

REPRESENTACIONES CARTOGRAFICAS DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL
DE LA POBLACION: UNA EJEMPLIFICACION

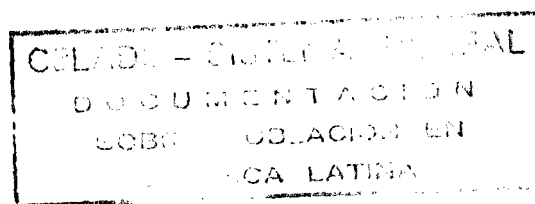
Miguel VILLA

I. Una representación cartográfica es un medio para expresar una distribución numérica dentro de un contexto espacial. Cada elemento de la distribución posee, de esta manera, dos propiedades: su valor específico y su localización (como punto, línea o área). Ambas propiedades, tomadas conjuntamente, producen un patrón de variación areal que constituye una distribución espacial. Tres técnicas comunes de mapas cuantitativos (puntos, coropletas e isopletas) se ejemplifican usando los datos sobre población total y densidad (en cursiva) para zonas de la región que aparece en el Mapa 1.

Mapa 2. Ejemplo de mapa de población por puntos. Para su construcción se decidió usar un punto por cada 500 personas. Esta es una solución convencional ante el hecho que la población de las zonas varía entre 33 y 5.545 personas y que el universo (de 44 zonas) tiene 104.925 habitantes. De este modo se tienen 210 puntos ($210 \times 500 = 105.000$) y no 3.500 que sería el total correspondiente si cada punto representase a 30 personas ($3.500 \times 30 = 105.000$). Si bien con una equivalencia de 30 habitantes se consigue que a cada zona corresponda un punto por lo menos, la zona más poblada tendría que recibir 185 puntos y constituiría una gran nube difícilmente interpretable.

Después de decidido el valor de referencia se calcula el número de puntos requeridos por cada zona; como no siempre los habitantes de las distintas zonas son múltiplos exactos del valor de referencia, se hace necesario "redistribuir" algunos habitantes entre las zonas mediante ajustes sucesivos (asignaciones por iteración). Para minimizar la arbitrariedad de la "redistribución" es conveniente que las transferencias se realicen entre zonas próximas entre sí. La localización de los puntos debiera aproximarse tanto como sea posible a la localización de las personas representadas.

El mapa resultante ilustra dos problemas. Primero, aunque los puntos representan cantidades suficientemente grandes como para distinguirse dentro del conjunto, ellos no coalescen en las áreas de mayor densidad poblacional; para conseguir este efecto sería necesario usar puntos con valores de referencia más pequeños (200 ó 250 personas). Segundo, el espaciamiento regular de los puntos crea una falsa imagen de uniformidad, pero ésta no es una deficiencia de la técnica usada, sino que el problema se deriva de falta de información más desagregada acerca de la localización efectiva de la población. Cuando se desconoce la distribución de la población dentro de las zonas (ejemplo: divisiones político-administrativas), entonces puede ser conveniente utilizar otras técnicas cartográficas.



Mapa 3. La información sobre densidad de población de las zonas se representa mediante coropletas. El principio de esta técnica es simple: se trata de usar tramas (o colores) que identifiquen el patrón de variación espacial entre áreas. Para eliminar el efecto del tamaño del área sobre las cantidades involucradas, cada total se expresa como una razón respecto del área (puede conseguirse el mismo propósito cuando se indican valores que son absolutamente independientes de la superficie del área).

Las zonas se agrupan formando clases o categorías de la variable que se representa. El número de clases debe ser reducido (en lo posible no superior a ocho) para permitir su clara diferenciación visual y los límites de clase deben elegirse cuidadosamente para reflejar fielmente el carácter de los datos y conseguir una máxima variación entre clases. Debe tratarse de asegurar que el mapa ilustre claramente los principales contrastes espaciales por lo que, en ocasiones, resulta conveniente usar intervalos de clase irregulares (proporcionando mayor flexibilidad en la elección de los límites de clase). Para abordar este problema puede construirse un gráfico acumulativo por áreas en que, usando los datos básicos (Mapa 1), la superficie acumulada se dispone a lo largo de la abscisa y la densidad se ubica en la ordenada; la inspección del gráfico 1 revelará quiebres de pendiente o cortes significativos en la distribución de los valores que sirven para determinar el número de clases y sus límites.

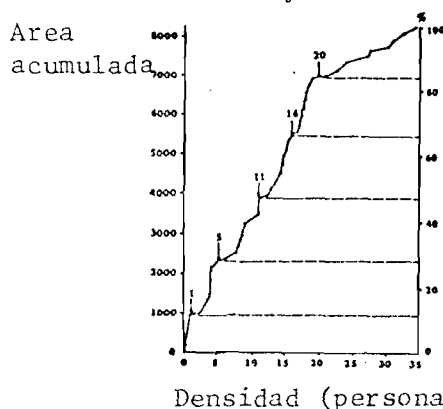


Gráfico 1: Gráfico de área acumulada para datos sobre población (Mapa 3)

En el caso del ejemplo, los principales quiebres corresponden a las densidades 5, 16 y 20 (personas por acre) por lo que habría bastado con cuatro clases, pero el uso de seis provee mayor detalle y reconoce otros dos quiebres menores (1 y 11). Debe tenerse presente, además, que ninguna clase particular ocupe una gran proporción del área total y se convierta en un patrón dominante. La elección de un esquema de tramas (o colores) para representar los valores es también importante; se aconseja usar tonos más oscuros para las intensidades más altas y más claros para los valores inferiores.

· Dos limitaciones afectan a los mapas de coropletas. La primera es que se supone la inexistencia de variaciones dentro de las fronteras de las unidades espaciales, supuesto inevitable pues, para obviar las distorsiones que pudiera originar la superficie sobre los valores de la variable, se representan valores medios para cada una de ellas. La segunda alude a la imagen abrupta

de los cambios en la distribución que se presentan a lo largo de las fronteras entre áreas que pertenecen a clases diferentes. A raíz de estas deficiencias de la técnica de coropletas, la atención debe concentrarse en la impresión global y no en las características detalladas; desde esta perspectiva, el mapa 3 proporciona un cuadro razonablemente preciso de la distribución de densidades que aparece en el mapa 1 (números en cursiva).

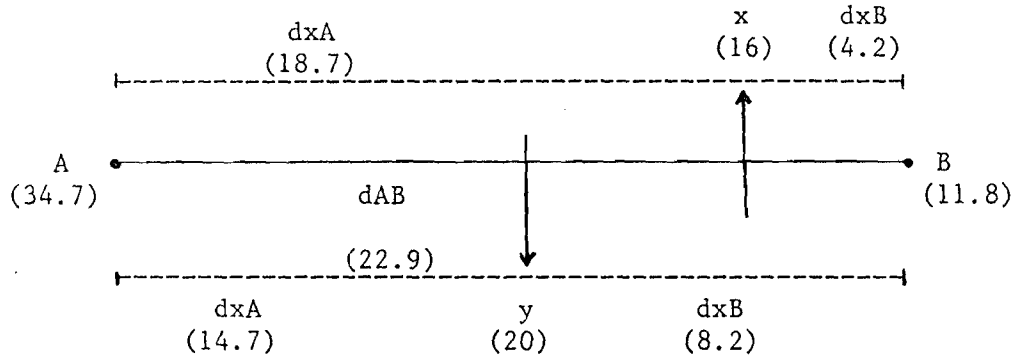
Mapa 4. Se ha diseñado este mapa siguiendo el mismo principio de uno de curvas de nivel que también pertenece a la categoría de cartas de isopletas. Las isolíneas conectan puntos de igual valor y la distribución es ilustrada por el patrón de estas líneas en el mapa final. Con esta técnica se puede también ilustrar, mediante líneas, la distribución de la densidad de la población de zonas o áreas asignando los valores pertinentes a algún punto de cada una de ellas. Dado que la distribución de la población dentro de cada zona es dispar, entonces el valor de densidad que le corresponda deberá localizarse en un punto no central, preferiblemente cerca de la frontera con otra zona que tenga un mayor valor (esto equivale a la búsqueda de las localizaciones de mayor "altura"). Obviamente, la elección del punto al que se asignará la población de la zona dependerá tanto del conocimiento que se tenga de la forma en que se reparte la población dentro de ella como del modo en que varía la intensidad de los valores entre zonas.

Una vez asignados los valores de las zonas a los puntos de "base" será necesario decidir cuántas isolíneas se trazarán y qué valores les corresponderán. Estas decisiones son equivalentes a las que se adoptan cuando se establecen clases y límites en una distribución de frecuencias o cuando se definen tramos en el caso de los mapas de coropletas. Por esta razón se ha decidido usar, en el caso del ejemplo, el mismo número de clases y los mismos límites que se emplearon en el mapa 3. En el caso de las isolíneas los valores que se asignan corresponden a los puntos de quiebre identificados en el gráfico 1 (acumulativo de áreas).

Otra decisión de la mayor importancia concierne a las rutas que deben seguir las isolíneas. En rigor, el trazado de ellas se hace por interpolación entre los puntos (de "base") ya localizados y que identifican los valores para cada una de las zonas. Como frecuentemente son muy pocos los puntos de "base" que poseen valores idénticos a los de las isolíneas, la interpolación involucra un proceso de búsqueda y ajuste iterativo. Para ello se requiere ubicar puntos adicionales de "control" en el mapa, que correspondan exactamente a los valores de las isolíneas y que se dispongan de tal modo que señalen las rutas que éstas deberán seguir. La localización de estos puntos de "control" se infiere a partir de la forma en que los puntos de "base" se localizan en el espacio.

Para ilustrar el problema de la elección de la ruta que deben seguir las isolíneas se hará uso del mapa 1 que contiene la información sobre densidad (en cursiva) de distintas áreas. A la zona identificada con la letra A en el Mapa 1 le corresponde un punto "base" con valor 34.7, mientras que su vecina B tiene otro con valor 11.8. La diferencia de valores entre ambos puntos "base" es de 22.9 unidades ($34.7 - 11.8$) y se sabe que hay dos isolíneas (16 y 20) que deberán pasar entre ellos. Suponiendo que la gradiente entre A y B fuera constante, se resuelve ubicar un punto "control" para el trazado

de la isolínea de 16 habitantes por kilómetro cuadrado a 18 por ciento de la distancia que separa B de A (o a 82 por ciento de la distancia que separa a A de B). Siguiendo el mismo criterio, el punto "control" para la isolínea 20 se situará a 36 por ciento de la distancia entre B y A (ó 69 por ciento de la distancia entre A y B):



$$(A-B) = (34.7-11.8) = 22.9 \quad (A-x) = (34.7-16.0) = 18.7 \quad (A-y)=(34.7-20.0)=14.7$$

$$(x-B) = (16.0-11.8) = 4.2 \quad (y-B)=(20.0-11.8)=8.2$$

$$X_{A \rightarrow B} = 18.7 : 22.9 = 0.8166 \quad X_{B \rightarrow A} = 4.2 : 22.9 = 0.1834$$

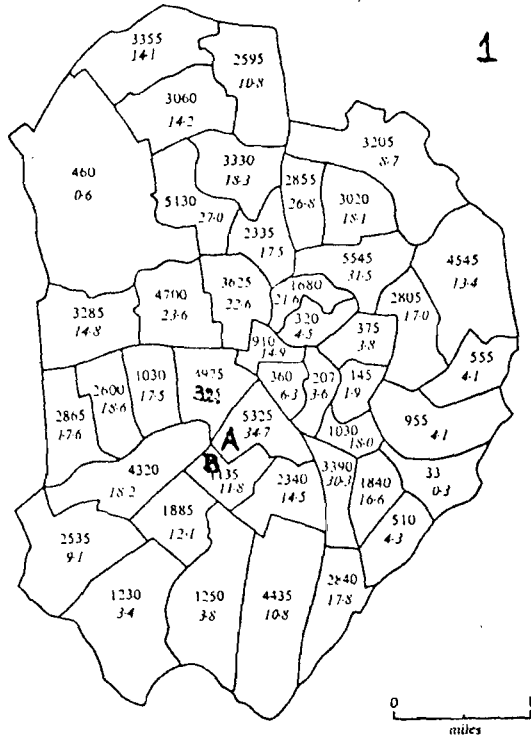
$$y_{A \rightarrow B} = 14.7 : 22.9 = 0.6419 \quad y_{B \rightarrow A} = 8.2 : 22.9 = 0.3581$$

Gráfico 2: Determinación de puntos de control para isopletas (Mapa 4).

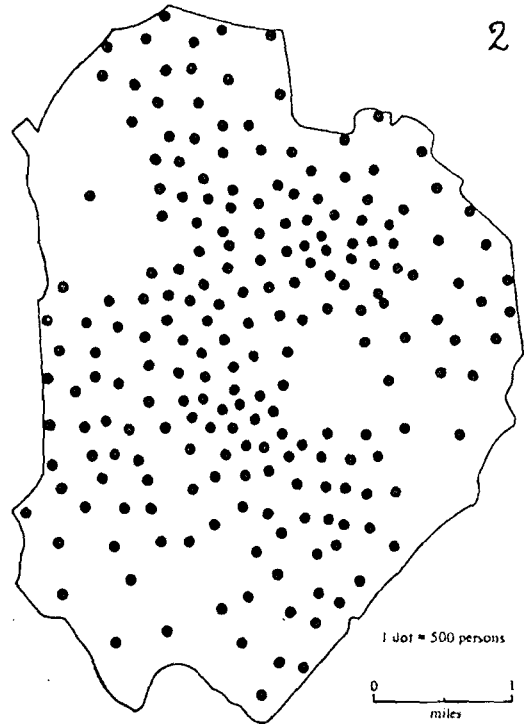
Localizados los puntos de "control" es posible delinear la ruta de las curvas, operación que no resultará simple cuando se dispone de pocos puntos de "base" y éstos exhiben grandes diferencias entre ellos. Bajo tales circunstancias siempre quedará un cierto margen de incertidumbre y deberá incurrirse en arbitrariedades. En rigor, la existencia de pocos y diferenciados puntos "base" origina una sucesión de puntos "control" que pueden unirse, mediante isolíneas, siguiendo trazados distintos. Ante tal tipo de problema, resulta aconsejable no especificar situaciones particulares, sino tratar de diseñar un panorama general usando como criterio a los valores medios.

Ocasionalmente se colorean o "ensombrecen" las áreas comprendidas entre isolíneas de la misma manera que se hace con los mapas que representan curvas de nivel. Tal tipo de operación proporciona un mayor impacto visual y como las isolíneas representan intervalos de clases, el uso de colores o tonalidades es equivalente al ejercicio que se realiza en los mapas de coropletas y se ajusta a los mismos principios.

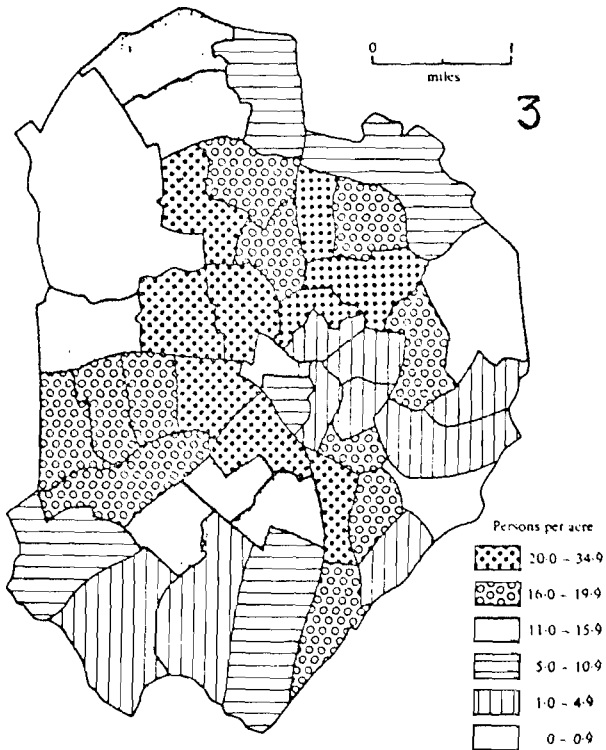
Parece evidente que las críticas hechas a las coropletas no se aplican a las isopletas, aunque éstas, a su vez, adolecen de otras limitaciones. La principal ventaja de las isopletas estriba en el hecho que los datos areales



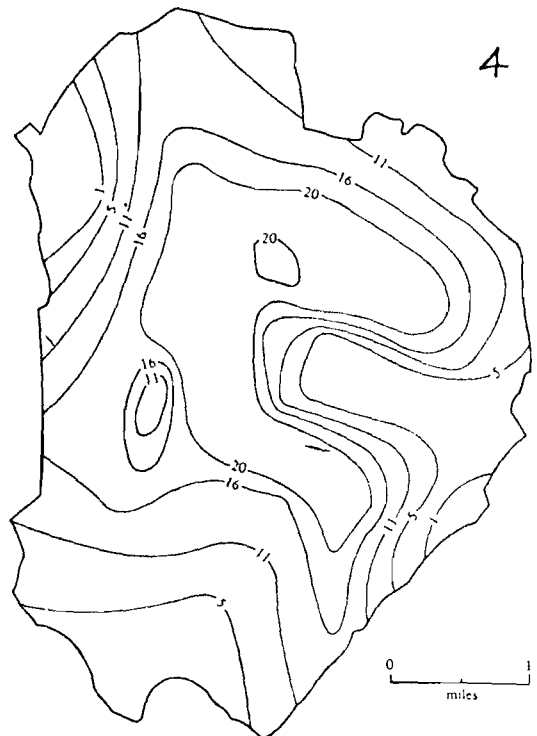
Mapa 1: Información básica.



Mapa 2: Uso de puntos.



Mapa 3: Uso de coropletas.



Mapa 4: Uso de isopletas.

pueden representarse sin sujeción a las fronteras (lo cual también ocurre con el mapa de puntos) y que los cambios de valores se identifican de modo gradual y continuo, no a saltos bruscos como en el caso de las coropletas. En este sentido, las isopletas se prestan para ilustrar las tendencias generales que se presenten en una distribución. Tal como las coropletas, las isopletas pueden interpretarse en términos cuantitativos y, con relación al ejemplo, constituyen el medio más flexible para representar los datos básicos. No obstante sus ventajas, las isopletas son de más difícil y lenta construcción que las coropletas (aunque probablemente sea más fácil diseñar un mapa de isopletas que uno de puntos). Por otra parte, la principal limitación de las isopletas es que introduce una imagen de precisión que probablemente no refleje, con claridad, las incertidumbres encontradas al construirlas, particularmente si el número de valores conocidos es pequeño. Este último problema se torna crítico en el caso que se disponga de información muy fragmentaria (poco desagregada) o disparea (grandes variaciones de intensidad), lo cual originaría una impresión visual de cambios bruscos entre áreas dificultando la identificación de tendencias generales. Cuando se presente este último tipo de situaciones puede resultar más apropiado el uso de coropletas.

Aun cuando los tres mapas finales que se presentan como ejemplo se obtuvieron usando distintas técnicas cartográficas, todos ellos representan claramente la misma distribución básica de población. Dado que la apariencia de cada uno de estos mapas exhibe ciertas diferencias, el analista deberá tener cautela en seleccionar el tipo de mapa que combine, de la manera más efectiva, los atributos de precisión, claridad, simplicidad e impacto visual. Para adoptar su decisión, el analista debe considerar el propósito de su investigación, la naturaleza de los datos de que dispone y las diversas ventajas y desventajas de cada una de las técnicas disponibles. En este sentido la representación cartográfica de las distribuciones espaciales no resulta ser diferente del proceso de resumir distribuciones numéricas mediante técnicas de estadística descriptiva.

II. Otros tipos de datos espaciales involucran elementos que están en movimiento o flujos. La información pertinente puede presentarse como: a) cantidades que pasan a través de ciertos puntos de control donde se efectúan recuentos (flujos peatonales o vehiculares); b) cantidades que pasan a lo largo de una sección dada de una ruta en un tiempo especificado (servicios de transporte); y, c) cantidades que pasan entre puntos conocidos de origen y destino en un período dado (corrientes migratorias) y cuya ruta no siempre se especifica (como en el caso de los datos en b) donde lo que se destaca es el canal de circulación). El atributo distintivo de este tipo de distribuciones espaciales es que la variación cuantitativa se presenta sobre la base de líneas. Los mapas que se diseñen para ilustrar estas distribuciones deben ser capaces de mostrar tanto el patrón de movimientos como la cantidad del flujo. La identificación del patrón se consigue indicando los puntos o áreas conectados por el flujo y la cantidad de este último mediante líneas de anchura variable.

Un mapa de líneas de flujos ilustra la distribución de movimientos dentro de un territorio como si se tratase de una red. Su construcción es muy simple y se ilustrará con el caso de las corrientes migratorias entre las divisiones político-administrativas de un país. Un primer paso consiste en disponer los

datos de base en forma de una matriz que contenga el número de movimientos entre las distintas unidades espaciales. Si estas unidades fuesen muy numerosas y de pequeña magnitud puede ser conveniente preparar, de manera separada, un mapa para corrientes y otro para contra-corrientes. Como frecuentemente se dispone de datos agregados para divisiones de una cierta categoría, será necesario identificar con claridad cuáles de ellas serán consideradas como de origen y cuáles como de destino, suponiéndose, además, que la vinculación se producirá entre los puntos centrales de cada una de ellas. A continuación se deberá decidir acerca de la escala más adecuada para el ancho de las líneas, lo cual dependerá del rango de las cantidades a ser representadas, la cantidad de corrientes que se distingan y la escala del mapa.

Tres procedimientos alternativos de escala de líneas pueden reconocerse para la representación de flujos: a) proporcional simple, en que el ancho de la línea es directamente proporcional a la cantidad representada; b) proporcional compleja, en que el ancho de la línea es proporcional a la raíz cuadrada o al logaritmo de la cantidad representada; y, c) graduada, en que un número limitado de líneas de ancho fijo se usa para representar flujos dentro de límites especificados. El primer tipo de escala es muy sencillo y basta con decidir el máximo ancho de línea a ser usado, asignarlo a la corriente más numerosa y localizarlo en el mapa; los demás anchos de línea se definirán como proporciones simples del primero. Así, por ejemplo, si el flujo más numeroso fuera 100 pudiera decidirse que la línea más ancha tuviese 1 cm.; entonces, a un flujo con valor 25 corresponderá una línea cuyo ancho será 0.25 cm. El flujo proporcional simple puede ocasionar problemas cuando el rango de las cantidades a ser representadas es grande, especialmente si hay muchas corrientes pequeñas y pocas mucho mayores; en estas condiciones, el mapa producirá la impresión de que las únicas corrientes existentes son justamente las representadas por las líneas de mayor anchura, dificultándose la percepción visual de los flujos menores. El segundo tipo de escala se ajusta mejor a este problema porque su base de proporcionalidad es distinta. Así, se puede suponer que la corriente mayor alcanza un valor de 100 y, como la raíz cuadrada de este número es 10, se puede decidir que a tal valor corresponderá una línea de (1 cm.) 10 milímetros de ancho; a un valor 25, en consecuencia, corresponderá una línea de (.5 cm.) 5 (raíz cuadrada de 25) milímetros de ancho. Este segundo tipo de escala tiende a exagerar la imagen visual del ancho de las líneas que representan flujos menores pero tiene la ventaja de mostrar variaciones entre éstos.

La escala graduada requiere de mayor elaboración porque los datos deben ordenarse en clases o categorías y aunque éstas no tengan igual amplitud, las líneas deberán aumentar su ancho gradualmente en cantidades iguales de una clase a la siguiente, lo cual tiende a exagerar los "quiebres" (paso de una clase a otra). Como cada ancho debe ser claramente diferenciable del siguiente (por arriba o por debajo), el número de clases a usarse deberá ser reducido y pudiese ser necesario que los flujos muy pequeños se representen mediante líneas de segmentos o puntos. Al reducirse el número de clases, el mapa resulta de fácil construcción y de simple interpretación; sin embargo, la escala no permite la medición precisa de los flujos individuales en el mapa,

pues cada ancho de línea representa un rango de tamaños de flujos y no una sola cantidad. Por otra parte, si se usan intervalos de clase variables, el ancho de la línea no aumentará en proporción directa al rango de flujos dentro de cada clase. De este modo, la escala graduada provee una base pobre para la comparación de las cantidades efectivas de migrantes. A pesar de ello, el mapa resultante puede brindar una buena impresión visual de "jerarquías".

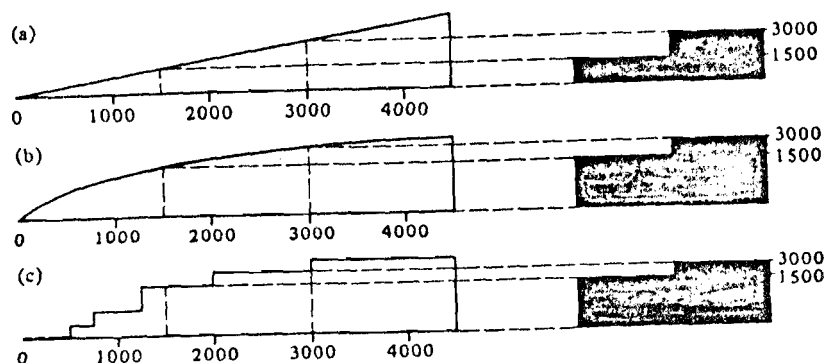


Gráfico 3: Escalas alternativas para el ancho de la línea de flujo: a) directamente proporcional; b) proporcional a la raíz cuadrada y c) graduada.

De los tres tipos de escalas mencionados, el primero es probablemente el más apropiado para usos generales, aunque la elección definitiva del procedimiento deberá depender de la naturaleza de los datos de flujos disponibles y de los propósitos que ha de servir el mapa. Una vez resuelto el problema de escala, se procede a unir los puntos de las áreas de origen y destino con líneas direccionadas. Pudiera ocurrir que las corrientes de salida o de llegada sean numerosas para cada unidad espacial por lo que sería aconsejable, si se desea mantener clara la identidad de esas áreas y de sus flujos, preparar varios mapas sucesivos. Esto último puede hacerse considerando una o unas pocas unidades de destino o de origen primero y luego las demás. Otra posibilidad consiste en aplicar un criterio selectivo, como el de la técnica del eslabón principal, que identifica sólo los flujos modales; en este último caso, tal criterio puede iterarse para órdenes sucesivos de flujos en mapas separados. Si lo que se desea es destacar áreas de origen (expulsión) o de destino (atracción) el procedimiento a utilizar puede consistir en ir separando, desde su origen (o uniendo, en su destino), los flujos pertinentes. Al adoptar esta solución y si se usa una escala proporcional el ancho de la línea deberá aumentarse (o disminuirse) progresivamente a lo largo de su curso para así graficar la forma en que ocurren las transferencias de población. Una vez trazadas, las líneas deberán ser coloreadas o sombreadas para mejorar su impacto visual.

Cuando se desea representar, simultáneamente, corrientes y contracorrientes, las líneas de flujo deberán identificar las dos direcciones del movimiento. Para abordar este tipo de representación será necesario, por cierto, trazar dos líneas, en vez de una, que conecten puntos de origen y destino y será conveniente que ellas estén claramente separadas entre sí para obviar confusos traslapos:

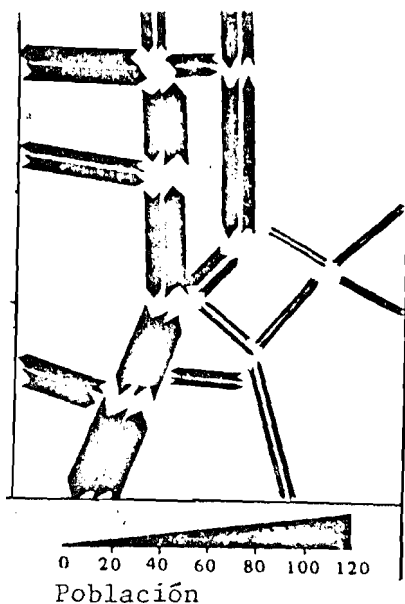


Gráfico 4: Patrón de corrientes y contra-corrientes en un único mapa de flujos.

III. Además de los mapas comentados, suele acudir a representaciones cartográficas que emplean símbolos correspondientes a cantidades y que se disponen de modo tal que muestran las localizaciones de los puntos o áreas a las que se refieren. Los símbolos más comunes son los círculos y su uso da lugar a mapas semejantes a los de puntos; su diferencia con estos últimos estriba en que los círculos pueden ser graduados (variables en tamaño) y no representativos de cantidades fijas como sucede con los puntos. Estos símbolos se denominan círculos proporcionales, pues su área (A) es proporcional a la cantidad (Q) que representan ($A \propto Q$). Como se sabe que, en un círculo $A = \pi r^2$, donde r es el radio del círculo, resulta evidente que $\pi r^2 \propto Q$; dado que π es una constante y que la relación es de proporcionalidad y no de igualdad, se puede hacer abstracción de π y escribir simplemente $r^2 \propto Q$. De esta forma se pueden tener relaciones de proporcionalidad tales como: $r \propto \sqrt{Q}$, $r \propto \log Q$, $r \propto e^Q$, donde el radio representará la raíz cuadrada o el logaritmo de la cantidad representada. En términos prácticos, el resultado que se obtiene significa que si se desea representar dos cantidades, en que la primera es el doble de la segunda, los radios de los círculos diferirán por un factor de 1.41 ($\sqrt{2}$); así, el radio del círculo mayor será menos del 50 por ciento más grande que el del círculo menor pero su área será el doble.

Mapa 5. La construcción de un mapa de localización de asentamientos usando círculos, cuyos radios sean proporcionales a la población de aquéllos, involucra varias etapas. Primeramente deberá decidirse acerca del tamaño máximo de círculo que se usará para representar la cantidad mayor. Tal decisión dependerá de la escala del mapa y de la densidad de asentamientos dentro del área, siendo conveniente que se trate de mantener separada la identidad de cada centro poblado lo que implica que los círculos no se traslapen ni estén en contacto entre sí (salvo que se trate de núcleos urbanos coalescentes como ocurre con el caso de las conurbaciones). En segundo lugar, se calcula la raíz cuadrada (o cúbica o el logaritmo) de las poblaciones para obtener las unidades de radio requeridas para cada círculo. A continuación (tercer paso), se calcula la longitud de cada unidad de radio dividiendo el radio máximo decidido en el primer paso por la raíz cuadrada (o cúbica o el logaritmo) de la cantidad mayor (lo que se obtuvo en el segundo paso). Por último, se calcula el radio que efectivamente se va a usar para cada caso, multiplicando el número apropiado de unidades de radio por la longitud obtenida en el paso tres (esta última opera como factor de ajuste para la proporcionalidad).

Así, en el caso del ejemplo (mapa 5), se ha considerado (primer paso) que el radio del círculo correspondiente a la mayor población (Oxford) debiera

ser de unos 10 mm. para así impedir que se traslape con el círculo de Woodstock. Luego se calculó la raíz cuadrada de cada una de las poblaciones para obtener el número de unidades de radio que correspondería a cada círculo (segundo paso). En el tercer paso se procedió a dividir el radio máximo, decidido en el primer paso, por la raíz cuadrada de la cantidad mayor; de este modo, a Oxford con una población de 108.805 personas corresponde (en el segundo paso) una raíz cuadrada de 330 unidades de radio y como en el primer paso se decidió usar un radio máximo de 10 mm., entonces se toma la división (10:330) y se obtienen 0.03 mm., cantidad que servirá como factor de ajuste. Finalmente, se calcula el radio que efectivamente se va a usar, para ello se multiplica el número de unidades de radio obtenido en el paso dos por el factor de ajuste definido en el paso tres; de este modo, a Oxford le corresponden 330 unidades de radio ($\sqrt{108.805}$) que, multiplicadas por el factor de ajuste (0.03 mm.), proporcionan un radio efectivo de 9.9 mm. (330×0.03 mm.) y a Bicester, con 111 unidades de radio ($\sqrt{12.355}$), se le asigna un radio efectivo de 3.3 mm. (111×0.03 mm.). El cuadro 1 y el nomógrafo pertinente (gráfico 5) contienen los elementos utilizados para la construcción del Mapa 5.

Cuadro 1
DATOS USADOS PARA LA CONSTRUCCION DE LOS CIRCULOS PROPORCIONALES
DEL MAPA 5 (DATOS DE POBLACION DEL CENSO BRITANICO, 1971).

Nombre del asentamiento	Población (Q) 1971	Nº unidades de radio (\sqrt{Q})	Factor de ajuste (10/330mm.)	Radio efectivo (r)
Oxford	108.805	330	0.03	9.9 mm.
Banbury	29.387	171	0.03	5.2 mm.
Witney	12.552	112	0.03	3.4 mm.
Bicester	12.355	111	0.03	3.3 mm.
Henley-on-Thames	11.431	107	0.03	3.2 mm.
Thame	5.948	77	0.03	2.3 mm.
Chipping Norton	4.761	69	0.03	2.1 mm.
Woodstock	1.961	44	0.03	1.3 mm.

Fuente: Davis, 1975.

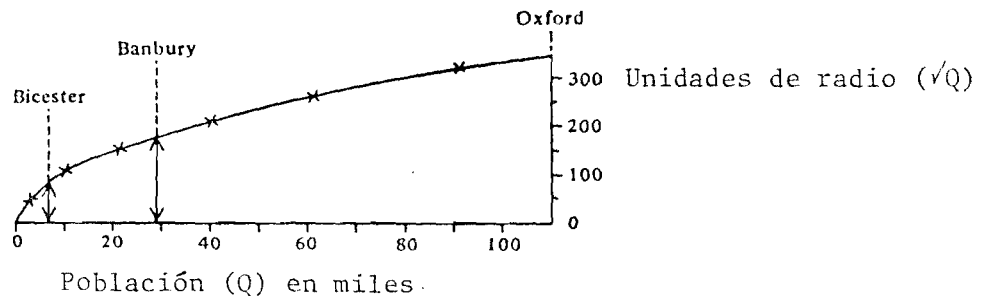


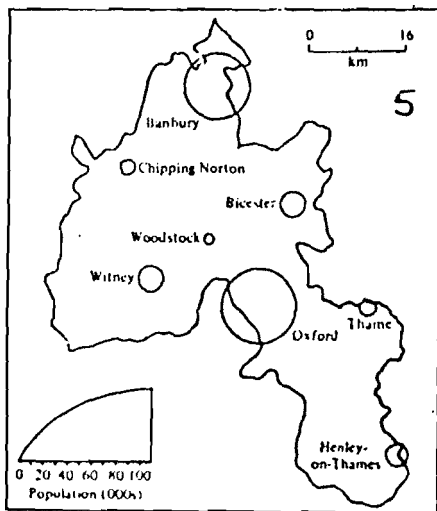
Gráfico 5: Nomógrafo para los círculos proporcionales del Mapa 5
(la escala vertical ha sido exagerada intencionalmente).

Cuando el número de círculos que se requiere usar es grande, el cálculo de los radios se convierte en tarea laboriosa. Para abreviar los cálculos se puede construir un nomógrafo, o escala continua de tamaños de círculos, que indica el radio apropiado para representar cualquier cantidad dentro de un rango especificado. Se debe comenzar, por cierto, calculando los radios para algunos valores claves, pero el resto puede derivarse fácilmente del nomógrafo mediante simple lectura. Obviamente, el nomógrafo permite percibir el diámetro final correspondiente a cada círculo (se trata del doble de las unidades de radio, \sqrt{Q}) con lo cual se puede evaluar la elección del factor de ajuste. La expresión final (mapa 5) consiste en una carta en que cada círculo tiene su centro en la localización exacta del asentamiento representado.

Además del círculo, existen otros símbolos (barras, cuadrados, segmentos de círculos, cubos, esferas) que pueden ser proporcionales en longitud, área o volumen a la cantidad representada y que pueden localizarse en el mapa de modo similar a lo que se ha hecho con los círculos proporcionales. La ventaja del círculo radica en su simplicidad y fácil percepción visual. Además se le puede usar en combinación con mapas de puntos para representar la distribución de la población en el espacio: los círculos identificarían población concentrada (localidades urbanas) y los puntos a la población dispersa (localidades rurales). Si bien los círculos se prestan para representar distribuciones puntuales, su uso para distribuciones areales resulta complejo y puede ocasionar imágenes visuales poco realistas. Por otra parte, suele ser más difícil estimar diferencias entre área (es decir, entre las cantidades representadas) cuando se comparan círculos que cuando se comparan otros símbolos.

IV. Ocasionalmente la información que se desea expresar en forma cartográfica aparece dividida en partes proporcionales (población por grupos de edad, población activa por ramas, población por tramos de ingreso). Tales datos pueden ilustrarse dividiendo cada círculo en sectores que ocupen una parte apropiada (proporcional) del área. Para construir círculos divididos proporcionalmente se elaboran primero los símbolos (círculos) que representan a las poblaciones totales (por ejemplo, de varias ciudades). A continuación se subdivide cada círculo en sectores que, por su tamaño, identifican el porcentaje del total contenido en cada sub-grupo; así, un sector de 90° (que ocupa la cuarta parte del círculo) representa al 25 por ciento de la cantidad total. De este modo, un sub-grupo que dé cuenta del 19.9 por ciento de la población total aparecerá identificado simplemente como el porcentaje que esa cantidad representa de los 360° (determinación del ángulo interior del sector): $(19.9/100) \times 360^\circ = 71,6^\circ$. En términos generales, el ángulo para un sector que corresponde a $x\%$ de la cantidad total se obtiene mediante $[(x/100) \times 360]$ (ó, simplemente, $x \cdot 3,6^\circ$). La línea norte (0°), o superior, suele usarse como el punto de partida para dividir los círculos, por lo que los sectores se van marcando en la dirección de las manecillas del reloj. Una vez identificados los sectores se procede a colorearlos o a sombrearlos con tramas apropiadas.

Además de las representaciones cartográficas someramente presentadas, existen otras de mayor complejidad que utilizan bloque-diagramas o superficies tridimensionales cuya construcción es compleja y excede los propósitos de estas notas. Conviene, finalmente, hacer referencia a otras expresiones



Mapa 5: Tamaño y localización de asentamientos indicados por círculos proporcionales.

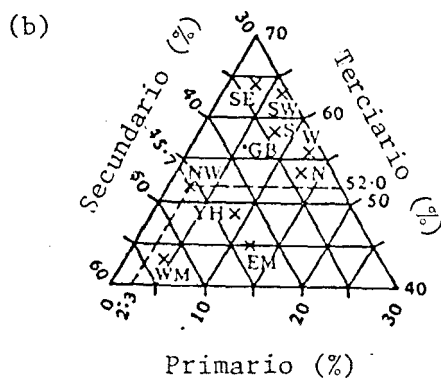
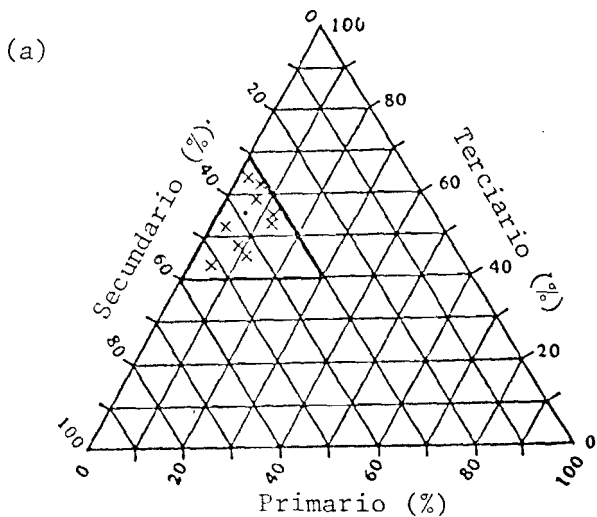


Gráfico 6: Representación triangular de la estructura sectorial de la población económicamente activa.

gráficas que pueden usarse en reemplazo de (o en combinación con) mapas, y que también se prestan para ilustrar distribuciones espaciales referidas a tiempo, distancia o alguna otra variable. Así ocurre con los gráficos de barras y los histogramas conocidos por su versatilidad y susceptibles de emplearse en mapas. También pueden mencionarse las curvas de frecuencias y las ojivas de concentración. Otro tipo de gráfico es el que se basa en cortes longitudinales (o transversales) de distribuciones representadas en mapas ("cross-section") mediante el cual se representa la variación cuantitativa a lo largo de una línea que no necesariamente debe ser una recta; así, se podría trazar una línea que cortara el mapa 4 en dirección NE-SW y se obtendría un perfil de las variaciones de densidad a lo largo de un eje. En otra oportunidades puede resultar apropiado contrastar las variaciones de dos variables (covariación) mediante gráficos de dispersión que, como es sabido, se prestan para indagar acerca de la relación entre dos conjuntos de datos identificados como puntos; a veces el tipo de relación entre variables aparece con mayor claridad si el diagrama de dispersión se construye con escalas transformadas (expresiones semi-logarítmicas como las de la regla rango-tamaño).

Finalmente, cuando se requiere considerar más de dos variables a la vez suelen presentarse dificultades para su expresión gráfica. El gráfico triangular es un medio simple y conveniente para identificar tres variables conectadas dentro de un mismo diagrama. Los valores representados por cada punto se gradúan a lo largo de los tres ejes del triángulo equilátero orientados a 60° entre sí. Cada punto tiene una localización fija con relación al reticulado triangular marcado por líneas. El gráfico 6 es un ejemplo del uso del diagrama triangular con datos referidos a la distribución de la población económicamente activa en tres sectores. La versión (a) del gráfico 6 muestra que todos los puntos se sitúan dentro de una parte pequeña del gráfico y para enfatizar los contrastes entre áreas se ha elaborado la versión (b) ampliada. Se advierte un claro predominio del terciario en las áreas cercanas a la cúspide y una mayor presencia del secundario en aquellas situadas hacia la izquierda y abajo, en tanto que el sector primario se hace más evidente en las áreas que se ubican hacia la derecha y abajo. Obviamente, las áreas próximas entre sí son más similares en cuanto a su estructura de empleo que aquellas que aparecen distanciadas. Los datos básicos aparecen en el cuadro 2.

Cuadro 2
DISTRIBUCION REGIONAL DEL EMPLEO PARA AREAS HIPOTETICAS
(Porcentajes para tres sectores)

Areas	Empleo regional por sectores principales actividad (en porcentajes)			Total
	Primario	Secundario	Terciario	
SE	2,6	33,0	64,4	100,0
SW	6,3	30,1	63,6	100,0
WM	4,2	52,6	43,2	100,0
EM	11,5	43,5	45,0	100,0
YH	8,3	43,2	48,5	100,0
NW	2,3	45,7	52,0	100,0
N	12,9	33,7	53,4	100,0
W	12,8	31,4	55,8	100,0
S	7,7	33,5	58,8	100,0
GB ^{a/}	5,5	38,0	56,5	100,0

a/ País (contiene todas las áreas anteriormente enumeradas).

Los datos que se representan en gráficos triangulares deben estar interrelacionados de modo tal que para cada punto sea factible producir su tercer valor si se conocen los dos restantes. Esto se consigue expresando los valores representados por cada punto como porcentaje de su total común.

REFERENCIAS

Estas notas se basan en una adaptación de los capítulos 6, 7 y 8 de Davis, Peter, Data Description and Presentation (Londres, Oxford University Press, 1975; pp. 65-113). 1/ Los mapas 1 a 4 y el gráfico 1 tienen como fuente un estudio de pre-metrificación realizado en Gran Bretaña (Norwich Area Transportation Study, 1969). El mapa 5, los gráficos 4 y 5 y los cuadros 1 y 2 proceden de Davis. A continuación se enumeran otras publicaciones consultadas.

- Cole, J.P. y King, C.A.M., Quantitative Geography (New York, Wiley and Sons, 1968).
- Dickinson, G.C., Statistical Mapping and the Presentation of Statistics (Londres, Edward Arnold, 1963).
- Duncan, O.D., Cuzzort y Duncan, B., Statistical Geography (Glencoe, The Free Press of Illinois, 1961).
- Ellis, B., Basic Concepts of Measurement (Cambridge, Cambridge University Press, 1966).
- Everson, J.A. y Fitzgerald, B.P., Inside the City (Londres, Longman, 1972).
- French, H.M. y Racine, J.B., Quantitative and Qualitative Geography (Ottawa, University of Ottawa-Dept. of Geography, Occas, Pap. 1, 1972).
- Gregory, S., Statistical Methods and the Geographer (Londres, Longman, 1963).
- Haggett, Peter, Location Analysis in Human Geography (Londres, Edward Arnold, 1965).
- Haggett, Peter, Geography: A Modern Synthesis (New York, Harper and Row, 1972).
- Kansky, K.J., Structure of Transportation Networks (Chicago, University of Chicago, 1963).
- King, Leslie J., "A Quantitative Expression of the Pattern of Urban Settlements in Selected Areas of the United States", en Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie, vol. 53 (1962).
- Lawrence, G.R.P., Cartographic Methods (Londres, Methuen, 1978).
- Lewis, Peter, Maps and Statistics (Londres, Methuen, 1977).
- Mc Cullagh, Patrick, Data use and Interpretation (Londres, Oxford University Press, 1975).
- Monkhouse, F.J. y Wilkinson, H.R., Maps and Diagrams (Londres, Methuen, 1971).
- Moroney, M.J., Facts from Figures (Londres, Penguin, 1956).
- Raisz, E., Cartography (New York, Wiley and Sons, 1975).
- Robinson, A.H., Elements of Cartography (New York, Wiley and Sons, 1978).

1/ Este libro forma parte de una serie de cuatro volúmenes destinados a presentar modernas técnicas geográficas editados por Brian P. Fitz Gerald bajo el nombre de Science in Geography y fueron publicados por la Universidad de Oxford a partir de 1974.

- Sodré Viveiros de Castro, Lauro, Pontos de Estatística (Rio de Janeiro, Editora Científica, 1967, 14a. edição).
- Stone, R., Mathematics in the Social Sciences (Londres, Chapman and Hall, 1966).
- Theakstone, W.H. y Harrison, C., The Analysis of Geographical Data (Londres, Heinemann, 1979).
- Toyne, P. y Newby, P.T., Techniques in Human Geography (Londres, Macmillan, 1978).
- Vinicius da Rocha, Marcos, Curso de Estatística (Rio de Janeiro, IBGE, 1969).
- Vinicius da Rocha, Marcos, Representação Gráfica de Séries Estatísticas (Rio de Janeiro, IBGE, 1968).
- Wilson, A.G., Urban and Regional Models in Geography and Planning (New York, Wiley and Sons, 1974).
- Wilson, A.G. y Kirby, M.J., Mathematics for Geographers and Planners (Oxford, Clarendon Press, 1975).