

# Epidemiología y análisis espacial

Ricardo Ocaña-Riola  
Carmen Sánchez-Cantalejo Garrido  
Escuela Andaluza de Salud Pública



La epidemiología estudia la frecuencia y la distribución de las enfermedades en el espacio y en el tiempo, así como los factores asociados a su aparición en la población. Como otras áreas de conocimiento, la epidemiología necesita de la estadística para llevar a cabo análisis de datos complejos que permitan profundizar en el conocimiento y el comportamiento de las enfermedades. Parte de estos métodos matemáticos constituyen lo que se conoce como análisis espacial, cuyo objetivo es descubrir estructuras espaciales de la información y modelar fenómenos geográficos. Entre sus aplicaciones en epidemiología se encuentran la descripción de la variabilidad geográfica de indicadores de salud, la identificación de correlaciones ecológicas, la detección de agrupaciones de casos en un espacio geográfico y la evaluación de riesgos en torno a focos contaminantes.

## 1. Tipos de datos en análisis espacial

En el ámbito epidemiológico, el análisis espacial procesa eventos o entidades georreferenciadas para crear nueva información que pueda representarse en mapas. Los datos utilizados para ello pueden ser puntuales o agrupados, dependiendo de la unidad de análisis estudiada.

La epidemiología necesita de la estadística para llevar a cabo análisis de datos complejos que permitan profundizar en el conocimiento y el comportamiento de las enfermedades. Parte de estos métodos matemáticos constituyen lo que se conoce como análisis espacial, cuyo objetivo es descubrir estructuras espaciales de la información y modelar fenómenos geográficos.

Cuando la unidad de análisis es el individuo los datos se denominan puntuales, representando en el mapa los puntos con la ubicación geográfica exacta en la que se ha producido el evento de interés, ya sea enfermedad, defunción o cualquier otro suceso. En este caso se estudian las características del individuo y su relación con el evento teniendo en cuenta la localización espacial en la que se ha producido.

Si la unidad de análisis es el área geográfica los datos reciben el nombre de agrupados o ecológicos y la variable de interés corresponde a características de la zona geográfica, no de los individuos. En este caso lo habitual es representar en un mapa la tasa de morbi-mortalidad, con el número de casos en el numerador y el número de personas a riesgo en el denominador, aunque en determinadas circunstancias también es posible representar sólo el número de casos registrados.

## 2. Métodos de análisis espacial en estudios epidemiológicos

Para llevar a cabo el análisis de la información geográfica existen distintas técnicas de análisis espacial aplicadas a la epidemiología. A continuación se describen algunas de las más utilizadas.

### 2.1. Procesos puntuales

Los eventos estudiados en epidemiología pueden considerarse como fenómenos aleatorios localizados en el espacio y en un periodo de tiempo determinado. Este tipo de información discreta se denomina proceso puntual y puede modelarse a través de técnicas estadísticas específicas. El objetivo es identificar agrupaciones de casos y descubrir si éstas se deben al azar o existe alguna causa que podrían provocarlas.



### 3. El inicio de los mapas de enfermedades

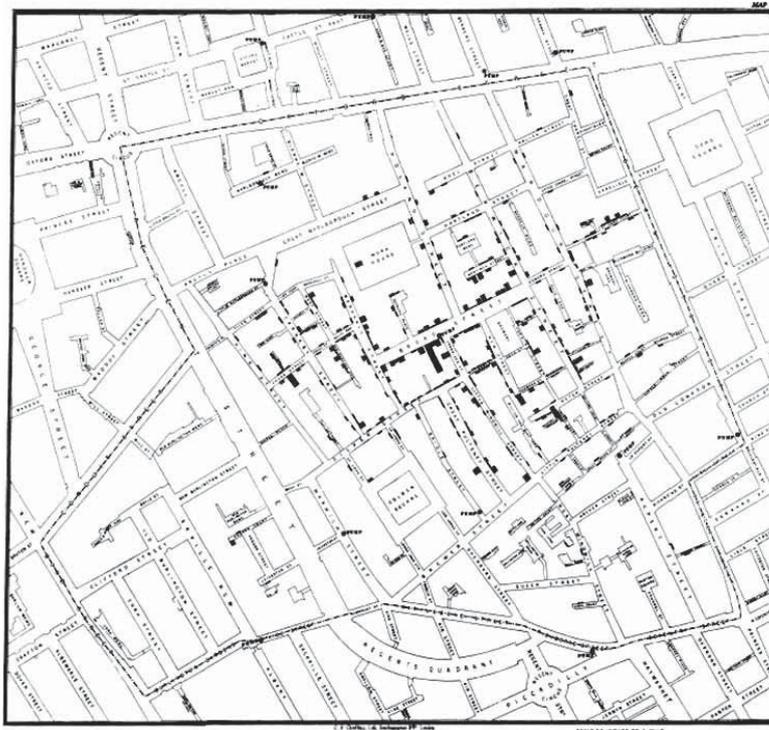
A finales del siglo XVIII y principios del XIX, los brotes de fiebre amarilla constituían uno de los mayores problemas de Salud Pública de Estados Unidos. La enfermedad no producía tantas muertes como la tuberculosis o la viruela pero las epidemias golpeaban con tanta fuerza a la población de las principales ciudades portuarias que el miedo se extendió rápidamente por todo el país. Episodios como los de Philadelphia (1793), New York (1796) o New Orleans (1853) provocaron miles de muertes, contribuyendo a una gran alarma política y social.

Las investigaciones epidemiológicas llevadas a cabo en aquellos años estaban orientadas a identificar las causas de esta enfermedad, cuestión que generó gran controversia durante la época. En 1798 Valentine Seaman representó en un mapa de la ciudad de New York los casos detectados durante la epidemia de 1796. Años después, alrededor de 1826, Cartwright utilizó la misma metodología para visualizar los casos aparecidos en Natchez (Mississippi). Ambos trabajos contribuyeron a detectar el patrón geográfico de la enfermedad,

mostrando zonas en las que la extensión de la epidemia estaba favorecida por altas temperaturas, elevada humedad y gran concentración de insectos en el aire. Fueron los primeros mapas sanitarios de la historia.

Durante la segunda mitad del siglo XIX se realizaron otros estudios epidemiológicos basados en la localización geográfica de casos. De todos ellos, quizá el más popular sea el llevado a cabo en 1854 por John Snow (Mapa 2). En septiembre de aquel año se detectó un brote de cólera en Broad Street, situada en el Soho de Londres. Para generar hipótesis sobre la causa de la enfermedad, Snow mostró la distribución de casos sobre un mapa de las calles situadas alrededor de Broad Street. El patrón geográfico seguido por el cólera, junto con la observación detallada de los casos, ayudó a establecer hipótesis sobre la transmisión de la enfermedad, pudiendo demostrar finalmente que el brote había sido provocado por el agua de una de las fuentes del distrito. La epidemia desapareció cuando el suministro de agua de la fuente de Broad Street fue cortado.

Mapa 2. Brote de cólera en el Soho Londres, 1854



Fuente: Snow, J. *On the Mode of Communication of Cholera*, 2nd Ed. London: John Churchill, New Burlington Street, 1855.

#### 4. Los atlas de indicadores de salud en áreas pequeñas

Actualmente, el estudio de la distribución geográfica de enfermedades en áreas pequeñas o *disease mapping* constituye un área de investigación importante. Los mapas desarrollados muestran la distribución espacial de los casos agregados en áreas geográficas, siendo una importante fuente de información para la implementación de políticas de salud, la vigilancia epidemiológica y la asignación de recursos. La agrupación de estos mapas temáticos que visualizan la distribución geográfica de distintas enfermedades o causas de muerte constituyen respectivamente un atlas de incidencia o mortalidad.

##### 4.1. Métodos habituales para la elaboración de atlas

La tasa de mortalidad general o por causas específicas es uno de los indicadores utilizados con mayor frecuencia para monitorizar el estado de salud de la población mediante mapas. La accesibilidad de esta fuente de información, junto con los avances de los sistemas informáticos, el desarrollo de potentes Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la implementación de complejos modelos matemáticos en software especializado han promovido la elaboración de múltiples atlas de mortalidad y estudios ecológicos en áreas pequeñas durante las últimas décadas. Desde 1984 se han publicado en España 20 atlas que describen la distribución geográfica de la mortalidad tomando como unidad de análisis territorial la provincia, el distrito sanitario, la zona básica de salud, el municipio o la sección censal. De ellos, seis se han desarrollado en Andalucía. La disponibilidad de registros de información complementarios a la mortalidad no es tan frecuente, por lo que los atlas sobre otros indicadores de salud como prevalencia, incidencia o supervivencia no están tan difundidos.

La mayoría de los atlas publicados hasta la fecha en todo el mundo describen la distribución geográfica de los indicadores de salud mediante la agrupación de datos anuales en un único periodo. En algunos estudios su amplitud ha sido superior a 20 años, ofreciendo una visión estática de los indicadores que en ocasiones engloba anualidades con planes de salud y legislaciones diferentes. El uso de un único periodo de tiempo amplio puede producir un sesgo en las estimaciones de las tasas, de manera que el exceso de enfermedad o muerte observado en algunas áreas con respecto a otra de referencia podría ser sólo el reflejo de

una situación pasada que continúa visualizándose debido a la agregación temporal de información.

Adicionalmente, suele ser habitual ver atlas que utilizan tasas ajustadas o razones de morbi-mortalidad estandarizadas por grupos de edad y sexo. Con ello se pretende resumir la información mediante un único indicador estandarizado. Sin embargo, la distribución geográfica de la morbi-mortalidad no siempre es igual para todos los grupos de población, de manera que el uso de un indicador estandarizado no será apropiado para ofrecer una información precisa del patrón geográfico.

Como consecuencia de la utilización de información agregada en un periodo de tiempo amplio y del uso de tasas ajustadas o razones de morbi-mortalidad estandarizadas, la toma de decisiones y las políticas sanitarias aplicadas a partir de la interpretación de estos mapas podrían ser inadecuadas.

##### 4.2. Nuevos enfoques metodológicos para la elaboración de atlas.

Los fenómenos de salud son dinámicos, habiendo experimentado un ritmo de cambio importante en la mayoría de países europeos durante las últimas décadas. Los determinantes de la salud, la tecnología sanitaria y los recursos asistenciales varían con el tiempo y, a su vez, todos estos aspectos repercuten en el bienestar de la población. Por ello, la evaluación de los resultados en salud, incluida la mortalidad, ha de abordarse desde una perspectiva temporal dinámica, específica para cada grupo de edad y sexo. Sólo así será posible describir la evolución de los indicado-



res de salud, evaluar la repercusión de las políticas sanitarias del pasado y conocer el estado de salud actual de la población para afrontar futuras mejoras.

Los desarrollos metodológicos de los últimos años permiten obtener conclusiones sobre los cambios que ha experimentado la distribución geográfica de los indicadores de salud a través del tiempo en diferentes grupos de población, evitando el uso de mapas estáticos basados en información temporal agregada y tasas ajustadas o estandarizadas. Estos métodos están basados en modelos condicionales autorregresivos de efectos aleatorios que incorporan interacciones espacio-tiempo para evaluar la tendencia del indicador de salud en cada área geográfica.

El análisis de la evolución espacial y temporal de los indicadores por años, grupos de edad y sexo permite obtener una imagen histórica y dinámica del estado de la población, contribuyendo al avance de la investigación de sus resultados en salud.

## 5. El atlas interactivo de mortalidad en Andalucía

En este contexto de nuevos enfoques metodológicos surge el Atlas Interactivo de Mortalidad en Andalucía (AIMA), un Sistema de Información Geográfica dinámico implementado en *web-site* que muestra la distribución espacial y la evolución temporal de la mortalidad por grupos de edad y sexo en todos los municipios andaluces desde 1981.

### 5.1. Metodología utilizada en AIMA

Para el desarrollo del proyecto se realizó un diseño ecológico, utilizando el municipio como unidad de análisis. La configuración del sistema de información se realizó mediante el registro de todas las defunciones ocurridas en los 770 municipios de Andalucía desde 1981, con el fin de analizar la mortalidad general y 21 causas de muerte específica. La variable dependiente fue el número de muertes observado en cada municipio para cada año, causa de muerte, grupo de edad y sexo. La estimación de la tasa específica de mortalidad municipal y de la razón

El análisis de la evolución espacial y temporal de los indicadores por años, grupos de edad y sexo permite obtener una imagen histórica y dinámica del estado de la población, contribuyendo al avance de la investigación de sus resultados en salud.



Estetoscopio en un atlas

de tasas específica de cada municipio con respecto a España se realizó mediante modelos jerárquicos bayesianos espacio-temporales. El análisis se hizo por separado para cada causa de muerte, sexo y grupo de edad.

Los resultados del análisis estadístico se integraron en Géoclip Server, un sistema de información basado en arquitectura cliente-servidor que opera en entorno PHP y utiliza cartografía dinámica en formato Flash.

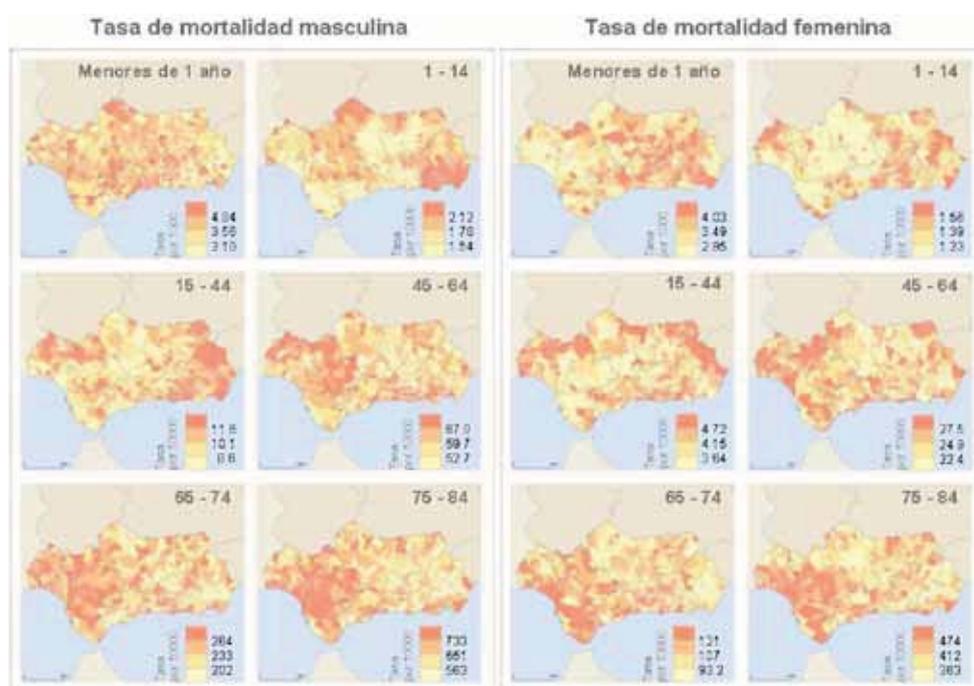
La información contenida en AIMA se renueva anualmente, permitiendo una descripción actualizada de la distribución geográfica de la mortalidad y su evolución a través del tiempo para cada causa, grupo de edad y sexo. Su acceso a través de la *web-site* [www.demap.es](http://www.demap.es) permite a cualquier profesional visualizar y extraer la información disponible.

### 5.2. Distribución geográfica de la mortalidad general durante el periodo 1981-2008

En la actualidad AIMA permite obtener información de la distribución espacio-temporal de la mortalidad entre los años 1981 y 2008. Durante este periodo, más del 98% de los municipios presentó una tendencia de mortalidad significativamente decreciente o estable para todos los grupos de edad y sexo. Alrededor del 2% de los municipios mostró una tendencia creciente en la mortalidad masculina y femenina del grupo 75-84 años. Estos municipios se encontraron dispersos en el mapa de Andalucía.

En 2008, la distribución geográfica de la tasa específica de mortalidad fue diferente para cada grupo de población. En el Mapa 3, cada gráfico muestra la división de esta tasa en cuartiles, utilizando el color más oscuro para los valores más altos.

Mapa 3. Estimación de la tasa específica de mortalidad general. Andalucía. 2008



Fuente: Atlas Interactivo de Mortalidad en Andalucía

En los grupos de edad menores de 65 años se observan algunas agrupaciones de municipios con tasas de mortalidad más elevadas que otros. Sin embargo, la similitud entre los cuartiles sugiere cierta homogeneidad de estas tasas para todos ellos. Así, el rango intercuartílico (diferencia entre el tercer y primer cuartil) oscila entre 0,3 defunciones por 10.000 habitantes en la mortalidad femenina del grupo 1-14 años y 15,1 defunciones por 10.000 habitantes en la mortalidad masculina del grupo 45-64 años.

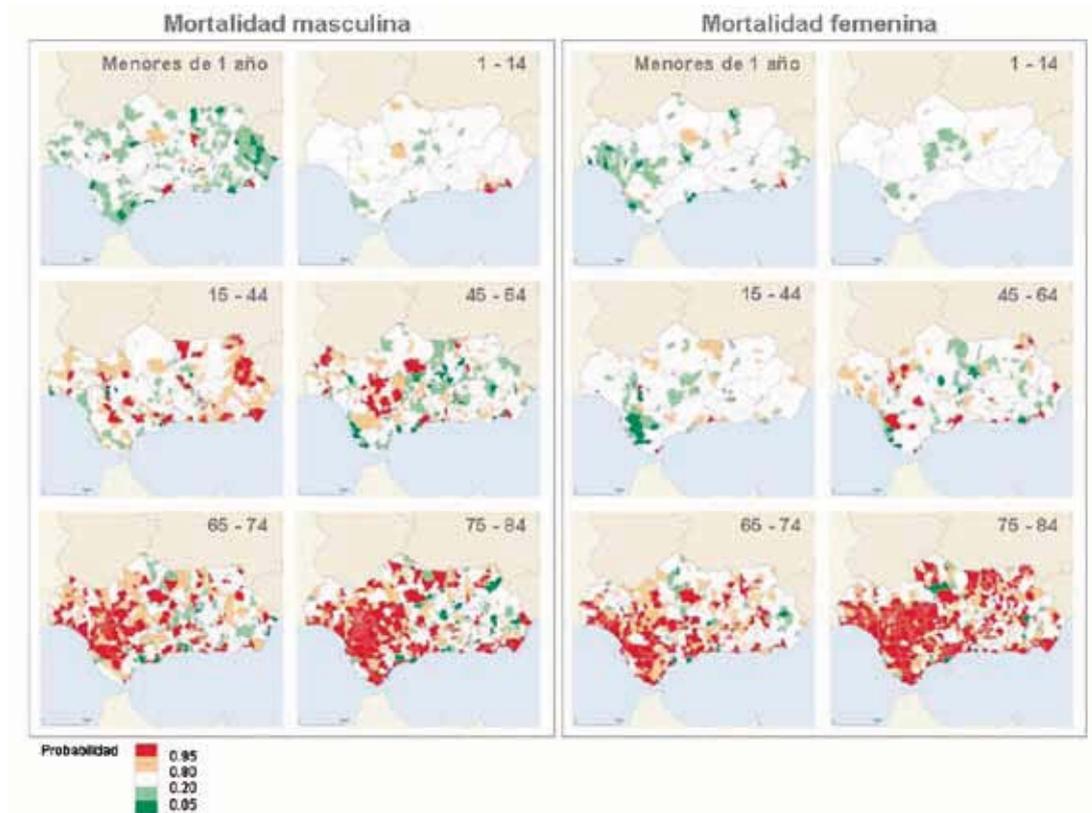
Las diferencias de mortalidad entre municipios son más importantes para los grupos de edad 65-74 y 75-84 años de ambos sexos. En ellos se observa una agrupación de municipios en la mitad occidental de Andalucía con tasas de mortalidad más altas que el resto. El rango intercuartílico varía entre 27,8 y 170 defunciones por 10.000 habitantes correspondientes, respectivamente, a la mortalidad femenina del grupo 65-74 años y a la mortalidad masculina del grupo 75-84 años.

La estimación de la razón de tasas específicas de mortalidad permite comparar la tasa de mortalidad de cada municipio con la tasa de mortalidad española

(Mapa 4). Para decidir qué municipios presentan un exceso de mortalidad estadísticamente significativo con respecto a España, la metodología utilizada en AIMA aplica una regla de decisión basada en la probabilidad de que la razón de tasas sea superior a 1, con los siguientes puntos de corte: 0.05, 0.20, 0.80 y 0.95. Se considera que un municipio presenta un exceso de mortalidad estadísticamente significativo cuando esta probabilidad es superior a 0.95 (rojo). Los valores comprendidos entre 0.80 y 0.95 señalan áreas cercanas al exceso de mortalidad (naranja). Probabilidades entre 0.2 y 0.8 muestran baja evidencia de que la razón de tasas sea superior a la unidad, por lo que la tasa de mortalidad de estos municipios se considera similar a la española (blanco). Los municipios con valores entre 0.05 y 0.20 son áreas de bajo riesgo (verde claro) y los municipios con probabilidad inferior a 0.05 muestran una tasa de mortalidad significativamente inferior a la española (verde oscuro).

Para los grupos de edad inferiores a 65 años, menos del 7% de los municipios andaluces presentaron tasas específicas de mortalidad masculina y femenina significativamente superiores a las españolas. Estos municipios

Mapa 4. Probabilidad de que la tasa específica de mortalidad general sea superior a la española. Andalucía. 2008



Fuente: Atlas Interactivo de Mortalidad en Andalucía

se encuentran geográficamente dispersos, sin que se observen agrupaciones definidas.

Para los grupos de edad superiores a 65 años hubo entre un 15% y un 34% de municipios con exceso de mortalidad significativo, localizados principalmente en Andalucía occidental. Estudios anteriores confirman que este patrón geográfico se mantiene desde 1981, si bien es cierto que el número de municipios en estas circunstancias disminuye progresivamente, sugiriendo, en términos generales, una tendencia convergente con las tasas específicas españolas.

### 5.3.3 Algunas consideraciones para la interpretación de resultados

La información extraída de AIMA muestra que el 98% de los municipios de Andalucía presenta una tendencia de mortalidad significativamente decreciente o estable en todos los grupos de edad y sexo. Para la mayoría de municipios, esta tendencia converge progresivamente con

la tasa de mortalidad española. En 2008, para todos los grupos de edad inferiores a 65 años no hubo evidencias significativas de un exceso de mortalidad con respecto a España en más del 93% de los municipios. En los grupos de edad superiores a 65 años, los municipios situados al oeste de Andalucía mostraron un exceso de mortalidad masculina y femenina estadísticamente significativo que se mantiene desde 1981, aunque el número de municipios de estas características disminuye progresivamente.

Debido al diseño ecológico, no es fácil encontrar una explicación a estos resultados. A pesar de su popularidad, este tipo de análisis presenta algunas limitaciones que deben ser tenidas en cuenta para interpretar correctamente los resultados obtenidos en éste y en cualquier otro estudio epidemiológico de áreas pequeñas.

Por un lado, las técnicas estadísticas utilizadas permiten describir la distribución geográfica de la mortalidad, pero no explicar las diferencias observadas entre áreas. Al tratarse de datos agregados, el nivel de

exposición a cualquier factor de riesgo de las personas fallecidas y no fallecidas es desconocido. Además, no es posible conocer si los individuos que residen actualmente en un municipio han vivido en él la mayor parte de la vida expuestos a factores de riesgo del entorno, por lo que toda hipótesis que sugiera una relación entre el exceso de mortalidad observado en algunas áreas y las desigualdades sociales, uso de servicios de salud o exposiciones medioambientales de los individuos podría incurrir en la conocida falacia ecológica.

Por otra parte, en los estudios epidemiológicos de áreas pequeñas es habitual que exista un sesgo de información asociado a migraciones irregulares que no son registradas por los sistemas oficiales de información. Estudios realizados en España muestran que entre un 17% y un 84% de las defunciones asignadas a algunos municipios corresponden a personas que no estaban empadronadas en ellos. Estas deficiencias en los sistemas de información causaron errores importantes en la estimación de las tasas de mortalidad. Errores de este tipo no sólo se han detectado en estudios de mortalidad. También las investigaciones realizadas sobre ingresos hospitalarios, incidencia de cáncer y otros indicadores de salud han mostrado alguna deficiencia en los registros de información. Así, el 24% de los ingresos que se produjeron durante ocho meses en un hospital del sur de España correspondía a pacientes que residían en la ciudad pero no estaban empadronados en ella, por lo que la tasa de ingresos hospitalarios por 100.000 habitantes estaba sobreestimada.

Desde 1975, la clasificación de las defunciones en España se realiza por lugar de residencia y no por lugar de fallecimiento. Actualmente no existe ningún estudio en Andalucía que evalúe la calidad de la cumplimentación del municipio de residencia y la causa de muerte en el Boletín Estadístico de Defunción, de manera que es

necesaria una especial prudencia al interpretar mapas de mortalidad, realizar estudios de correlación geográfica entre indicadores o formular hipótesis sobre las causas implicadas en las diferencias de mortalidad entre áreas geográficas. En ocasiones, las desigualdades en salud observadas en estudios epidemiológicos de áreas pequeñas pueden ser sólo una consecuencia de flujos migratorios irregulares no controlados en las cifras oficiales de población.

## 6. Conclusiones

Actualmente, la disponibilidad de potentes Sistemas de Información Geográfica (SIG), el desarrollo de sofisticados modelos estadísticos y su implementación en sistemas informáticos, ha facilitado el análisis espacial de la información y la elaboración de mapas con el propósito de conocer la distribución geográfica de los recursos, necesidades y demandas sanitarias de la población e identificar agrupaciones de defunciones o casos de enfermedad.

Los atlas dinámicos aportan un conocimiento actual de la distribución geográfica y evolución temporal de las principales causas de muerte, mejorando sustancialmente la información aportada por los atlas estáticos convencionales. Los mapas interactivos de AIMA evidencian que existen causas de muerte con patrones geográficos muy diferentes dependiendo del año, grupo de edad y sexo analizado, sugiriendo que no siempre es adecuado utilizar periodos de tiempo con años agregados o trabajar con indicadores resumen como la razón de mortalidad estandarizada o la tasa de mortalidad ajustada por edad. El estudio de la evolución espacio-temporal de los indicadores de salud ofrece una imagen dinámica de lo acontecido en las áreas geográficas a través del tiempo, contribuyendo a la reflexión sobre el pasado, presente y futuro de la salud de la población.

## Bibliografía

Ocaña-Riola R., Mayoral JM, Sánchez-Cantalejo C, Toro S, Fernández A, Méndez C.: Atlas Interactivo de Mortalidad en Andalucía (AIMA). *Revista Española de Salud Pública* 2008; 82: 379-394.

Ocaña-Riola R. Common errors in disease mapping. *Geospatial Health* 2010; 4(2): 139-154.

Ocaña-Riola R (editor). *Atlas Interactivo de Mortalidad en Andalucía: AIMA, 1981-2006*. Granada: EASP, 2010.

Ocaña-Riola R, Mayoral JM. Spatio-temporal trends of mortality in small-areas of Southern Spain. *BMC Public Health* 2010; 10:26.