



Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Programa de Estudios Geográficos (PROEG). Universidad Nacional de Luján, Argentina. <http://www.gesig-proeg.com.ar> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 4, Número 4, 2012, Sección I: Artículos. pp. 215-238

GEOVISUALIZACIÓN AVANZADA PARA LA EXPLORACIÓN DE PATRONES Y RELACIONES SOCIO-AMBIENTALES CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: APLICACIÓN A LA CIUDAD DE MADRID

**María Jesús Vidal Domínguez¹ – Antonio Moreno Jiménez²
Rosa Cañada Torrecilla³**

Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras.
Campus de Cantoblanco. Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España.
¹mariajesus.vidal@uam.es, ²antonio.moreno@uam.es, ³rosa.canada@uam.es

RESUMEN

La exploración de patrones y relaciones espaciales, mediante procedimientos avanzados de geovisualización soportados con SIG, permite mejorar y enriquecer la comprensión de fenómenos poco perceptibles en el paisaje urbano, pero de extraordinario interés y significación para la calidad de vida, el bienestar, la justicia ambiental, las políticas urbanas y, en definitiva, para la planificación y el desarrollo social y ambientalmente sostenibles. De acuerdo con tal premisa, en esta contribución se pretende formular y examinar comparativamente distintas propuestas concretas de geovisualización avanzada para apreciar mejor las desigualdades ambientales (polución) que emergen dentro de la ciudad y sus asociaciones espaciales con áreas de distinto estatus económico.

INTRODUCCIÓN

La visualización geográfica o geovisualización está adquiriendo una singular importancia, ya que permite combinar el proceso de comunicación de la información espacial con las posibilidades de muchas nuevas tecnologías (multimedia, Internet, telefonía, etc.), a fin de lograr que este proceso sea cada vez más eficiente y efectivo (Ojeda, 2010). Su desarrollo ha ido acompasado con un entendimiento nuevo de la cartografía que ha ido evolucionando desde una “Ciencia que, a través de una serie de

técnicas y procesos, sirve para la confección y realización de mapas” (Gran Diccionario Enciclopédico Lexicultural, 1998), a lo que Taylor (1991) define como “la organización, presentación, comunicación y utilización de geoinformación de forma gráfica, digital o táctil. La Cartografía puede incluir diversas maneras de preparar la información, a fin de crear mapas y productos que expresen las relaciones espaciales”. Esta nueva definición no hace sino constatar que se están desarrollando nuevas formas de comunicación cartográfica mucho más ricas y capaces (Bosque y Zamora, 2002).

La geovisualización se define como una parcela en la que se incluye la exploración visual, el análisis, la síntesis y la presentación geoespacial de datos, mediante la integración de diversos componentes que provienen de la cartografía, la visualización científica, el análisis de imágenes, el análisis exploratorio de datos, la “GIScience”, etc. (Dykes, MacEachren y Kraak, 2005). Surge, pues, a partir de bases proporcionadas por diversas técnicas y tecnologías (cartografía, sistemas de información geográfica, tratamiento digital de imágenes y análisis estadístico de datos espaciales), amalgamadas con las contribuciones desde la visualización científica de la información..

La geovisualización juega un importante papel como elemento de intermediación entre el usuario y el ordenador, perfeccionando su interacción y facilitando así la tarea de exploración de datos, ya que en ello se emplea frecuentemente técnicas gráficas sofisticadas para descubrir estructuras en los datos. En virtud de ello están permeando todas las etapas del proceso de investigación (Buckley *et al.*, 2000, Wachowicz, 2008).

Según la ICA (International Cartographic Association), fue en 1995 cuando surgió el campo de la Geovisualización, el cual se centra (<http://geoanalytics.net/ica/>) en aquellos datos que la sociedad moderna necesita y que en gran medida contienen un componente geográfico (o, más generalmente, espacial). Los datos espaciales contienen, además, un componente temporal, por lo que presentan una estructura compleja en la que se involucra al espacio, al tiempo y a un número de atributos temáticos, los cuales plantean significativos retos para su visualización.

El uso de nuevas herramientas tecnológicas, cada vez más variadas y potentes, permite profundizar en la comprensión de los fenómenos espaciales. La percepción visual, medio habitual para la comunicación de información, se ve ampliada ahora con la “percepción multisensorial”, puesto que la visualización científica incorpora elementos como el audio, el vídeo y la realidad virtual en el proceso de exploración y análisis de la información espacial, redimensionando las posibilidades comunicacionales de los mapas tradicionales (Bosque y Zamora, 2002).

En el moderno software de geovisualización, los datos son representados usando técnicas cartográficas tradicionales basadas en el uso de colores, texturas, símbolos y diagramas, junto a recientes técnicas computacionales de animación y de visión interactiva en 3D. La geovisualización de datos en 3D se está convirtiendo en una poderosa herramienta para el conocimiento del territorio y del espacio en su totalidad, ya que es una forma de representación realista e intuitiva que muestra paisajes, fenómenos ambientales y sociales y aspectos poco observables de la realidad espacial. Los entornos en 3D permiten

y mejoran las posibilidades de interpretación y comprensión de los datos geográficos, muchas veces sumamente complejos, por parte de audiencias con desigual grado de formación. A ello contribuyen además las llamadas realidades semivirtuales, gracias a las presentaciones multimedia, la utilización del audio, video, imágenes, páginas web o múltiples formatos, que aportan una dosis mayor de información al propio escenario en 3D.

De todas las herramientas que pueden ser empleadas en la geovisualización conviene destacar la animación, la cual se está convirtiendo en un componente esencial en los procesos multimedia, ya que introduce el movimiento en los documentos presentados. La noción de animación se ha hecho común a partir de la invención del cine, y luego del video y de la televisión, tal como cada día el espectador ve desplazarse, entre otros, los mapas del tiempo. Para Vasiliev (1997) un mapa animado proporciona una imagen en movimiento de la información geográfica, que puede ser además a través del tiempo; otros autores como Peterson (1994) insisten en que debe ser una representación de cambios a partir de una serie de mapas sucesivos. La noción de cambio es esencial en este contexto y se referiría al contenido, posición o tiempo. Además se pueden exhibir las interrelaciones entre diversos componentes, de manera que el flujo de imágenes distintas se suceda en una secuencia lógica que el ojo pueda percibir (Cauvin, Escobar, Serradj, 2008b).

Todos estos cambios en la geovisualización se engloban en la llamada “revolución multimedia”, característica del actual contexto social y cultural. En efecto, el público está acostumbrado a ver las imágenes, los gráficos, los mapas del tiempo, etc., a través de múltiples medios de comunicación. El mapa debe reflejar estos cambios e, independientemente del destinatario, lograr una presentación y difusión de la información geográfica de manera atractiva e intuitiva, para facilitar una comprensión rápida y simple. Resulta, pues, necesario explotar a fondo esas nuevas herramientas, ya que bien articuladas pueden conducir a una representación multimedia eficaz y atractiva, con múltiples posibilidades y adaptable según el destinatario. La visualización de datos espaciales no está ya limitada tanto por la tecnología y la pregunta esencial se convierte en la siguiente: ¿cuál es el medio más adecuado para la tarea emprendida? (Cauvin, Escobar, Serradj, 2008b).

En este nuevo contexto de producción, distribución y consumo de geoinformación, los antaño diseñadores de mapas y ahora de productos cartográficos, o más exactamente de geovisualización, se enfrentan a dos retos: uno, el de comunicar mejor visualmente, basándose en los mejores recursos; y otro, el de hacerlo a unos destinatarios más amplios y variados, lo que vislumbra su diferenciación como segmentos de mercado, esto es, grupos con necesidades, capacidades e intereses distintos en cuanto a geoinformación consumible. De esta manera, los expertos han de concienciarse de que su labor de diseñadores de productos visuales de geoinformación debe avistar centralmente el cómo satisfacer mejor las demandas (a menudo latentes) de tales productos.

En esa línea un frente de especial relieve es la que hace ya un tiempo está siendo objeto de atención tanto teórica, como técnica y empíricamente, por parte de diversos investigadores (vid. Wachowicz *et al.*, 2002, 2005 y 2007; Hunter *et al.*, 2003) bajo el

concepto de “usabilidad”, entendida de esta manera (International Organisation for Standardisation, 1998, cit. en Hunter, 2003, p. 82):

“System usability comprises the extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use where:

- *Effectiveness measures the accuracy and completeness with which users achieve specified goals;*
- *Efficiency measures the resources expended in relation to the accuracy and completeness with which users achieve goals; and*
- *Satisfaction measures the freedom from discomfort, and positive attitudes towards the use of the product.”*

OBJETIVOS

En línea con estas consideraciones preliminares, y sobre la base de las premisas establecidas en la tradición reciente de estudios teórico-metodológicos sobre geovisualización, en este artículo se presenta una parte de los resultados de una línea de investigación académica más amplia sobre evaluación de la justicia ambiental (*vid.* Moreno, 2007, 2010; Moreno y Cañada, 2007; Cañada, Vidal y Moreno, 2011). Con este trabajo se trató de concretar y comparar, mediante diversos ensayos, formas alternativas de geovisualizar los patrones y relaciones espaciales implicados en las inequidades ambientales. Al respecto el acento se ha puesto en reflexionar sobre ciertas claves del proceso de diseño de mapas finales para tal fin, en fundamentar y explicitar los criterios de las decisiones adoptadas y en valorar los resultados obtenidos desde el punto de vista de la usabilidad.

De manera más concreta los objetivos son:

- Ensayar y proponer diseños para la geovisualización de ciertos patrones y relaciones espaciales que permitan a ciertos públicos (expertos, decisores, ciudadanos, estudiantes) una aprehensión y valoración más efectiva, nítida, intuitiva, rigurosa y penetrante de la realidad social y ambiental urbana. Esto es, se busca plantear vías para profundizar en aspectos espaciales de la sociedad y del territorio (las inequidades ambientales), difíciles de interrelacionar.
- Desvelar la lógica aplicada al diseño y lectura de productos y expresiones cartográficas buscando una comprensión visual de la interacción hombre-medio por parte de los usuarios.
- Proponer usos y valorar potencialidades de la visualización con software SIG en diversas líneas: alta divulgación científico-geográfica, formación de decisiones, enseñanza, difusión entre ciudadanos implicados y cualificados.

- Experimentar las funcionalidades del software SIG para estos fines. Al respecto, y junto a mapas estáticos en 2D y 3D, se ensayará la visualización de mapas animados, particularmente la conocida como animación temática, en la que los componentes espaciales están inmóviles, el atributo es variable y el tiempo puede ser variable o estático (Cauvin, Escobar, Serradj, 2008b).

En resumen se pretende aportar y valorar varias soluciones prácticas de comunicación cartográfica atingentes al relevante problema de la justicia ambiental en ámbitos urbanos, en el cual información ambiental y social debe mostrarse simultáneamente para los lugares, procurando desvelar sus patrones espaciales individuales y, a la par, sus coincidencias y divergencias mutuas.

DATOS Y MÉTODOS

Como es sabido, en el abordaje de las inequidades ambientales ha de integrarse información sobre ciertos atributos ambientales, potencialmente causantes de desigualdades, y rasgos de los entes afectables, principalmente, la población. Al respecto, y tomando como ámbito de estudio el municipio de Madrid, una metrópoli con una población (2010) de 3.284.071 habitantes, se eligió como información socioeconómica el indicador de renta familiar disponible territorializada para el año 2000 elaborada por el IECM (Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid). Ese año de estudio constituye una fecha intermedia dentro del período considerado para los datos de polución (*vid. infra*). Las unidades estadísticas más desagregadas espacialmente disponibles para dicho indicador son las secciones censales, según la delimitación espacial establecida para el padrón de 1996. Dichas unidades de análisis no son compatibles con las obtenidas para los datos ambientales, por lo que la capa vectorial de secciones censales de 1996, conteniendo los datos de renta per cápita 2000, fue convertida a ráster, adoptando píxeles de 50 m de resolución, para lograr una compatibilidad que garantizase los ulteriores tratamientos analíticos.

La información ambiental proviene de la Red Automática de Vigilancia de la Calidad Atmosférica del Ayuntamiento de Madrid (25 estaciones desplegadas por diversas zonas de la ciudad). El periodo seleccionado ha sido 1997-2006 y el indicador utilizado el número de días con concentraciones de PM₁₀ superiores a 50 µg/m³. Ese valor límite diario para las PM₁₀ no debe rebasarse más de 35 días al año, según la normativa, para preservar una adecuada protección de la salud de los ciudadanos. Como es sabido, este contaminante es uno de los más utilizados en los informes sobre calidad y salud de la OMS, de la Agencia Europea de Medio ambiente (AEMA), del Programa APHEIS (Contaminación atmosférica y Salud: un Sistema de Información Europeo) y, en general, en todos los informes que se elaboran sobre calidad del aire.

Como cartografía digital básica se ha usado la del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, en particular, las delimitaciones del Censo de Población y Vivienda del año 2001 para los distritos municipales, núcleos de población y término municipal. En lo

relativo al ámbito estricto de estudio, se consideró adecuado acotarlo al espacio ocupado por los núcleos de población, según se definieron en el Censo de Población y Vivienda de 2001, por constituir el escenario donde mayoritariamente transcurre la vida de los madrileños, desechando los restantes territorios periféricos no urbanizados.

Por lo que respecta al indicador ambiental, inicialmente por estaciones, se realizó una estimación para todo el ámbito de estudio, mediante un método de interpolación determinista y exacto, la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW-PID) (vid Cañada, 2007 y Cañada, Vidal y Moreno, 2011). La capa obtenida se ha transformado a ráster con un tamaño de celda de 50 m. para hacerla compatible con la del estatus económico.

Como tecnología para esta labor se ha utilizado del programa ArcGIS el módulo ArcMap, al objeto de realizar los mapas temáticos en dos dimensiones, tanto los de tipo ráster como los vectoriales, y el módulo ArcScene para todas las representaciones tridimensionales, buscando explotar sus sobresalientes prestaciones para generar resultados visuales eficaces y, eventualmente, novedosos.

LA LÓGICA DE LAS DECISIONES METODOLÓGICAS Y TÉCNICAS

Consideraciones de cara al diseño de productos de geovisualización

El primer aspecto considerado en nuestra búsqueda de representaciones fue la **dimensión de los datos y de los productos** obtenibles. Los geodatos disponibles, que solo cuentan con coordenadas planas (UTM) más unos atributos, sociales o ambientales (y no de la coordenada vertical z), resultan directamente aptos para cartografía en 2D, por lo que este tipo de mapas ha sido una de las categorías ensayadas. En esta dirección la problemática a solventar estribó en cómo visualizar simultáneamente atributos superpuestos con una aceptable legibilidad y efectividad comunicativa. Adicionalmente, y como es conocido, la visión en perspectiva 3D de tales geodatos es factible mediante las operaciones de extrusión ofrecidas en diversos programas. Aunque en rigor se trata de datos calificables como 2,5D, la visualización simulada de esos atributos o superficies, a modo de “falsa 3D”, abre unas interesantes oportunidades para la exhibición simultánea de varias de tales superficies. En cierta medida, la inexistencia de la coordenada z real conlleva una mayor libertad para el diseñador de mapas como los aquí buscados, por cuanto puede prescindir de la rigidez que impondría esa altitud forzada y centrarse en la transmisión de mensajes compuestos (i.e. varios atributos de los lugares) con extrusiones a conveniencia, aunque despojadas de connotación absoluta en la 3D. En resumen, y puesto que bajo los modelos ráster y vectorial se dispone de atributos diversos manejables como valores de pseudo-Z por cada píxel u objeto geométrico, es asunto fácil crear la representación tridimensional con tales datos recurriendo a extrusiones y factores de conversión a discreción.

Por tanto, desde esta perspectiva de los datos aquí empleados se optó por explorar la construcción de mapas en 2D y en 2,5D o falso 3D, aunque la visión y la percepción de estos últimos sea en un entorno 3D simulado (Cauvin, Escobar, Serradj, 2008b).

Otro aspecto fundamental que se abordará atañe a los **destinatarios** de estos productos de geovisualización, es decir ¿a quién van dirigidos? La orientación de las composiciones geovisuales hacia el mercado, esto es a los usuarios finales, resulta en nuestra sociedad cada vez más crucial, si se pretende que la utilidad de los mapas se materialice. Sólo en la medida en que los productos sean usables óptimamente por los destinatarios se acercarán con mayor probabilidad al logro de sus utilidades máximas. Aunque cabe postular la existencia de una amplia gama de segmentos en el mercado de usuarios de mapas, a nuestros efectos aquí resulta pertinente diferenciar los siguientes:

- Expertos (técnicos, profesionales, investigadores y profesores). Se trata de personas altamente cualificadas en “graphicacy”, lo que se traduciría en una habilidad para interpretar y generar información en forma de gráficos, incluyendo en ella la cartografía. La geoinformación elaborada se usa para estudio (investigación) y como soporte de decisiones espaciales, socioeconómicas y ambientales. Como implicación cabría señalar la conveniencia de maximizar el rigor en el mensaje (e. g. si en un mapa es posible no utilizar intervalos para no distorsionar el mensaje original de los datos ello sería preferible, aún a costa de una mayor complejidad del producto visual).
- Decisores (políticos, personal de administración y gestión, agentes que trabajan en sectores socioeconómicos). Su nivel de aptitud lectora de mapas puede ser variable, aunque a menudo quepa presumirla como media, por lo que serían más proclives a mensajes cartográficos con cierta simplificación, facilidad y rapidez en la percepción. El escaso tiempo del que disponen los decisores, junto con la transcendencia de las opiniones que se forjen a partir de los mapas demanda una elaboración cuidadosa, para ayudar a una comprensión pronta.
- Estudiantes universitarios. Conforman un grupo singular, por su vocación de especialistas, pero en formación, que han de asimilar la apariencia y el trasfondo de las composiciones cartográficas, dedicando esfuerzo técnico y reflexión crítica. Por tal motivo, y asumiendo su progresiva cualificación, son destinatarios de productos de un nivel de complejidad-simplicidad variables.
- Públicos participantes en procesos de decisiones colectivas (información pública): Aunque potencialmente heterogéneos, cabe presumir una dominante necesidad de mensajes claros, simples y atractivos, de cara a facilitar su entendimiento y posicionamiento ante los diagnósticos y propuestas contenidos en los mapas. Por ejemplo, para estos destinatarios sería imprescindible usar intervalos y describirlos en la leyenda de manera verbal.
- Alumnos de educación primaria y secundaria. En el caso de este segmento (internamente heterogéneo), por su situación en un proceso de maduración

intelectual, parece natural reclamar que la usabilidad se sustente en una simplicidad y atractivo elevados, de suerte que motiven a su lectura e interpretación.

Técnicamente se pueden diferenciar distintos **componentes y aspectos en la visualización gráfica**, tanto para gráficos como para cartografía, que orientan la adecuada realización de los mismos. Los estándares son diferentes si se trata de cartografía en dos o tres dimensiones. No obstante en todos los tipos de cartografía coinciden una serie de elementos comunes. Serían éstos:

- Tipo de mapa, breve descripción.
- Composición general: jerarquía, composición visual, diseño y análisis de los datos.
- Legibilidad general: valoración global: título y textos complementarios.
- Diferencias visuales según destinatario.
- Valoración de los resultados según destinatario.

Adicionalmente hay un conjunto de ítems, que son específicos para cada tipo de mapa y son:

- Visualización de mapas en 2D: legibilidad general: leyenda, sistema de proyección, orientación, escala numérica y escala gráfica.
- Visualización de mapas en 3D (una sola capa): valoración global: iluminación, sombras; recorridos: análisis de los vuelos.
- Visualización de mapas en 3D (dos o más capas simultáneamente): valoración global y visualización estática: solapamientos, transparencias, iluminación, sombras, interacciones verticales e interacciones de vecindad. Visualización dinámica (los vuelos virtuales): recorridos y su análisis.

En cuanto a la **conducta del usuario** al inspeccionar patrones y relaciones espaciales, resulta muy pertinente esclarecer la manera como los usuarios habrían de examinarlos de cara a obtener una captura del mensaje visual contenido en el mapa. A nuestros efectos, y por lo que respecta al examen de patrones individualmente (i. e. la distribución espacial de un fenómeno), la operación del lector habría de implicar un barrido sistemático de la imagen para detectar, en el caso de variables cuantitativas, dónde se sitúan los valores altos, medios o bajos; ello requeriría al menos la consulta previa de la leyenda para identificar la correspondencia valores-símbolos. Una valor añadido superior se podría lograr a través de inducir, o desvelar con alguna ayuda descriptivo-interpretativa complementaria, los rasgos de ese patrón (e. g. la configuración geométrica del mismo y su posible significación).

En el caso del examen de relaciones entre dos fenómenos (e. g. representados en sendas capas de un SIG) la tarea de lectura, tras una primera fase de examen individual de cada uno, habría de abordar la comparación entre ambos. La mecánica de la comparación se desplegaría entonces de maneras varias, dependiendo del tipo de composición cartográfica diseñado. Esto es, según se organicen los contenidos cartográficos, se requerirán formas de procesamiento visual / mental distintas. El desarrollo de esa labor naturalmente se verá facilitado o dificultado en virtud de los diversos aspectos de simbolización y contextualización espacial que las composiciones cartográficas incorporen. Su consideración pormenorizada se realiza en el siguiente apartado.

Las propuestas de geovisualización: productos, rasgos y destinatarios

Nuestro estudio avista a determinar patrones espaciales en 2D y en 3D (con información en 2,5D) basados en capas simples de datos originales y de datos transformados mediante interpolación, a explorar estáticamente relaciones espaciales multi-capas y a identificar la contribución a ese mismo fin de los vuelos virtuales. En general, en esta parte se tratará de desarrollar pautas de elaboración de algunos productos de geovisualización efectivos desde el punto de vista de la comunicación, considerando diversos aspectos técnicos del diseño, su justificación y los potenciales destinatarios de los resultados.

Yuxtaposición de mapas en 2D

La composición cartográfica se podría basar en la conocida yuxtaposición lateral de mapas de color, utilizando distintos criterios para la simbología: una variable sin intervalos, otro de isopleas y un último de coropleas (vid. figura 1: A, B y C). Los mapas 1 A y C utilizan la misma variable, número de días con concentraciones de partículas PM_{10} superiores a $50 \mu g/m^3$, pero simbolizada de manera diferente: en el primero se representa la variable sin intervalos, de forma graduada y el tercero es de isopleas, distribuyéndose la variable en clases a las que se asocia un color. El segundo mapa (figura 1B) es de coropleas y representa la variable renta per cápita (en €) del año 2000. Se ha añadido la capa de polígonos de los distritos municipales como elementos localizadores para la comparación entre mapas.

Los tres mapas poseen una composición visual jerarquizada, debido al empleo de colores graduados sobre los mapas, que dan una sensación de orden; este hecho se nota más claramente en las figuras 1B y C que en la 1A, cuya graduación es más exacta al no emplear intervalos, pero más difícil de discernir. Los tres mapas contienen los mismos elementos primarios y secundarios que le dan un aspecto equilibrado y armonioso.

En cuanto a utilización de paletas de color, después de diversas pruebas y atendiendo al fin que se persigue, se decidió por una gama de color monocromática en tonos marrones que varían desde el amarillo hasta el marrón oscuro, pasando por tonos ocre y anaranjados, la variabilidad del color depende del número de intervalos. Una vez asignados los colores a los mapas, éstos se pueden modificar de maneras distintas para adecuarlos mejor a los objetivos.

La legibilidad general de los mapas es similar, pues éstos no contienen un gran número de elementos; aparecen exclusivamente la leyenda, la orientación y la escala gráfica. Se han obviado otros posibles, dado que el objetivo de este trabajo se centra principalmente en aplicar una metodología para mejorar la percepción cartográfica y una excesiva carga sobre el mapa dificulta la misma. De acuerdo con ese criterio, la legibilidad general resulta buena, la leyenda de los tres mapas aparece clara y los tipos y tamaños de letra empleados permiten una fácil lectura. De los otros dos elementos secundarios, en la orientación se ha escogido un símbolo simple, de un tamaño adecuado al resto y que no distorsione la armonía general, y para la escala gráfica se ha buscado una forma de representación sencilla y precisa.

La aprehensión de los patrones de cada variable con este tipo de mapas resulta bastante directa y ágil. La comparación entre las dos variables (1A y B o bien 1B y C) exige un barrido sistemático regular, con un movimiento ocular horizontal, que compare colores / valores en pares de lugares razonablemente identificados en ambos mapas. Ello supone un esfuerzo mecánico algo tedioso y generador de cansancio, lo que eventualmente podría desmotivar al lector.

Dadas las diferencias visuales que exhiben, los mapas de la figuras 1B y C resultarían bien legibles para cualquier individuo, esté formado o no, ya que, al estar divididas las variables en clases o en intervalos mediante colores graduados, se identifican y asocian con facilidad los lugares en los que hay más o menos días con altas partículas o más o menos renta per cápita. El mensaje plástico está simplificado y ello demandaría menos esfuerzo en la comparación espacial. Por su parte, el mapa 1A supone que la trasposición de los valores a una paleta de color sin intervalos genera una mayor exactitud y menos imposición o distorsión artificial por parte del diseñador; a cambio la distinción entre zonas se difumina. Ello requeriría de un público más formado, pues esa simbología implica unos conocimientos que superan el mero hecho de conocer por la rampa de color los distritos que tienen más o menos concentración de partículas.

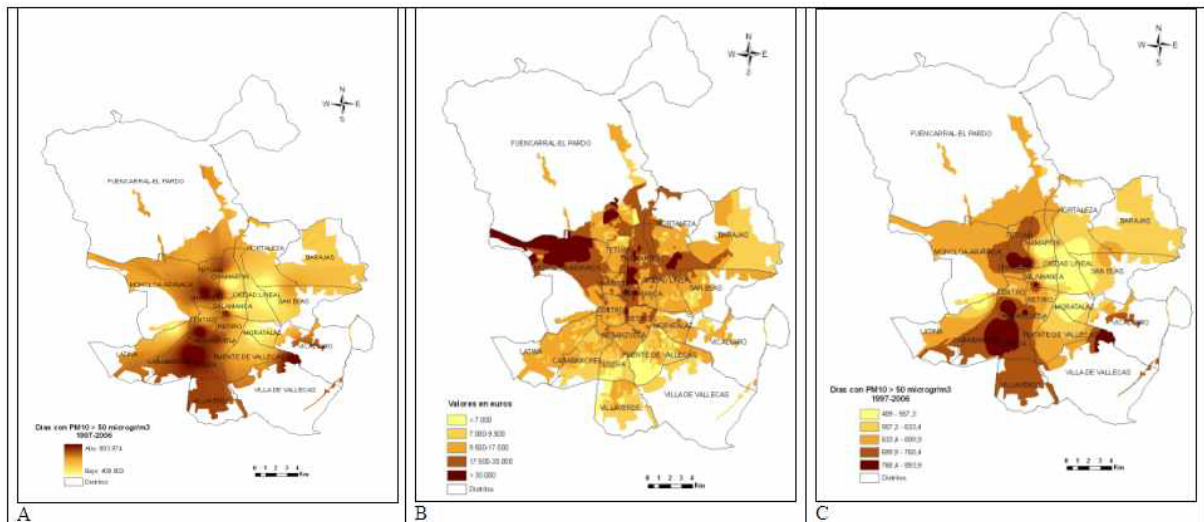


Figura 1. A) Mapa de número de días con altas PM_{10} sin intervalos; B) Mapa de coropletas de renta per cápita; C) Mapa de número de días con altas PM_{10} de isopletras. Elaboración propia.

Para concluir, en la propuesta de la figura 1 el mapa A podría estar destinado a un mercado primario formado por expertos, mientras que los mapas de las figuras B y C serían más aptos para un mercado más amplio, que incluyese a usuarios menos versados en lectura de mapas y análisis espacial.

Una variante de la propuesta anterior es la que se muestra en la figura 2. Se trata de los mismos mapas, pero con una paleta de colores distinta; en el conjunto anterior era una gama monocromática en tonos marrones y en ésta se usa una paleta dicromática / bipolar que va del verde (valores más bajos) al rojo (valores más altos), con un tono intermedio amarillo. Se podría colocar a la inversa, es decir, que los rojos se asociasen a las cifras más bajas y los verdes a las más altas, dependiendo del objetivo buscado por el diseñador.

Respecto a los principales elementos del mapa se puede decir que son los mismos que en el conjunto de la figura anterior, por lo que se van a resaltar los aspectos que no son coincidentes. Siguen teniendo una composición jerarquizada, porque se utiliza colores graduados, pero al incluir un tono en la transición tan contrastado, no es tan equilibrado y armonioso como en los primeros. El diseño es más atractivo que en los preliminares, porque los colores empleados son más sugerentes, por lo que se distinguen más fácilmente; los rojos, los verdes, el mismo amarillo atrapan más la atención del lector, si bien no son de interpretación directa. En efecto, el empleo de una gama dicromática hace imprescindible la lectura de la correspondiente leyenda asociada al mapa. La correspondencia color-valor establecida por el diseñador puede no ser de comprensión directa por el lector, por lo que el empleo de gamas dicromáticas requiere más cuidado y una finalidad bien definida. Adicionalmente, y como es bien sabido, esos realzados contrastes hacen que el mensaje casi dicotómico altos-bajos pueda ser aprehendido con mayor nitidez. La impresión mental de contraposición cromática y el efectismo exacerbado que de ello se deriva estimularía la formación de juicios de valor más categóricos y radicales (incluso eventualmente “maniqueos” y manipulables) sobre los fenómenos representados.

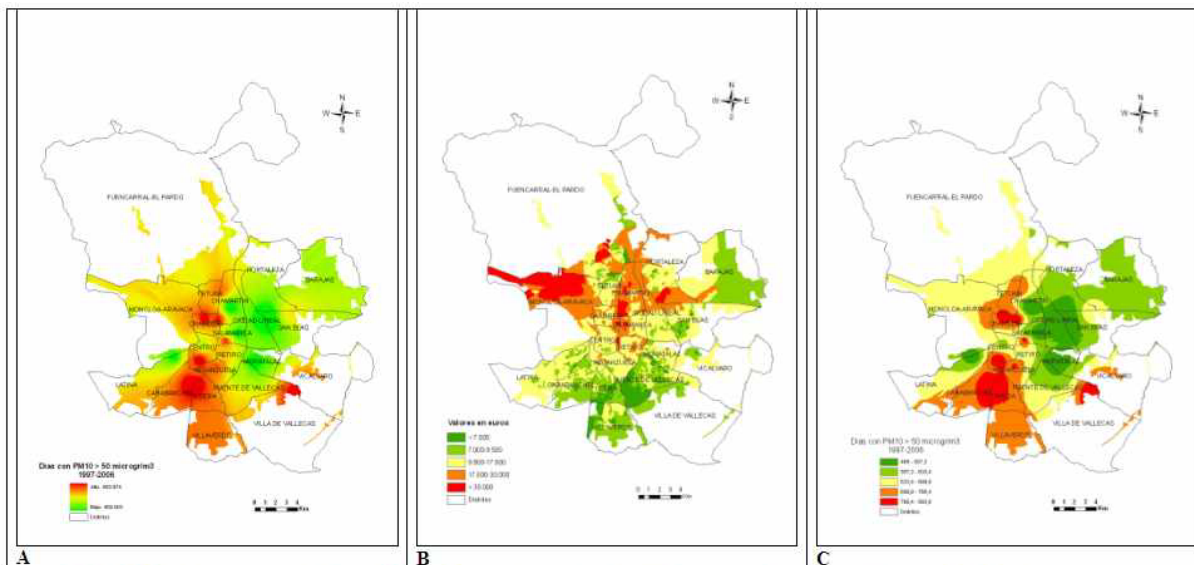


Figura 2.: A) Mapa de número de días con altas PM₁₀ sin intervalos; B) Mapa de coropletas de renta per cápita; C) Mapa de número de días con altas PM₁₀ de isopletas. Elaboración propia.

A tenor de lo expuesto, se podría colegir que, con respecto a los mapas de la figura 1 previa, este tipo de representación propendería a formar apreciaciones claras y simples, lo que resultaría idóneo para destinatarios poco proclives al esfuerzo de lectura de mapas (por razón de dedicación, tiempo o cualificación). La percepción por lectores no expertos se vería facilitada naturalmente si la leyenda incluyese una calificación verbal (junto con los valores numéricos), por lo que públicos amplios (ciudadanos, escolares, etc.) podrían ser sus consumidores.

Mapas 2D con variables o capas superpuestas

Con este tipo de propuestas se trata de mostrar las ventajas y las dificultades de productos de geovisualización más complejos; en este caso, en la composición se van a emplear como base, el mapa de coropletas de la renta per cápita, y superpuestos, en un caso, una capa de isopletas, y en el otro, de isolíneas con la variable número de días con concentraciones de partículas PM₁₀ superiores a 50 µg/m³.

Capas superpuestas representadas con coropletas e isopletas

La primera de las propuestas a comentar consiste en la superposición de una capa de coropletas (renta per cápita) y otra de isopletas (PM₁₀ superiores a 50 µg/m³). En la composición general del mapa (ver figura 3) se aprecia en las dos variables una distribución ordenada y jerarquizada. En el caso de la capa de coropletas por el empleo de una gama monocromática en tonos marrones y en la capa de las partículas, además de ser monocromática en colores verdes, están jerarquizados el grosor de las líneas que forman la malla y la propia trama. La combinación de colores de la capa base en tonos marrones y de la superior en colores verdosos ha sido resultado final, tras un cuidadoso examen de otras combinaciones. La composición visual resulta equilibrada, estética y compensada.

En este tipo de mapas la etapa inicial de la lectura, orientada a la aprehensión de los patrones individuales de cada variable, implicaría una abstracción mental para filtrar la simbología, primero de una variable y luego de la otra, de cara a extraer una idea clara y una interpretación de dichos patrones individualmente. Naturalmente ello precisa de un apoyo o consulta de la leyenda. Todo ello requiere cierto entrenamiento y concentración. En la segunda fase, de comparación de los dos patrones, para establecer las concomitancias o divergencias espaciales entre ambos conlleva un ejercicio visual-mental que examine los dos planos superpuestos: el que aparece como fondo y el que se sitúa encima (o en superficie). Se trata pues de un cotejo no horizontal, como sucedía en los mapas del apartado anterior, sino vertical, esto es, penetrando en profundidad. Ahora, al superponerse las dos variables en un mismo espacio cartográfico es factible concentrarse en cada zona y establecer comparaciones o diferencias con más exactitud posicional que si estuvieran cada una en un mapa independiente.

Las dos variables utilizadas aquí están categorizadas en cinco intervalos, manteniendo el mismo criterio desde el inicio de este trabajo. Ello facilita la lectura y la percepción de las asociaciones espaciales. La legibilidad general sin embargo no es tan buena como los mapas en 2D en los que se representa una única variable. Ello es así por dos razones: la dificultad de representar en un único mapa dos fenómenos y la complejidad de seleccionar unas simbologías compatibles entre sí. Ello incluso necesitó del recurso a la semi-transparencia para la capa superior. Respecto a los demás elementos que contiene no hay ninguna diferencia de valoración en relación a la de los mapas anteriores. Respecto a la leyenda aparece clara y concisa con el fin de ayudar a la comprensión del mapa.

En cuanto a los destinatarios potenciales de la figura 3 parece razonable presumir que resulta legible para cualquier individuo mínimamente motivado y manejador de cartografía, porque se percibe con facilidad la interrelación entre las variables representadas en el mapa al estar categorizadas en intervalos. Se aprecian así los espacios en los que hay más concentración de partículas y el nivel de la renta per cápita es más bajo y viceversa, aunque hay que reconocer que supone un poco de esfuerzo trabajar con este tipo de producto. Por este motivo, el mapa de la figura 3 podría estar dirigido tanto a un público formado, como a uno semi-formado, pero seguramente este es un producto al que los destinatarios pertenecientes a aquel primer grupo (mercado primario) le sacarían mayor provecho cognoscitivo que los del otro mercado secundario.

Capas superpuestas representadas con coropletas e isolíneas

La segunda de las propuestas de superposición tratada contiene un mapa con una capa de coropletas (renta per cápita) y otra de isolíneas (días con PM₁₀ superiores a 50 µg/m³). En la composición general (figura 4) se aprecia en las dos variables una distribución ordenada y jerarquizada, por el empleo de gamas monocromáticas, en el caso de la capa de coropletas en tonos marrones y en la capa de las partículas en colores violáceos, tras la realización de pruebas con diversas paletas. Ello propicia aprehender el orden de los valores subyacentes. La composición visual es más equilibrada, estética y compensada que la de la figura 3. Al superponerse dos variables en un mismo espacio permite de nuevo concentrarse en cada zona y establecer comparaciones o diferencias con

más facilidad que si estuvieran cada una en un mapa independiente, pero en este caso mejora enormemente la visualización porque el empleo de las isóneas no perturba tanto la vista de la capa inferior como las isopletas.

La legibilidad general es buena, a pesar de ser un mapa compuesto. Respecto a los demás elementos que contiene no hay diferencias de valoración en relación a la de los mapas anteriores. La leyenda resulta clara y concisa. Referente a los destinatarios, el mapa de la figura 4 resulta legible para cualquier individuo, este formado o no, porque la interrelación entre las dos variables o capas se percibe con facilidad; mediante el uso de una capa de isóneas se aprecian los lugares en los que hay más o menos concentración de partículas simplemente por el color de la líneas y además se puede asociar a un determinado valor; lo mismo sucede con la capa del nivel de la renta per cápita. Por tanto se puede distinguir con claridad si la concentración de partículas baja o alta coincide con rentas per cápita similar o viceversa. Esta forma de visualización facilita, pues, bastante el análisis comparativo.

A nuestro entender el mapa de la figura 4 podría estar dirigido a públicos tanto muy formados como menos formados, pues independientemente del grado de reflexión de cada individuo ante ese mensaje plástico, el producto permite una percepción limpia y clara, siendo fácil abstraer cada una de las capas individualmente, así como confrontarlas. En suma, a nuestro entender, posee una eficacia comunicativa elevada y superior a la de la figura 3, tanto de los valores de cada capa, como de las coincidencias/divergencias entre los patrones de ambas.

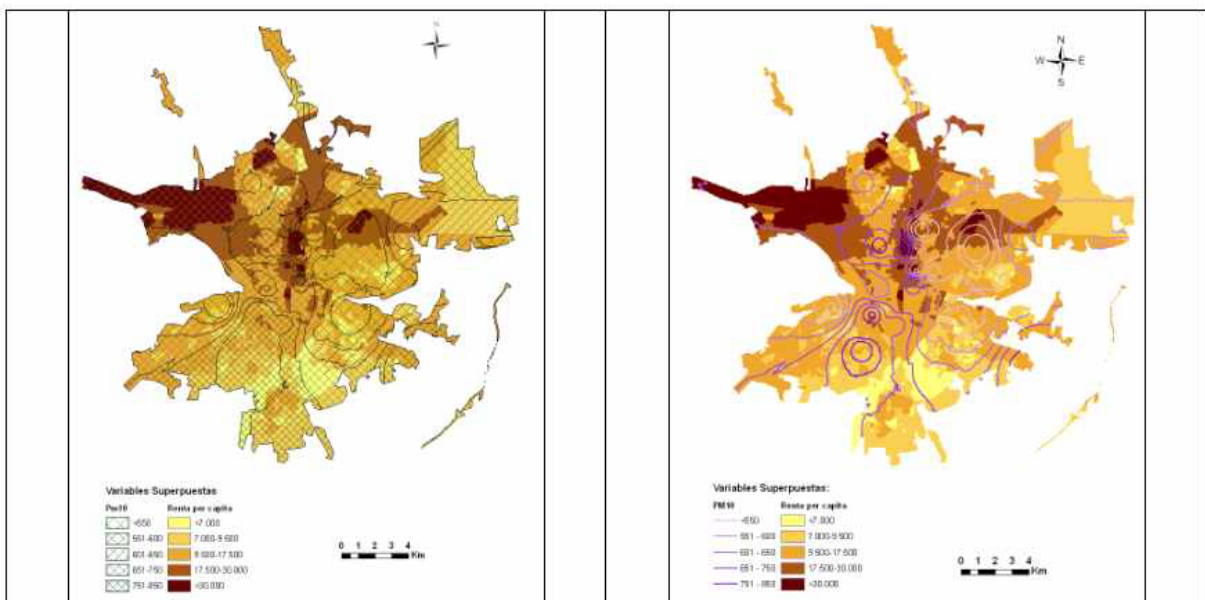


Figura 3. Mapa con superposición de capas de coropletas (renta per cápita) e isopletas (días de alta polución por partículas). Elaboración propia.

Figura 4. Mapa con superposición de capas de coropletas (renta per cápita) e isóneas (días de alta polución por partículas). Elaboración propia.

Vistas estáticas de varias capas en perspectiva 3D

Los mapas tridimensionales son productos de geovisualización complejos, no solo por lo sofisticado del software, que encarece el producto, sino por la preparación que exige su realización. En los casos que a continuación se presentan se va a utilizar como base el mapa de coropletas de la renta per cápita y superpuesta una capa con la “topografía” del número de días con concentraciones de partículas PM_{10} superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Adicionalmente se incluye la delimitación de distritos con fin contextual. Los ensayos expuestos incluirán una tercera capa, en un caso, de isolíneas y en otro, de puntos, con símbolos graduados y en ambos casos utilizando la variable número de días con concentraciones de partículas PM_{10} superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vista 3D de una capa de coropletas y de otra de polución extruída

El primer caso a comentar es un mapa tridimensional formado por dos capas estáticas en perspectiva a distinto nivel: en la base se sitúa el mapa de coropletas de la renta per cápita y en la superior el mapa de superficie interpolada formado con el número de días con concentraciones de partículas PM_{10} superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 5). Como en propuestas anteriores, sobre ambas se ha colocado el contorno de los distritos de la ciudad de Madrid para ayudar a establecer la correspondencia espacial entre capas. Nótese que en el mapa de coropletas la capa de los distritos ocupa toda su extensión real, mientras que en la capa de polución (la superior) los distritos quedan circunscritos al interior de la zona poblada (opción determinada por el software).

En estos mapas en los que las capas son estáticas la distancia entre ellas es una de las cuestiones importantes a solventar, pues al ser elegible la posición del observador (en altura y en orientación), la separación entre capas va a facilitar una mejor o peor geovisualización (por posible ocultación), al tiempo que la orientación elegida puede generar desconcierto en el lector. En este caso, tras ensayar, se ha decidido una distancia que posibilitara la visualización general, facilitando el análisis y la comparación entre ellas y una vista desde el SSE, poco alejada de la convencional en los mapas. Lamentablemente ArcScene no permite incluir un símbolo de la orientación.

La composición general parece buena a simple vista y los mapas son atractivos y muy llamativos para el lector. Se mantiene clara la jerarquía debido a la utilización de los colores en una serie monocromática en el caso de la renta y dicromática para la variable de la concentración de partículas. Sin embargo, debido al movimiento de oscilación y rotación del mapa en las vistas 3D, la composición visual sufre de cierta descompensación, a lo que se añadiría que no todas las personas perciben lo mismo en mapas idénticos, lo que afectaría a la deseable apreciación homogénea por todos los destinatarios.

Por tratarse de una visualización estática se ha buscado minimizar los solapamientos entre capas al máximo, sin que la distancia fuera muy grande y dificultara una visión integrada de los dos fenómenos analizados. Por tal razón no ha hecho falta

aplicar transparencia en la capa superior. Sin embargo, sí se ha iluminado la escena colocando el azimut en 315°, entre el norte y el oeste.

Se ha adoptado para la capa de polución una ligera exageración vertical, en aras de mejorar la visualización y sobre todo la comparación entre capas. Este aspecto del levantamiento es otro de los que requieren una digresión aparte. Las capas con el programa ArcScene se pueden elevar utilizando varios métodos en función del tipo de capas y sus componentes, aquí se ha utilizado el de extrusión. Un riesgo de esta operación es adoptar una excesiva exageración para que se vea mejor, pero ello puede generar una distorsión perceptual, máxime si se tiene en cuenta que no se trata de una topografía a escala, sino un fenómeno 2,5D representado como falso 3D. Por ello, en este caso, se optó por una extrusión reducida que conduce a suaves “lomas” y “depresiones”, con lo que se aprecian muy bien las diferencias cuantitativas de la variable en el espacio y se puede comparar aceptablemente con la variable representada en la base.

En cuanto a la legibilidad de la composición por los destinatarios parece evidente que, pese al efectismo, la correcta interpretación del mapa no es fácil para cualquier observador. Cabe presumir que cuantos más conocimientos tenga el mismo mayores resultados obtendrá y que un usuario poco formado alcanzará unas conclusiones más pobres en comparación. Ambos apreciarán el producto como algo novedoso en términos generales, en incluso espectacular. La percepción de los patrones por separado no resultaría difícil (con la salvedad de las ocultaciones), sin embargo, la comparación entre ambos implica movimientos óculo-mentales verticales, pero realizados según un plan de desplazamientos laterales y en profundidad (primero, segundo, tercer... plano). Por tal motivo, y en cuanto a usuarios potenciales, cabe presumir que el mercado más directo sería el de profesionales y estudiosos que posean un aceptable nivel de aptitud cartográfica. Para otros públicos menos versados, el logro de una comprensión aceptable (no superficial) probablemente requeriría de explicación y ayuda, por ejemplo por parte de un experto.

Vista 3D de capa de coropletas asociada con isolíneas y de polución extruída

La segunda propuesta es algo más compleja, se trata de una vista tridimensional formada por tres capas estáticas en perspectiva a distinto nivel: la base está formada por un mapa de coropletas de la renta per cápita y en la parte superior se ubica la capa interpolada con el número de días con concentraciones de partículas PM_{10} superiores a $50 \mu g/m^3$ (figura 6). Sobre el mapa de coropletas basal se sitúa una tercera capa de isolíneas de PM_{10} , que puede interpretarse como una proyección selectiva de la capa superior sobre la inferior. Hay pues una intencionada redundancia informativa.

Como en la propuesta anterior las capas son estáticas y la distancia entre ambas se mantiene siguiendo el mismo criterio aplicado a la figura 5. La incorporación de una nueva variable no perturba la composición, pues al ubicarse ésta sobre el mapa de coropletas no enmascara la visualización de esa capa basal; adicionalmente se ha utilizado la misma gama cromática que la capa superior (“topográfica”) para facilitar la interrelación e interpretación.

La composición general es mejor que la del mapa de la figura 5, es mucho más llamativa para los usuarios; además presenta una clara jerarquización en las tres variables en las cuales se emplean tonos monocromáticos en el caso de la renta y dicromáticos para las capas de relieve (superior) y de isolíneas, relativas ambas a la variable de concentración de partículas.

Se podría temer que la introducción de una tercera capa dificultaría la expresividad cartográfica, pero ello no parece ser así. En efecto, la capa de isolíneas, por su simbología consistente con la de la capa superior, coadyuva decididamente a facilitar la búsqueda y valoración de relaciones entre los dos niveles de la composición, al permitir ubicar con mejor exactitud los valores de polución en ambos niveles. En resumen, la mayor densidad informativa resulta más exigente de concentración por parte del lector, pero a cambio propicia la confrontación inter-capas, ya que las isolíneas conforman una guía de apoyo para establecer las correspondencias desde el nivel inferior al superior.

De nuevo, el público más idóneo como usuario sería el de profesionales, estudiosos avanzados o investigadores. Aunque presumiendo un menor grado de comprensión (penetración), los decisores sobre temas ambientales serían un grupo bien predispuesto a leer dichas composiciones, aunque probablemente con ayuda explicativa verbal.

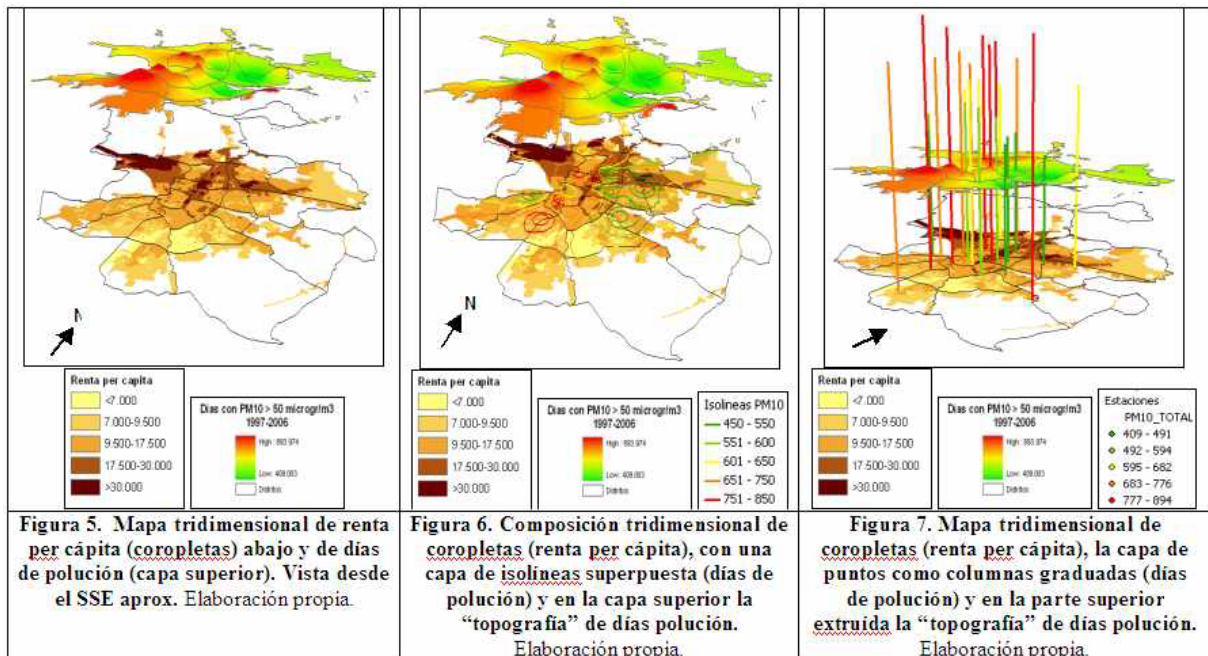
Vista 3D de capa de coropletas y de polución extruída, asociadas ambas mediante los puntos muestrales

El tercer caso de esta serie es una variante del mapa tridimensional estático formada por tres capas, dos de ellas en perspectiva a distinto nivel: la base con el mapa de coropletas de la renta per cápita y en la parte superior el mapa interpolado con el número de días con concentraciones de partículas PM_{10} superiores a $50 \mu g/m^3$ (ver figura 7). La novedad radica en la inserción de una capa de puntos con las estaciones medidoras de contaminantes de la ciudad de Madrid, que llevan asociado el valor correspondiente a los días con altas PM_{10} .

Todos los ítems que comprende la composición general son los mismos que en la figura 6. La única variación en el diseño es la nueva capa de puntos incorporada. Los puntos se han elevado como si fueran mástiles, todos del mismo grosor, pero de distinto color en función del intervalo que les correspondía. El método empleado ha sido el de extrudir los valores de esa variable, multiplicando sus valores por una constante a discreción.

El objetivo inmediato de este tipo de composición radica en desvelar los datos originales de días contaminados que se usaron para obtener la capa superior interpolada. La finalidad última de ello apunta a posibilitar un examen crítico de los resultados de la interpolación, ya que varían según el método empleado. La altura y color de cada mástil desvelan los datos muestrales, y por tanto añaden un refuerzo visual para comprender las complejidades del patrón interpolado. A la vez, su localización ayuda a explorar las relaciones espaciales entre las dos capas, puesto que “atrapan” y conducen la vista del lector en ese movimiento vertical de cotejo de valores / colores entre ambas capas. En

virtud de ello la composición estaría fundamentalmente orientada a usuarios avanzados, tales como expertos en análisis espacial o investigadores, interesados en conocer intuitivamente la génesis de la “topografía” de la capa interpolada.



Vista de una composición 3D dinámica (vuelo) con una capa de coropletas, una de isolíneas y otra con extrusión de la superficie

De todas las herramientas que pueden ser empleadas en la geovisualización conviene destacar por su espectacularidad visual la animación. Una forma de ésta son los vuelos, un medio de gran potencial, ya que sus resultados son vistosos, atraen al lector con facilidad, pero a la misma vez se presentan como un instrumento complejo, difícil de usar y en muchas ocasiones, en función del software empleado no se logran los resultados deseados.

La propuesta presentada es una vista tridimensional (falsa) formada por tres capas estáticas en perspectiva a distinto nivel: en la base se sitúa el mapa de coropletas de la renta per cápita y en la superior el mapa de superficie interpolada formado con el número de días con concentraciones de partículas PM₁₀ superiores a 50 µg/m³ (figura 6 y 8). Como en vistas anteriores, sobre ambas se ha colocado el contorno de los distritos de la ciudad de Madrid para ayudar a establecer la correspondencia espacial entre capas. Sobre el mapa de coropletas basal se sitúa una tercera capa de isolíneas de PM₁₀, que puede interpretarse como una proyección selectiva de la capa superior sobre la inferior, lo que implica una cierta redundancia.

Al quedar subsumida en esta propuesta la figura 6 previa, remitimos a los comentarios sobre la geovisualización hechos anteriormente; a ella se añade ahora el componente dinámico, que facilita la exploración y comparación vertical entre capas a través de la animación. La principal dificultad que se observa en el vuelo es la de establecer en las diferentes capas la correspondencia entre lugares, pero mediante la flexibilidad de la posición del observador, el empleo del zoom de acercamiento o alejamiento, así como la rotación en 360° sobre la imagen permiten un examen más exhaustivo que en la vista estática.

Para lograr un mejor resultado de geovisualización conviene diseñar un itinerario de vuelo sistemático de cara a aprehender los patrones y las asociaciones. En este caso el plan de vuelo fue el siguiente: la vista inicial estaba situada en posición casi horizontal ligeramente orientada hacia el norte (ver figura 8), con el botón de vuelo activo y controlado por el ratón se asciende hacia el noreste, parándose en ese lugar y oscilando la imagen en un movimiento de arriba a abajo. Desde esta posición se retorna lentamente hacia el suroeste pasando por la vista desde el sur, para volver a subir hacia el noroeste, en esa posición se repite el un movimiento de arriba abajo, para luego finalizar en el mismo punto de partida. Procede destacar una cuestión técnica inherente a la propia herramienta del ArcScene, el movimiento de las imágenes controlado por el cursor de un ratón es bastante rígido, lo repercute mucho en los cambios observados en la grabación.

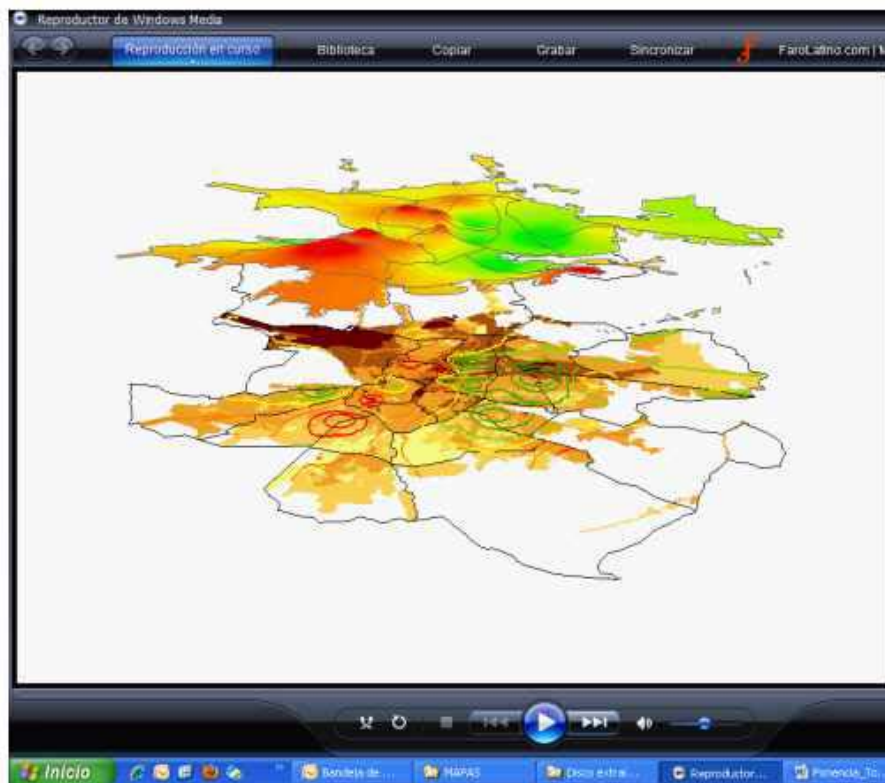


Figura 8. Vista instantánea 3D dinámica (vuelo) de la capa de coropletas (renta per cápita) abajo, con la de isolineas superpuesta (días de polución) y la superficie extruida de los días polución (capa superior). Elaboración propia.

En cuanto a las diferencias de legibilidad de la composición según destinatarios parece evidente que, pese al efectismo, muy superior al de otras propuestas, la correcta interpretación del mapa no es fácil para cualquier observador. Cabe presumir que cuantos más conocimientos tenga el mismo mayores resultados obtendrá y que un usuario poco formado podrá lograr conclusiones menos ricas. Ambos apreciarán el producto como algo novedoso, atractivo e incluso espectacular. La percepción de los patrones por separado no resultaría difícil, sin embargo, la comparación entre ambos implica movimientos óculo-mentales verticales, pero realizados según un plan de desplazamientos frontales, laterales, balanceo y en profundidad. Por tal motivo y en cuanto a usuarios potenciales, cabe prever que el mercado más directo sería el de los profesionales y estudiosos que posean un aceptable nivel de formación cartográfica. Para otros públicos menos versados, el logro de una comprensión aceptable (no superficial) probablemente requeriría de nuevo de ayuda por parte de un experto.

CONCLUSIONES

En la sociedad de la geoinformación la generación y circulación de imágenes sobre la realidad territorial se está convirtiendo en una actividad de trascendencia fundamental por diversas razones. Tanto en el funcionamiento social, como en las actividades de asesoramiento, toma de decisiones, formación o investigación, el recurso a productos cartográficos digitales está adquiriendo cada vez mayor protagonismo, debido al receptividad y consumo creciente de ellos, a la capacidad de comunicación que ofrecen y a las sofisticadas herramientas que los expertos poseen para su generación. En este contexto, la labor de los geógrafos se enfrenta al reto de elaborar tales productos de una manera optimizada, considerando el mensaje a transmitir, los segmentos de usuarios a los que se destinan y aprovechando las excelentes prestaciones del software, particularmente los SIG, para tales fines.

Acorde con estas premisas en este trabajo se ha experimentado con las posibilidades de exploración visual de patrones espaciales y de las relaciones entre sí, como una fase esencial de la indagación geográfica y de la diseminación de conocimientos y hallazgos al amplio mercado de saber geográfico. Esta tarea, a nuestro entender, no debe considerarse como algo subsidiario o secundario, puesto que de ello depende que los usuarios obtengan las mejores utilidades de los productos geovisuales y que el prestigio y posicionamiento de los profesionales e investigadores se vea revalorizado social y económicamente.

En el estudio se ha propuesto un cierto número de alternativas de geovisualización, limitadas a un caso concreto, pero que ofrecen potencialidades variables según los fines pretendidos por el creador de los mapas y composiciones. Para los distintos productos se han descrito sus rasgos, particularizando en las cuestiones de legibilidad, y se ha enunciado qué públicos podrían ser los destinatarios más conspicuos.

En el caso abordado se han manejado básicamente dos variables o fenómenos urbanos, uno de carácter humano y otro ambiental, que conciernen a un problema central

de la geografía y de alta relevancia actual: examinar y valorar visualmente las relaciones espaciales entre esos fenómenos, buscando elaborar una batería de composiciones cartográficas que resultasen legibles, efectivas y atractivas para diferentes públicos. Naturalmente dichas relaciones, para una apreciación más completa, han de ser evaluadas adicionalmente mediante instrumentos cuantitativos, como los autores ya han realizado en otro estudio (Cañada, Vidal y Moreno, 2011).

De cara al futuro, esta línea de trabajo habrá de afrontar la evaluación crítica de este tipo de productos, sometiéndolos a examen y lectura por los segmentos de mercado objetivo. Esta tarea, no abordada aquí, resulta crucial para verificar las previsiones aquí anticipadas sobre comprensión y usabilidad de los mismos. Entendemos que esta línea de indagación metodológica constituye una necesidad perentoria, de cara a establecer tipos de productos que garanticen la mejor efectividad comunicativa entre los destinatarios potenciales. En ese sentido, la gama de tales productos que la amplia tradición cartográfica ha ido diferenciando históricamente (atlas, cartografía topográfica, mapas turísticos, publicitarios, etc.) se está viendo enriquecida con los que se están ensayando para la información y participación ciudadana en la formación de decisiones sobre el territorio (ordenación y planificación “sensu lato”) como evidencian experiencias reales sumamente sugerentes (*vid.* Kwartler y Longo, 2008; Aditya, 2010).

BIBLIOGRAFÍA

ADITYA, T. 2010. Usability issues in applying participatory mapping for neighborhood infrastructure planning. *Transactions in GIS*, 14 (S1), 119-147.

BOSQUE SENDRA, J.; ZAMORA LUDOVIC, H. 2002. Visualización geográfica y nuevas cartografías. *GeoFocus*, 2, 61-77.

BUCKLEY, A. R.; GAHEGAN, M.; CLARKE, K. 2000 *Geographic visualization as an emerging research theme in GIScience*. University Consortium for Geographic Information Science. http://www.ucgis.org/priorities/research/research_white/2000whitepapersindex.htm

CAÑADA TORRECILLA, R. 2007 Técnicas de interpolación espacial deterministas y exactas: media ponderada por el inverso de la distancia y funciones de base radial. En Moreno Jiménez, A. (Coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Madrid, Ra-Ma, p. 781-809.

CAÑADA TORRECILLA, R.; VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J.; MORENO JIMÉNEZ, A. 2011. Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid, *GeoFocus (Artículos)*, 11, p. 118-154. http://geofocus.rediris.es/2011/Articulo6_2011.pdf

CARTWRIGHT, W.; GARTNER, G.; LEHN, A. (Eds.) 2009. *Cartography and Art*, Berlín, Springer, 391 pp.

CAUVIN, C.; ESCOBAR, F.; SERRADJ, A. 2008a. *Cartographie Thématique 4. Des transformations renouvelées*. París, Hermès Science y Lavoisier.

CAUVIN, C.; ESCOBAR, F.; SERRADJ, A. 2008b. *Cartographie Thématique 5. Des voies nouvelles à explorer.*, París, Hermès Science y Lavoisier.

CLARKE, J. I. 1959. Statistical map reading. *Geography*, 44, 96-104.

COMPTE, I.; GUIMET, J.; WACHOWICZ, M. 2007. La Sociedad de la (Geo)Información, *Revista Novatica*, nº 198, 6-10.

DYKES, J.; MACEACHREN, A. M.; KRAAK, M. J. 2005. *Exploring geovisualisation*. Amsterdam, Elsevier.

Gran Diccionario Enciclopédico Lexicultural. 1998, Barcelona, Plaza y Janés, 4ª edición, tomo 3.

HUNTER, G. J.; WACHOWICZ, M.; BREGT, A. K. 2003. Understanding spatial data usability. *Data Science Journal (Spatial Data Usability Special Section)*, 2, 26 February, 79-89.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION. 1998. *ISO 9241-11: 1998 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)-Part 11: Guidance on usability*. Geneva: ISO.

KRAAK, M. J. 2008. From geovisualisation toward geovisual analytics. *The Cartographic Journal*, vol. 45, 3, 163-164.

KRAAK, M. J.; ORMELING, F. J. 1996. *Cartography visualization of spatial data*. London, Addison Wesley Logman.

KWARTLER, M.; LONGO, G. 2008. *Visioning and visualization: people, pixels and plans*. Cambridge, MA, Lincoln Institute of Land Policy.

MASSÓ, J.; TORRES, M.; VALENZUELA A. 2010. La geoinformación: una necesidad creciente. *Revista Mapping Interactivo*, agosto, 13 pp.

MORENO JIMÉNEZ, A. 1995. La medición de externalidades ambientales: un enfoque espacio-temporal. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 15, 485-496.

MORENO JIMÉNEZ, A. 2007 ¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid. *Estudios Geográficos*, 263, 595-626.

<http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/70/67>

- MORENO JIMÉNEZ, A. 2010. Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en análisis de políticas y planificación territoriales. *Scripta Nova*, vol. XIV, 316. 1 de marzo de 2010. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-316.html>.
- MORENO JIMÉNEZ, A.; CAÑADA TORRECILLA, R. 2007. Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espacio-temporal y valoración con sistemas de información geográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, 301-324. <http://age.ieg.csic.es/boletin/44/14-moreno.pdf>
- OJEDA ZÚJAR, J. 2010. Geovisualización: espacio, tiempo y territorio, *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 165-166, 445-461.
- PETERSON, M.P. 1994. Spatial Visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice, *Proceeding of Geographic Information Systems*, Land Info, Systems GIS/LIS, 250-258.
- SELLER, C. 2008. Watch your language while mapping. *GIS in action*, 29, 4, 26-28.
- TAYLOR, D. R. 1994. Perspective on visualization and modern Cartography. En MacEachren, A. y Taylor, D. R. (Ed.): *Visualization in modern Cartograph*. Oxford, Pergamon, 333-341.
- VASILIEV, I. R. (} 1997. Mapping time. *Cartographica*, monografía 49, 34, 2, 1-51.
- VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J. 2005. La visualización en 3D: aplicaciones en geografía urbana. En Gurriá, J.L; Hernández, A; Nieto, A. (Eds.): *De lo local a lo global: nuevas tecnologías de la información geográfica para el desarrollo*. Cáceres, Serv. de Publicaciones Universidad de Extremadura, 203-212.
- VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J. 2007. Elaboración de mapas y gráficos con ArcMap. En Moreno Jiménez, A. (Coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*, Madrid, Ra-Ma, 2ª edición, 157-242.
- VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J. 2007. Tratamiento y visualización tridimensional. En Moreno Jiménez, A. (Coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*, Madrid, Ra-Ma, 2ª ed., 698-751.
- VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J. 2007. ArcGlobe. En Moreno Jiménez, A. (Coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*, Madrid, Ra-Ma, 2ª edición, 891-895.
- VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J. 2008. La aplicación de los SIG para el análisis de los espacios en exclusión: el caso de Madrid. *Actas del XI Coloquio Ibérico de Geografía*, Alcalá de Henares, 12 p., 1 al 4 de Octubre, en CD.

WACHOWICZ, M.; RIEDEMANN, C.; VULLINGS, W.; SUÁREZ, J.; CROMVOETS, J. 2002. Workshop report on spatial data usability. *Proceedings AGILE 2002 Conference on GI Science*, April, Mallorca, Spain.

WACHOWICZ, M.; VULLINGS, W.; BULENS, J.; DE GROOT, H.; VAN DEN BROEK, M. 2005. Uncovering the main elements of geo-web usability. *Proceedings 8th AGILE Conference on GIScience*, June, Lisbon, Portugal.

WACHOWICZ, M.; CUI, L.; VULLINGS, W.; BULENS, J. 2007. The effects of web mapping applications on user satisfaction: an empirical study. *International perspectives on maps and the Internet*, Michael Peterson (Ed.), Springer-Verlag.

© María Jesús Vidal Domínguez, Antonio Moreno Jiménez y Rosa Torrecilla Cañada

Vidal Domínguez, M.J.; Moreno Jiménez, A.; Torrecilla Cañada, R. 2012. Geovisualización avanzada para la exploración de patrones socio-ambientales con Sistemas de Información Geográfica: Aplicación a la ciudad de Madrid. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. (GESIG-UNLU, Luján). Año 4, N° 4, Sección I: 215-238.

On-line: www.gesig-proeg.com.ar

Recibido: 15 de octubre de 2012

Aprobado: 19 de noviembre de 2012