y, por este motivo, tal vez no represente correctamente las distancias y dimensiones de los objetos. Sin embargo, puede tener un alto grado de exactitud lógica, en el sentido de que representa correctamente las relaciones entre los objetos. También se denomina mapa esquemático o mapa “cartoon”.

Mapa coroplético — mapa estadístico donde los valores registrados de las unidades informantes se asignan primero a una cantidad discreta de gamas de clases o categorías. Luego, las unidades se somborean con símbolos (colores o dibujos) elegidos para cada categoría.

Mapa de corrientes — mapa donde se muestran movimientos, por ejemplo de bienes o de personas, sobre un curso lineal.

Mapa de puntos — mapa donde las cantidades o densidades se representan por medio de puntos. En general, cada punto representa una cantidad definida de objetos discretos como personas o ganado. Los puntos pueden ubicarse al azar en las unidades informantes o de modo de reflejar la verdadera distribución subyacente de la variable.

Mapa de referencia — en el contexto de la cartografía censal, producto cartográfico (en papel o digital) que muestra alguna porción del marco geográfico del censo, por ejemplo, las unidades de reunión de datos o de divulgación estadística.

Mapa esquemático — véase mapa boceto.

Mapa planimétrico — mapa que, a diferencia del topográfico, solamente muestra las ubicaciones de las características, pero no su altura. Puede mostrar las mismas características que un mapa topográfico, con excepción de las curvas de nivel o altura, pero por lo general solamente mostrará características seleccionadas para fines específicos.

Mapa temático — mapa que presenta un concepto, materia o tópico específico. Puede mostrar información cuantitativa o cualitativa.

Mapa topográfico — mapa que contiene principalmente características del mundo real, como curvas de nivel, ríos, caminos, asentamientos e hitos. Los mapas estándar que producen los organismos nacionales de cartografía normalmente son topográficos.

Marco geográfico de un censo — las unidades geográficas informantes y de reunión de datos que usa una oficina de censos en las tareas de empadronamiento y tabulación de datos. Incluye la estructura jerárquica del censo y las unidades administrativas, sus designaciones y códigos y las relaciones entre las diferentes unidades.

Material fuente — datos e información de cualquier tipo que se utilizan para compilar un mapa o una base de datos de SIG. Pueden incluir observaciones en el terreno, fotografías terrestres o aéreas, imágenes satelitales, bocetos, mapas temáticos, topográficos, hidrográficos, hipsográficos, mapas boceto y dibujos, información tabular y notas escritas que se relacionan con las características geográficas naturales y las construida por el hombre.

Mercator Transversa Universal (UTM) — proyección cartográfica cilíndrica que se utiliza con frecuencia en los mapas de gran escala (es decir, locales).

Meridiano — línea de referencia que se define por su correspondiente longitud, como el meridiano de Greenwich.

Meridiano central — longitud que define el origen de la coordenada x de una proyección cartográfica.

Meridiano de Greenwich — longitud de referencia, es decir 0° este u oeste, que pasa por la ciudad inglesa de Greenwich, en las afueras de Londres.

Metadatos — datos sobre los datos. Información que describe el contenido, la calidad, la condición, el formato, el linaje y cualquier otra característica pertinente de un conjunto de datos.

Metarchivo informático de gráficos (CGM) — formato estándar de archivo para intercambiar imágenes o datos de vectores.

Modelo de colores — procedimiento para representar colores en forma numérica en una computadora. Por ejemplo, en el modelo RGB, los colores se representan como niveles numéricos de rojo, verde y azul. El rojo puro se define como 255,0,0. Otros ejemplos de modelos de color son la saturación de luminosidad de los matices y el modelo azul oscuro, solferino y amarillo (CMY).

Modelo de datos — diseño conceptual que tiene un usuario de un conjunto de datos que describe las entidades de la base de datos y las relaciones entre ellas.

Modelo digital de la altura (DEM) — representación digital de información sobre la altura de una parte de la superficie terrestre. Generalmente, es un conjunto de datos en forma de cuadrícula, donde los valores de la altura se almacenan en casillas de una grilla pequeña, pero también pueden usarse formatos vectoriales. A veces se denomina modelo digital del terreno (DTM).

Modelo digital del terreno (DTM) — véase modelo digital de la altura.

Modelo entidad-relaciones — modelo de datos que define las entidades y las relaciones entre ellas, por ejemplo, entre las zonas de empadronamiento y las regiones de supervisión.

Modificación irregular — procedimiento por el cual la forma y ubicación de los objetos de una base de datos de SIG se modifican de manera no uniforme. Se utiliza con frecuencia para pasar una base de datos de un sistema de coordenadas desconocido a otro conocido. Los ajustes se definen especificando una gran cantidad de vínculos desde las ubicaciones del conjunto de datos original hasta los puntos correctos de control o de referencia correspondientes en el sistema de coordenadas resultante.

Multitrayectoria — error introducido en las lecturas del GPS como resultado de la reflexión y la dispersión de las señales en estructuras vecinas como las casas o los árboles. Es un problema que se presenta principalmente en los reconocimientos de alta precisión.

Nadir — en fotografía aérea y teleobservación, punto sobre la superficie terrestre ubicado directamente debajo de una cámara o un sensor.

Nodo — punto inicial o final de una línea, o punto en el que se conectan dos o más líneas.

Nomenclátor — lista de nombres de lugares y sus ubicaciones geográficas (generalmente latitud/longitud).

Norma de transferencia de datos espaciales (SDTS) — norma de datos y metadatos que sirve para el intercambio de conjuntos de datos de SIG entre los productores y usuarios, y entre los sistemas informáticos y los formatos de archivo. Se han aplicado, o se han propuesto, muchas normas nacionales e internacionales.

Normalización — procedimiento conceptual en el diseño de una base de datos que elimina la redundancia estableciendo dependencias y relaciones entre las en-

tidades. Reduce los requisitos de almacenamiento y evita la falta de consistencia en la base de datos.

Normalización de datos — procedimiento por el cual se convienen las definiciones comunes de los datos, los formatos, las representaciones y las estructuras de todas las capas de datos y sus elementos.

Normas — en computación, conjunto de reglas o especificaciones establecidas por alguna autoridad que definen, por ejemplo, los requisitos de exactitud, los formatos de intercambio de datos, los equipos o programas informáticos.

Objeto geográfico — característica o fenómeno geográfico definido por el usuario que se puede representar en una base de datos geográficos, como por ejemplo las calles, las parcelas, los pozos y los lagos.

Ortofotografía — véase ortofotografía digital.

Ortofotografía digital — imagen digital o fotografía aérea, generalmente de muy alta resolución, que se ha corregido geoméricamente. También se la denomina ortoimagen, y combina el detalle de una fotografía aérea con la exactitud geométrica de un mapa topográfico.

Paralelo estándar — latitud que define el origen de la coordenada y en una proyección cartográfica.

Parcela — unidad catastral o de propiedad.

Píxel — elemento gráfico, similar a una casilla en una imagen o en un mapa en forma de cuadrícula.

Placa — en un SIG, término que a veces se utiliza para referirse a los mapas digitales adyacentes que se almacenan en archivos separados. Pueden tener una forma regular (por ejemplo cuadrada o rectangular) o límites irregulares, como los de un distrito o una provincia. Cuando se almacenan todas las placas en el mismo sistema de referencia geográfica, se pueden unir las placas adyacentes temporal o permanentemente.

Plantilla — en cartografía, diseño normalizado de elementos periféricos del mapa (bordes, líneas, flechas hacia el norte), que puede utilizarse para una serie de mapas normalizados. En los sistemas de gestión de bases de datos, un cuadro vacío para fines múltiples, para el cual solo se definieron los campos o elementos.

Polígono — objeto bidimensional. Zona que se representa como una serie secuencial de coordenadas x/y en un SIG en forma de vectores. Las coordenadas definen las líneas que encuadran la zona, es decir, la primera y última coordenada de un polígono son idénticas.

- Postscript** — lenguaje flexible de alta resolución que se usa principalmente para enviar información gráfica como mapas producidos por un SIG a las impresoras. El formato postscript encapsulado (EPS) incluye una pequeña presentación en mapas de bits de los gráficos para su vista preliminar.
- Precisión** — capacidad de distinguir pequeñas diferencias en las mediciones. En un SIG, la precisión de las coordenadas está determinada por el tipo de datos utilizados para almacenar las coordenadas x e y (por lo general doble precisión, o 16 bytes por cada número).
- Protocolo** — conjunto de convenciones que determinan el tratamiento, el intercambio y el formato de los datos en un sistema electrónico de comunicaciones; es similar a una norma para los datos, pero se aplica a los procedimientos.
- Protocolo de Control de Transmisión (TCP)** — uno de los protocolos en que se basa Internet.
- Protocolo de Internet (IP)** — el conjunto más importante de códigos y convenciones que permiten la transferencia de datos digitales por Internet.
- Protocolo de transferencia de archivos (FTP)** — conjunto estándar de convenciones para intercambiar archivos de datos en los sistemas de comunicación digital como Internet.
- Proyección cartográfica** — procedimiento matemático para convertir las ubicaciones en la superficie terrestre a un sistema de coordenadas planas. Según la fórmula matemática que se utilice, las proyecciones tendrán diferentes propiedades. Algunas mantienen la forma de la región en la esfera terrestre, otras su superficie, distancias o ángulos relativos.
- Proyección conforme** — proyección cartográfica donde todos los ángulos se conservan correctamente en cada punto.
- Proyección de área equivalente** — proyección cartográfica donde todas las regiones están en proporción directa a las zonas del mundo real.
- Proyección equidistante** — proyección cartográfica que mantiene la escala sobre una o más líneas, o desde uno o dos puntos a todos los demás puntos del mapa.
- Punto** — objeto de dimensión cero. Coordenada x, y, que se usa en una base de datos geográficos digital para representar características que son demasiado pequeñas para mostrarse como líneas o polígonos. Por ejemplo, los hogares, pozos o edificios se representan a menudo por medio de puntos.
- Punto de control** — en un mapa, en una fotografía aérea o en una base de datos digital, punto del que se conocen las coordenadas x, y, y posiblemente también la altura. Se usa para registrar geográficamente las características del mapa.
- Punto en polígono** — operación de SIG en la cual los puntos se combinan con los polígonos para determinar qué puntos están dentro de cada polígono. Con esta operación, se pueden agregar atributos de los polígonos a cada registro correspondiente en el cuadro de atributos del punto (por ejemplo, información sobre una zona de servicios de salud para un punto de muestra de una encuesta), o se pueden resumir los atributos de los puntos para cada polígono correspondiente (por ejemplo, la cantidad de hospitales en cada distrito).
- Radio** — distancia desde el centro de un círculo hasta su borde externo.
- Rebase** — en digitalización, línea que se ha extendido más allá del punto donde debería conectarse con otra línea. El segmento resultante a veces se denomina libre.
- Reconocimiento aéreo** — reconocimiento cartográfico por medio de la fotografía aérea u otra forma de tecnología de teleobservación.
- Rectificación** — procedimiento por el cual una imagen o grilla se convierte de coordenadas de imagen a coordenadas del mundo real. Generalmente implica la rotación y el establecimiento de una escala para las casillas de la grilla y por ello es necesario tomar nuevamente o interpolar los valores. Es similar a la transformación de los datos en forma de vectores.
- Red de área local (LAN)** — red informática que conecta computadoras que no se encuentran demasiado lejos, por ejemplo, dentro del mismo edificio de oficinas.
- Registro** — procedimiento por el cual se equiparan las características de dos mapas o capas de datos de SIG de modo tal que coincidan los objetos correspondientes. Se basa en una serie de puntos de control en el terreno y se relaciona con la transformación y la modificación irregular.
- Resolución** — medida del detalle más pequeño que se puede distinguir en un mapa o en una base de datos digital. Determina la exactitud con la que se puede representar un lugar o una forma en un mapa a la escala dada. En los SIG en cuadrícula y en el caso de los datos en imágenes, el término resolución se utiliza a veces para referirse al tamaño de la casilla o del píxel.
- Réticula** — en cartografía, la grilla de longitudes y latitudes que se dibuja sobre un mapa.
- Satélite geostacionario** — satélite terrestre que permanece en una posición fija sobre un punto de la su-

perficie terrestre. También se denomina de órbita geosincrónica.

Segmento de control — red mundial de estaciones de seguimiento y control del GPS, que aseguran la exactitud de las señales satelitales.

Segmento del usuario — porción del GPS que incluye todos los tipos de receptores de señales de este sistema.

Segmento espacial — parte del sistema mundial de determinación de posición que se encuentra en el espacio, es decir, los 24 satélites del GPS.

Segundo de arco — un segundo de latitud o longitud, o 1/3.600 de grado.

Separación de los colores — procedimiento por el cual se divide un documento gráfico en páginas o archivos independientes para cada uno de los cuatro colores (azul oscuro, solferino, amarillo y negro). Es la base de casi todos los procedimientos profesionales de impresión.

Servidor — computadora instalada para proporcionar determinados servicios a otras computadoras (clientes), por ejemplo, un servidor de Web es un depósito central de datos, programas o contenidos para la World Wide Web.

Símbolos — en cartografía, los elementos de diseño utilizados para representar las características cartográficas. Son puntos, líneas y polígonos de una determinada forma. La simbolización supone la elección de variables gráficas como forma, tamaño, color, dibujo y textura.

Símbolos graduados — en cartografía temática, la utilización de símbolos (como los círculos o los cuadrados) para representar la magnitud de una variable en un punto o en una unidad informante. El tamaño del símbolo es proporcional al valor de la variable.

Sistema de coordenadas — sistema de referencia que se utiliza para especificar la posición en un mapa o en una base de datos de un SIG. Un sistema de coordenadas cartográficas se define por una proyección, un elipsoide de referencia, un meridiano central, uno o más paralelos estándar y los posibles desplazamientos de los valores de las coordenadas x e y.

Sistema de coordenadas cartesianas — sistema de líneas que se intersecan en ángulos rectos en el espacio bidimensional. El sistema proporciona el marco para referenciar ubicaciones con precisión como coordenadas x/y.

Sistema de coordenadas planas — sistema para determinar la ubicación en el cual dos grupos de líneas rectas se intersecan perpendicularmente y tienen co-

mo punto de origen una de estas intersecciones; véase sistema de coordenadas cartesianas.

Sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS) — sistema de gestión de bases de datos que permite la unión temporaria o permanente de cuadros de datos sobre la base de un campo común (una clave primaria y externa). Cada fila, registro o instancia de la base de datos tiene un conjunto fijo de atributos o campos. Cada cuadro tiene una clave primaria que identifica cada registro de manera única. El cuadro también puede tener una clave externa, que es idéntica a una primaria de un cuadro externo. La unión relacional se logra equiparando los valores de la clave externa con los valores correspondientes de la clave primaria del cuadro externo.

Sistema de Gestión de las Bases de Datos (DBMS) — programa de computación diseñado para administrar y manipular datos tabulares. Se utiliza para el ingreso, almacenamiento, manipulación, recuperación y consulta de datos. La mayor parte de los SIG usan un sistema de gestión relacional para manejar los datos de los atributos.

Sistema de información geográfica (SIG) — conjunto de equipos y programas informáticos, datos geográficos y personal reunidos para captar, almacenar, recuperar, actualizar, manipular, analizar y presentar información con referencias geográficas

Sistema de reconocimiento topográfico (LIS) — expresión que a veces se utiliza para una aplicación de SIG que contiene información sobre una región específica, incluida información catastral, uso de la tierra, la cobertura terrestre, etc.

Sistema mundial de determinación de la posición diferencial (GPS diferencial) — conjunto de técnicas utilizadas para mejorar la exactitud de las coordenadas captadas por un GPS por medio del cálculo de la señal de error (desviación) de un segundo receptor de GPS (la estación base) en un lugar que se ha determinado con precisión y exactitud. El factor de corrección se aplica a las coordenadas captadas por la unidad móvil, en tiempo real o bien en el modo de procesamiento posterior (es decir, usando una base de datos de información de corrección referenciada por tiempo). En algunas partes del mundo, se emite la información de corrección diferencial continuamente desde un conjunto de estaciones de base permanentes.

Sistema Mundial de Determinación de Posición (GPS) — sistema de 24 satélites en órbita terrestre que emiten señales que pueden usarse para determinar la posición geográfica exacta sobre la superficie terrestre. Se usa mucho en cartografía, reconocimien-

to y navegación y lo mantiene el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Véase también GPS diferencial y GLONASS.

Sistema mundial de navegación orbital por satélite (GLONASS) — contraparte del GPS de los Estados Unidos, operado por el Ministerio de Defensa de la Federación de Rusia. Es muy similar al estadounidense, pero no está disponible selectivamente. Algunos receptores combinan las señales de ambos sistemas para mejorar la exactitud de las coordenadas.

Sistema topológicamente integrado de referencias y codificación geográfica (TIGER) — formato de datos desarrollado por la Oficina de Censos de los Estados Unidos para respaldar programas de censos y encuestas. Los archivos TIGER son conjuntos de datos de SIG en formato interno que contienen conjuntos de direcciones siguiendo las líneas de las redes viales y sectores censales y los límites de las áreas censales. El sistema TIGER fue uno de los primeros intentos por crear una base digital de datos censales de SIG para un país.

Superficie — término que se emplea con frecuencia para describir datos de SIG en cuadrícula o de imagen que describen un fenómeno continuo y que varía gradualmente, como la altura o la temperatura. Incluso la densidad de población se representa a veces como una superficie cuadrículada.

Superposición — combinación de dos capas de datos que se encuentran en el mismo sistema de referencia geográfica. Puede realizarse para visualizar los mapas o, si se lo hace físicamente, para crear un nuevo conjunto de datos de SIG (por ejemplo, superposición de polígonos, punto en polígono, o línea en polígono).

Superposición de polígonos — operación de SIG mediante la cual dos capas de datos en forma de polígono se combinan para crear una nueva capa, que contiene las zonas de intersección de ambas capas. El cuadro de atributos de la nueva capa de datos incluye los atributos de los dos conjuntos de datos originales. La superposición es una de las operaciones fundamentales de los SIG, que se utiliza con frecuencia para integrar información proveniente de fuentes heterogéneas, como datos demográficos y datos ambientales.

Teleobservación — procedimiento por el cual se adquiere información sobre un objeto desde una cierta distancia, es decir, sin contacto físico con él. Generalmente implica la adquisición de imágenes por medio de sensores satelitales o fotografías aéreas.

Tema — En un SIG, conjunto de objetos geográficos que generalmente pertenecen al mismo género (por

ejemplo, los caminos o los asentamientos) y que se almacenan en la misma base de datos.

Tipo de datos — característica de campo de las columnas en un cuadro de atributos, por ejemplo, carácter, coma flotante y entero.

Topología — En un SIG, término que se refiere a las relaciones espaciales entre características geográficas (por ejemplo, puntos, líneas, nodos, y polígonos). Una base de datos estructurada en forma topológica no sólo almacena cada característica individual, sino que también almacena la forma en que las características se relacionan con otras de igual o diferente clase. Por ejemplo, además de un conjunto de líneas que representan una red de calles, el sistema almacenará los nodos que definen las intersecciones de las calles, lo que permite que el sistema determine las rutas a lo largo de varios segmentos de calle. O bien, un SIG estructurado en forma topológica almacenaría una línea por vez, junto con información sobre los polígonos que se encuentran a la izquierda y a la derecha de la línea, en lugar de almacenar los polígonos como figuras cerradas, caso en el cual se almacenarían dos veces los límites entre polígonos adyacentes. Esto evita la redundancia y facilita la aplicación de muchas de las funciones de SIG y de análisis espacial.

Transformación — conversión de datos espaciales digitales de un sistema de coordenadas a otro a través de la traslación, rotación y determinación de una escala. Se utiliza para convertir datos digitalizados de mapas digitales en unidades de digitalización (por ejemplo, centímetros o pulgadas) a las unidades del mundo real correspondientes a la proyección cartográfica y el sistema de coordenadas del mapa fuente (por ejemplo, metros o pies). Véase también georreferenciación.

Trazador — unidad periférica de una computadora que puede dibujar un archivo gráfico, similar a una impresora, pero generalmente utilizada para productos de formato más grande.

Unidad administrativa — una zona geográfica que cumple funciones administrativas y de gobierno. Generalmente se definen y establecen por medio de disposiciones jurídicas.

Unidad cartográfica mínima — por lo general, el tamaño de la característica más pequeña que se incluirá en un mapa. Dada una escala, también es el tamaño o dimensión en la que un polígono pequeño y compacto se representa como un punto, o un polígono largo y angosto como una línea. Por ejemplo, una ciudad se muestra como un polígono si en la hoja su tamaño es mayor que 3 mm pero como un punto si es más pequeña.

Unidad de superficie — sector, natural o artificial, que generalmente se utiliza para compilar y notificar datos agregados, por ejemplo, las zonas de las cubiertas terrestres o las de empadronamiento.

Unidad gubernamental — véase unidad administrativa.

Unidades cartográficas — las unidades de medición en que se guardan las coordenadas en una base de SIG; por ejemplo, centímetros y metros o grados, minutos y segundos.

Unión — en los sistemas de gestión de bases de datos, procedimiento por el cual se asignan valores de un cuadro de base de datos a otro cuadro, vinculando una clave externa con su instancia principal en el cuadro externo.

Vértice — una de una serie de coordenadas x, y que define una línea. El primero y el último normalmente se denominan nodos.

World Wide Web (WWW) — originalmente desarrollada por el Laboratorio Europeo de Física de las Partículas (CERN) en Suiza como sistema para distribuir documentos electrónicos que se componen o apuntan a diferentes archivos de varios formatos que están ubicados en distintas partes del mundo. Los documentos se crean en el lenguaje HTML, que puede ser interpretado por los buscadores Web en una computa-

dora personal. Las ubicaciones de estos documentos HTML se definen por medio de vínculos o direcciones denominados Universal Resource Locators (URL). La WWW ha crecido rápidamente y se está volviendo un canal importante para distribuir documentos y datos. Los programas especializados de SIG permiten que los diferentes organismos ofrezcan mapas en la WWW. Por ejemplo, un usuario remoto puede diseñar y visualizar un mapa temático utilizando bases de datos de SIG ubicadas en el servidor de la Web de un organismo.

Zona — extensión bidimensional y limitada de la superficie terrestre que se representa como un polígono en un SIG.

Zona de empadronamiento — por lo general, la unidad geográfica más pequeña para la cual se agrega, compila y divulga información censal. Se define por medio de límites descritos en un mapa dibujado o una base de datos de un SIG. Estos límites pueden visibles o invisibles en el terreno. También se denomina bloque o sector censal.

Zona tampón — zona o superficie que cubre una distancia especificada alrededor de una característica geográfica (puntos, líneas o polígonos). Las operaciones relativas a las zonas tampón constituyen una de las capacidades fundamentales de los SIG.

Pueden encontrarse otros glosarios y diccionarios en Padmanabhan y otros (1992), ASCE (1994), Mc Donnel y Kemp (1995) y Dent (1999). Algunos de los recursos en línea son los siguientes:

Canada Centre for Remote Sensing

www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/glosndxe.html

Geographer's Craft Project (Universidad de Texas)

www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/gloss/glossary.html

GPS World Magazine

www.gpsworld.com/resources/glossary.htm

Biblioteca Perry-Castañeda (Universidad de Texas)

www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map_collection/glossary/glossary.html

Oficina de Censos de los Estados Unidos

www.census.gov/dmd/www/glossary.html

Encuesta Geológica de los Estados Unidos

edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/glossary/index

Anexo VII

Direcciones y URL útiles

Programas informáticos de SIG

Autodesk Inc.	San Rafael, California, CA	AutoCAD	www.autodesk.com
Bentley Systems Inc.	Huntsville, AL	MicroStation	www.bentley.com
ESRI, Inc.	Redlands, CA	ArcInfo, ArcView, ArcExplorer, Atlas GIS	www.esri.com
Intergraph	Huntsville, AL	GeoMedia	www.intergraph.com
MapInfo Corp.	Troy, NY	MapInfo GIS	
Microsoft Corp.	Redmond, WA	MapPoint	www.microsoft.com
Oracle Corp.	Redwood Shores, CA	Oracle Spatial	www.oracle.com
Proyecto de programas informáticos de la División de Estadística de las Naciones Unidas	Neva York, NY	PopMap	www.un.org/Depts/unsd/softproj/index.htm
Siemens	Munich, Alemania	SICAD Spatial Desktop	www.siemens.com
Smallworld Systems Inc.	Englewood, CO		
PCI Geomatics Group	Richmond Hill, Ontario, Canadá	SPANS y PAMAP	www.pci.on.ca
ThinkSpace Inc.	London, Ontario, Canadá	MFWorks	www.thinkspace.com
Vision* Solutions	Ottawa, Ontario, Canadá	Vision*	

Programas informáticos especializados

Blue Marble Geographics	Gardiner, ME	Instrumentos coordenados de desarrollo de gestión y de SIG	www.blumarblegeo.com
Caliper Corp.	Newton MA	Maptitude, GIS+, TransCAD	www.caliper.com
Core Software Technology	Pasadena, CA	TerraSoar (bases de datos geoespaciales distribuidas), ImageNet (distribución de datos geoespaciales en línea)	www.coresw.com

Sistemas de procesamiento de imágenes obtenidas mediante teleobservación

ERDAS Inc.	Atlanta, GA	ERDAS Imagine	www.erdas.com
Earth Resource Mapping	San Diego, CA	ER Mapper	www.ermapper.com
Clark Labs	Worcester, MA	Idrisi GIS	www.clarklabs.org
MicroImages Inc.	Lincoln, NE	TNTmips	www.microimages.com
PCI Geomatics Group	Richmond Hill, Ontario, Canadá	EASI/PACE, OrthoEngine	www.pci.on.ca
Research Systems Inc	Boulder, CO	ENVI programa de visualización	www.rsinc.com

Imágenes satelitales y ortofotografías digitales de alta resolución

Space Imaging	Thornton, CO	Satélites Carterra e Ikonos	www.spaceimaging.com
Earthwatch Inc	Longmont, CO	Satélites QuickBird y EarlyBird	www.digitalglobe.com
Orbital Imaging Corp.	Dulles, VA	Satélites Orbimage	www.orbimage.com
EROS Data Center	Sioux Falls, SD		
Spot Image		Satélites Spot	www.spot.com
Maps Geosystems	Munich, Alemania	Reconocimientos aéreos (África, Oriente Medio)	www.maps-geosystems.com
EarthSat	Rockville, MD	Servicios satelitales y cartográficos	www.earthsat.com

Sistemas mundiales de determinación de posición

Magellan Corp.	Santa Clara, CA		www.magellangps.com
Ashtech	Santa Clara, CA		www.ashtech.com
NovAtel Inc.	Calgary, Alberta, Canadá		www.novatel.ca
Sokkia Corp.	Overland Park, KA		www.sokkia.com
Trimble Navigation Ltd.	Sunnyvale, CA		www.trimble.com

Boletines

GeoWorld, GeoAsia, GeoEurope, GeoInformation Africa, Mapping Awareness, Business Geographics	GeoWorld, Fort Collins, CO		www.geoplance.com
GPS World			www.gpsworld.com
International Journal of Geographical Information Science	Taylor & Francis, Londres, Reino Unido		
GeoInfosystems	Advanstar Pub., Eugene, OR		
Journal of the Urban and Regional Information Systems Association	URISA, Park Ridge, IL		http://www.urisa.org/

Miscellaneous

National Center for Geographic Information and Analysis	Santa Barbara, CA	Centro de investigación de SIG	www.ncgia.ucsb.edu
International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC)	Enschede, Países Bajos	Cursos de capacitación de SIG	http://www.itc.nl/

European Umbrella Organization for Geographic Information (EUROGI)	Países Bajos	www.eurogi.org
U.S. Federal Geographic Data Committee	Reston, VA	www.fgdc.gov
Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia & the Pacific		www.permcom.apgis. gov.au/
Odyssey		Publicaciones de SIG
ESRI GIS jump station		Vínculos con aplicaciones de SIG alrededor del mundo
GeoWorld business links		