

Sobre la evolución de la información geográfica: las bodas de oro de los SIG



doi: 10.15446/rcdg.v27n1.69500

RECIBIDO: 13 DE NOVIEMBRE DE 2017. ACEPTADO: 16 DE DICIEMBRE DE 2017.

CÓMO CITAR ESTE DOCUMENTO: Siabato, Willington. 2018 "Sobre la evolución de la información geográfica: las bodas de oro de los SIG." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (1): 1-9. doi: 10.15446/rcdg.v27n1.69500.

A PARTIR DE LA SEGUNDA MITAD del siglo xx, la revolución tecnológica ha generado a escala global parte de los cambios más rápidos e influyentes en la historia de la humanidad. Este impacto se tiende a comparar con el generado por la revolución científica y la revolución industrial. Sin importar cuál de ellas ha tenido mayor o menor influjo en el desarrollo de las sociedades y qué cambios socioculturales y económicos ha generado, no hay duda de que la revolución tecnológica ha desencadenado un desarrollo exponencial sin parangón en la computación, la informática, las telecomunicaciones y demás áreas afines. El resultado de este proceso es un conjunto de modelos, metodologías, técnicas y herramientas transversales a todas las áreas del conocimiento. Actualmente vivimos inmersos en la llamada sociedad de la información, fenómeno generado principalmente por Internet y la Web, que abre las puertas a un universo de recursos cada vez más amplio y especializado que es necesario saber filtrar para utilizarlo de forma adecuada y eficiente. Estos elementos constituyen los pilares de la naciente sociedad del conocimiento —para una discusión completa sobre los orígenes de estas sociedades, véase Nonaka y Takeuchi 1995; Castells 1997, 1998—.

La ciencia cartográfica no ha sido ajena al desarrollo de la revolución tecnológica, su evolución se ha visto fuertemente impulsada por la implementación de métodos numéricos y procesos computarizados, que han masificado el proceso de producción cartográfica y multiplicado exponencialmente la creación y generación de datos geográficos. Este hecho ha sido tan relevante en la evolución de la ciencia cartográfica, que señala uno de los hitos que marcan los cuatro periodos en que se puede dividir su historia: prehistórico (\approx 11650 a. C.), clásico (\approx 550 a. C.), Renacimiento (\approx 1550) y moderno (\approx 1900).

Desde la presentación del *SYMAP Programme for Computer Mapping* (Robertson 1967) y del *Geographic Information System of the Canada Land Inventory* (Tomlinson 1967), son evidentes los cambios progresivos en los métodos de producción cartográfica y de captura y visualización de datos geográficos. Podría entonces decirse que durante el 2017 se han celebrado las bodas de oro de los Sistemas de Información Geográfica —en adelante, SIG—.

Se cumplen cinco décadas de unión con geógrafos (y otras profesiones) en un matrimonio sin duda prolífico que ha dejado toda una gama de nuevos conceptos que han revolucionado la importancia de la información geográfica —en adelante, IG— y la han puesto en el centro de muchos escenarios como base de análisis para la toma de decisiones. Entre otros, se han desarrollado métodos de almacenamiento avanzados, como las bases de datos espaciales (Günther y Buchmann 1990); métodos y modelos para el análisis espacial y espacio-temporal (Siabato et ál. 2018); métodos para la producción cartográfica masiva; herramientas avanzadas para la gestión, consulta, análisis y visualización de datos geográficos, como los SIG y los métodos de análisis visual (Andrienko et ál. 2013) y semántico (Parent et ál. 2013); técnicas avanzadas para el análisis de grandes volúmenes de datos, como el *geographic and spatial big-data* (Shekhar et ál. 2012); teorías especializadas, como los *4D moving objects* (Xu y Güting 2013) y las nuevas ramas de la estadística espacio-temporal (Christakos 2012, Cressie 2015); el desarrollo de tecnologías para la captura de grandes extensiones geográficas, como los sensores remotos; y, recientemente, la puesta en marcha de sistemas autónomos, como los *drones* (RPAS - *Remotely Piloted Aircraft Systems*), sobre los que se controlan sensores aerotransportados de todo tipo. Todos estos avances han permitido diseñar métodos más eficientes,

rápidos y económicos de producción y explotación de la IG, que son aplicados en nuevos y diferentes escenarios, y que facilitan su uso para alcanzar diferentes objetivos, adaptándose a diversas finalidades y en entornos cada vez más transversales y dispares.

Vivimos una época en la que más de la mitad de la población mundial usa a diario la IG. No somos solamente usuarios, sino también productores de datos, cada uno de nosotros se ha convertido en un sensor móvil que registra y genera grandes volúmenes de datos que requieren mayor capacidad de cómputo y métodos más avanzados y eficientes para su procesamiento y análisis. Vivimos en la época de la cartografía participativa y voluntaria, donde personas del común, sin requerir formación experta, producen datos y crean mapas de calidad aceptable gracias a las herramientas existentes, actividad que beneficia a comunidades de todo tipo. El mayor hito de este fenómeno es, sin lugar a dudas, *OpenStreetMap*, proyecto con el que a través de diferentes procesos colaborativos y con la ayuda de cientos de miles de colaboradores, se logró cartografiar en una década la mayor parte del mundo a diferentes escalas cartográficas. Este hecho es un ejemplo tácito e inexorable de la evolución del proceso cartográfico y de la propia ciencia de hacer mapas: la cartografía.

No obstante, independiente de la revolución tecnológica y la masificación de métodos para la producción cartográfica, la cartografía sigue siendo arte, ciencia y técnica. El mapa permanece como el canal por excelencia de comunicación de la IG, un medio para comprender, representar y modelar la complejidad del territorio y los fenómenos que en él suceden. Aunque el mapa impreso continúa siendo un medio de difusión necesario, tanto por economía como por portabilidad, seguridad, flexibilidad y facilidad de uso, los mapas digitales están cobrando cada vez mayor importancia y se perfilan como el producto por excelencia de la ciencia cartográfica, y esto no solo se debe a los múltiples dispositivos en los que se pueden reproducir, sino a las posibilidades que ofrecen para cambios de escala, niveles de detalle, resolución y actualización. Sin embargo, el proceso de producción cartográfica convencional y análogo sí ha sido totalmente reemplazado por las técnicas digitales, los métodos convencionales de producción de IG han desaparecido abriendo paso a la era digital.

Al margen de todo ello, y después de varios siglos de evolución de la ciencia cartográfica, es posible seguir definiendo cartografía como el arte, la ciencia y la técnica de modelar, representar y analizar la realidad y su

entorno geográfico a través de mapas, cartas, planos, globos, modelos de relieve y demás herramientas virtuales y analógicas que permiten la representación de objetos geográficos terrestres o de cualquier parte del universo conocido. Para ello, se apoya en otras disciplinas y ramas de la ciencia, como la astronomía, la geodesia, la fotogrametría, la geofísica, la teledetección, la semiología y la toponimia.

La información geográfica

Desde épocas muy tempranas, la IG ha acompañado al hombre en el desarrollo de sus actividades y se ha convertido en testigo documental de la evolución de las sociedades. El hombre siempre ha querido y sentido la necesidad de representar los elementos que permiten su supervivencia, desarrollo y evolución. Prueba de ello es la representación sobre un guijarro en el que se identifican animales y fenómenos geográficos (ej. cursos fluviales, montañas, charcas) conocido como el “Mapa de Abauntz” (Utrilla et ál. 2008, 2009) elaborado en el ocaso del periodo paleolítico superior (11650 a. C.) y reconocido como el mapa conservado más antiguo de Europa occidental. Destacan también el mural de la antigua ciudad de Çatalhöyük (6.200 a. C.) encontrado por Mellaart (1964); las tablillas de barro cocido de origen babilónico en las que se representa la zona septentrional del río Éufrates y la ciudad de Gasur (Nuzi–2.500 a. C.); los petroglifos de Giadighe y Bedolina (2.500 a. C.) localizados en Valcamonica (*Val Camonica*), norte de Italia; o la tablilla de arcilla de la antigua ciudad de Nippur (1500 a. C.), localizada en la región mesopotámica. Representaciones sobre las que se fueron definiendo, a través de los siglos, conceptos como los puntos cardinales y la proporción (escala), y que además evidencian la progresión de los medios de representación utilizados por las culturas de Mesopotamia y de otras partes del mundo: piedra, barro, arcilla, sin olvidar la seda en China.

Al tenor de estos avances, las primeras representaciones con fundamento científico provienen de la antigua Grecia y se fueron construyendo poco a poco, con base en la reproducción de los datos aportados por viajeros, navegantes y los propios cartógrafos, quienes, a partir de las descripciones consignadas en cuadernos de bitácora, fueron depurando la forma del mundo conocido. Fue Tales quién sembraría la duda científica (especulación científica) y crearía la escuela de Mileto, para que luego Anaximandro y Hecateo, sus discípulos jónicos, elaboraran el primer modelo del mundo conocido, en

el que se concebía como un disco que flotaba sobre las aguas, al que se llamó Ecúmene (c. 580 a. C.)—véase de la Peña Olivas y Prada Espada 1996; San-Miguel Hevia 2006—. Esta propuesta dio paso a una serie de modelos ecuménicos (por ejemplo, los de Heródoto, Eratóstenes o Strabo), en los que se evidencia cómo los antiguos se fueron aproximando poco a poco, a través de los siglos y con mejor detalle, a lo que hoy llamamos el Viejo Mundo. Sin desconocer los aportes del Imperio babilónico, gran parte de las primeras representaciones del entonces mundo conocido las debemos a la escuela de los geógrafos jónicos.

Con los aportes de Aristóteles, quien definió por primera vez el método para medir el ángulo de inclinación de un punto cualquiera localizado sobre la superficie terrestre con respecto al ecuador (base del futuro concepto de latitud), y los de Hiparco, quien estableció las bases de los métodos matemáticos que permiten trasladar las características de la superficie esférica a un plano, se fundaron las bases para el desarrollo de las proyecciones cartográficas. Eratóstenes, por su lado, dividió la Tierra en meridianos y paralelos (aunque no como los conocemos hoy en día) y estableció las primeras medidas del planeta, con lo que obtuvo datos precisos para el radio terrestre y fue, por tanto, capaz de inferir la longitud del meridiano mayor de la Tierra. Este filósofo proponía, además, al parecer basándose en trabajos de Demócrito y Dicearco, los conceptos de latitud y longitud, y de esta manera nacieron las coordenadas geográficas. Estos descubrimientos hacen que la concepción de los griegos sobre la Tierra cambie y concluyan que no es plana, sino curva (esférica), concepto definitivamente establecido a través de la teoría aristotélica y la teoría de las esferas concéntricas de Eudoxio. Todo esto sucedía hacia el año 300 a. C.

Cuatro siglos más tarde, Ptolomeo recogería todos los conocimientos de sus predecesores, mejoraría las bases de las proyecciones cartográficas, establecería métodos para determinar la posición sobre la superficie terrestre basándose en los meridianos y paralelos y utilizando las coordenadas geográficas, elementos que luego aplicaría sobre lo que puede ser considerado el primer mapa del mundo conocido, el primer *mapamundi*. Este modelo cartográfico constituye la base de los mapamundis como los conocemos en la actualidad. Con todo lo recolectado, aprendido y desarrollado, Ptolomeo escribiría el primer “estado del arte” de la ciencia cartográfica: la *Geographia de Ptolomeo* (Thrower 1999), obra que siglos después demostraría su gran valor, al ser traducida al latín por

Jacobus Angelus (1405-1410), y a partir de la cual se recuperaron los conceptos desarrollados por los clásicos griegos. Ptolomeo analizó, compiló y presentó en detalle, a través de ocho volúmenes, el progreso cartográfico logrado hasta su tiempo, y no solo del cartográfico, también escribió el texto que sería el referente para la astronomía por los siguientes 1400 años: *Almagesto*. No cabe duda de que, junto con Eratóstenes, Ptolomeo ha sido uno de los cartógrafos más influyentes de la historia.

Durante la Edad Media se desarrollaron otros métodos para calcular el tamaño de la Tierra, que poco a poco fueron mejorando los trabajos previos y se acercaron a los valores hoy conocidos. Se destaca el cálculo realizado por el califa Al-Mamun (786-833), quien midió longitudes alrededor de Bagdad y Al-Raqqa. Desde un punto de referencia y en dirección norte-sur, él y su equipo avanzaron hasta completar un ángulo de un grado medido con relación a la estrella polar (Polaris). La distancia medida en millas árabes fue de $56 \frac{2}{3}$, equivalente a 111,073 km, la medida más aproximada hasta entonces. Se debe también destacar los aportes de Al-Idrisi, quien publicó la *Tabula Rogeriana* (1154) y *Compilación de geografía universal*¹. Este cartógrafo árabe defendió la teoría de la esfericidad de la Tierra, indicando que “La tierra es redonda como una esfera, y las aguas se adhieren a ella y se mantienen en ella a través de un equilibrio natural que no sufre variación”. Los aportes de la civilización árabe a la ciencia cartográfica fueron de gran valor, no solo por haber salvado el legado registrado en la *Geographia de Ptolomeo*, sino por los nuevos conceptos desarrollados, por ejemplo, perfeccionan el sistema sexagesimal, diseñan nuevos instrumentos para elaborar medidas más precisas, complementan los catálogos de estrellas, además de sus aportes a la climatología y la geomorfología. Gran parte de la ciencia como hoy la conocemos se debe a los árabes.

Luego llegaría la época de las cartas portulanas, la navegación con brújula, los mapas de T en O, los conceptos de Gerhardus Mercator² y el gran desarrollo de la cartografía de precisión —temática amplia que no

1 El nombre original de la obra es *Kitab nuzhat al-mushtaq fi'khtiraq al-'afaq*. Una traducción abreviada del texto al latín fue publicada en Roma en 1592, con el título: *De geographia universalis*. Otras versiones y traducciones han sido publicadas, la más reciente de 1970, *Opus geographicum*.

2 Traducción al latín del nombre del cartógrafo de origen germano-holandés Gerhard Kremer.

desarrollaremos en este editorial—. Al considerar todas las propuestas y conceptos que florecieron a través de los siglos, así como la necesidad de describir el mundo con el máximo detalle posible para potencializar las actividades que sobre él se desarrollaban, durante los tiempos venideros se fueron creando nuevos conceptos que darían origen a lo que hoy se conoce como las ciencias de la Tierra —entre las que destacan la geodesia, la fotogrametría y la propia cartografía— y, tras ellas, el advenimiento de la revolución tecnológica, lo que desencadenó el surgimiento de la *Ciencia de la Información Geográfica* —*GIScience*— (para una discusión sobre la evolución de la *GIScience*, véase Goodchild 1992; Mark 2003). Aunque esta sea una ciencia muy reciente, ha generado aportes que han influenciado el desarrollo de nuestras sociedades y reconfigurado el mundo desde diferentes perspectivas (por ejemplo, la efectividad de los servicios basados en localización, la eficiencia en los sistemas de búsqueda y rescate, y las continuas mejoras en los servicios de alerta temprana). Hoy en día se habla de la revolución geoespacial, una transformación fundamentada en la revolución tecnológica y la *GIScience*, todo indica que esta nueva revolución ha llegado para quedarse y seguir apoyando los cambios futuros en las técnicas cartográficas, las geociencias y demás áreas del conocimiento en las que se requiera el uso de la IG.

Análisis y los sig

Cerca de 2.450 años después de que los griegos sentaran las bases para la representación cartográfica, en 1854 al físico inglés John Snow se le ocurrió combinar información base y temática para identificar focos de cólera (Gilbert 1958). Con el fin de analizar zonas del distrito de Soho en Londres, el doctor Snow superpuso mapas en papel sobre mesas iluminadas para encontrar y comparar puntos coincidentes en las distintas capas de información: calles, fuentes de agua y decesos³. Al tener en cuenta múltiples criterios, pretendía identificar el origen de la mortal epidemia que se presentaba en aquella época (20.000 muertes en Inglaterra y Gales). Al analizar la ubicación espacial de los afectados y de las fuentes de agua (hidrantes), pudo demostrar su hipótesis sobre la propagación de la enfermedad a través de las fuentes públicas de agua. Con su estudio, Snow demostró

3 Trabajo que sería publicado en 1855 como mejora del ensayo *On the mode of communication of cholera* (1849).

de forma contundente que “[...] el cólera se presentaba solo entre las personas que bebían de la fuente de agua localizada en *Broad Street*” (Gilbert 1958, 175). Snow llegó a esta conclusión al observar que en los alrededores de esta única fuente de agua se concentraron 500+ decesos en solo 10 días. De esta manera se realizó el que es reconocido como el primer análisis espacial (geográfico) del cual se tenga referencia (Gilbert 1958; Longley et al. 2005). Y aunque esta es la referencia estándar en cursos introductorios de análisis espacial, no fue el primer trabajo de este tipo. Estudios similares fueron desarrollados por los doctores Thomas Shapter⁴ y Robert Baker⁵ sobre las epidemias de cólera de Exeter y Leeds en 1832 y 1833, respectivamente. Sin embargo, el hecho de superponer capas para el análisis de la propagación de una epidemia se destaca sobre la simple localización geográfica de los decesos, por ello, el trabajo de Snow es la referencia más reconocida, además de valerle para ser nombrado como el padre de la epidemiología moderna.

Un siglo después, en pleno auge del desarrollo tecnológico y de los sistemas computacionales, se planteó el uso de estas tecnologías para apoyar los métodos de representación cartográfica y análisis espacial. Mientras la tecnología lo permitía y el desarrollo en hardware y software se fortalecía, surgieron las primeras aplicaciones que marcaban el punto de partida del camino que conduciría al desarrollo de lo que hoy conocemos como SIG. Se reconocen como pioneros, por un lado, el *Canadian Geographical Information System* (CGIS), liderado por Roger Tomlinson en 1967 y creado para la gestión de recursos naturales (Tomlinson 1967); por otro lado, el *SYNagrapphic MAPPING* (SYMAP), desarrollado bajo la dirección de Howard Fisher en el *Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis*⁶, presentado en 1966 como aplicación pionera en la representación de elementos cartográficos y herramientas de modelado (Robertson 1967); y por último, el sistema ideado por Ian McHarg (1969), enfocado en métodos de análisis para la planificación y el desarrollo territorial, que darían origen a los procesos automáticos de análisis por superposición.

En este escenario, resulta difuso, e incluso atrevido, definir una fecha de nacimiento exacta para los SIG como los conocemos, sin embargo, la coincidencia entre

4 *History of the Cholera in Exeter*.

5 *Report of the Leeds Board of Health*.

6 Otros influyentes programas desarrollados por este laboratorio fueron SYMVU, GRID, CALFORM y POLYVRT.

SYMAP y el CGIS nos señalaría el 2017 como el año en que se celebran las bodas de oro de los SIG.

Demostrada la utilidad de las propuestas pioneras, durante la década de los años setenta emergieron nuevas tendencias para utilizar los mapas y la IG en la valoración de recursos naturales y la planificación del territorio. Se observó además que las diferentes “coberturas” sobre la superficie de la Tierra no eran independientes entre sí, sino que por el contrario estaban correlacionadas de algún modo. Surge y se hace evidente la primera ley de la geografía (Tobler 1970), y sobre ella se define formalmente el concepto de autocorrelación espacial (Cliff y Ord 1969), que marca un punto de inflexión en la geografía, además de constituirse como uno de los pilares fundamentales en el análisis de la distribución y comportamiento de los fenómenos geográficos en el espacio. De esta manera se hizo evidente la necesidad de analizar los fenómenos geográficos de manera integrada y más eficiente, por lo que se pensó en potenciar las relaciones entre la informática, la cartografía y los métodos estadísticos específicos que darían paso a la estadística espacial.

No obstante, los métodos cartográficos no estaban plenamente desarrollados y no eran del todo aceptados por profesionales que producían y gestionaban IG. Esta inconformidad llevó a que a finales de los años setenta las tecnologías asociadas al manejo de IG progresaran rápidamente y se afinaran muchos de los sistemas informáticos para las distintas aplicaciones de producción cartográfica. Paralelamente, se avanzaba en otras ramas complementarias, entre ellas, la fotogrametría y la percepción remota. En un principio, este rápido ritmo de desarrollo provocó la duplicación de esfuerzos en las distintas disciplinas relacionadas con la producción de la IG, pero, a medida que aumentaban los sistemas y se adquiría experiencia, surgió la posibilidad de articular los distintos métodos automáticos para la producción y gestión de información espacial, que fueron reunidos progresivamente en verdaderos SIG para fines generales.

A inicios de los años ochenta, los SIG se habían convertido en sistemas plenamente operativos. A medida que la tecnología de los ordenadores se perfeccionaba y se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación, los SIG incrementaban su funcionalidad y popularidad. En paralelo se fueron desarrollando las bases de datos (Charles Babbage Institute 1959; Codd 1970) y las bases de datos espaciales (Berman y Stonebraker 1977; Chang y Fu 1980), hasta llegar a la convergencia entre métodos de almacenamiento eficientes y sistemas de análisis

geográfico. Actualmente estos sistemas apoyan actividades en organismos públicos, laboratorios e institutos de investigación, instituciones académicas y universidades, industria privada, en instalaciones militares y públicas, así como en la mayor parte de sectores e instituciones que requieren gestionar información espacial.

Esta sólida difusión de los SIG ha creado una repentina necesidad en los usuarios de la IG de conocer esta tecnología más a fondo y contar con herramientas adicionales que los apoye para obtener su máximo potencial. Es tal su impacto, que los SIG se han visto involucrados en escenarios que inicialmente no se preveían idóneos para su potencial aplicación, por ejemplo, los directivos de los organismos privados están siendo instados a tomar decisiones sobre la introducción de la tecnología SIG, establecer directrices para su uso y a que destinen partidas presupuestales específicas para su implementación y desarrollo (Longley et ál. 2005). A los responsables del gobierno se les solicita que apoyen costosos programas y destinen importantes presupuestos para completar la migración de datos de mapas análogos a formato digital, para que puedan ser usados a través de los SIG en la planificación territorial o en eventualidades como los desastres naturales. A través de productos de empresas y principalmente licencias FOSS4G⁷, los estudiantes y educadores de todos los niveles de enseñanza cuentan con acceso masivo a esta tecnología, en la que basan sus procesos de análisis de la IG.

Un claro ejemplo del protagonismo que ha cobrado la IG y, en general, las tecnologías de la información geográfica —en adelante, TIG—, incluidos los SIG, dentro de políticas gubernamentales e internacionales lo constituyen las infraestructuras de datos de espaciales —en adelante, IDE—. Uno de los casos de mayor importancia fue el propuesto por la Comisión Europea (2004), que definió políticas para la puesta en marcha de una IDE comunitaria. Este programa, conocido como INSPIRE⁸, está destinado a garantizar la interoperabilidad de la IG comunitaria en beneficio de las políticas nacionales y comunitarias, así como del público que tiene acceso a ella. Un ejemplo más cercano, es la dependencia casi natural de los servicios ofrecidos en los dispositivos móviles y que giran en torno a la IG, ampliamente potenciados por los receptores GPS y las aplicaciones de servicios basados

7 *Free and Open Source Software for GIS—FOSS4G.*

8 *Infrastructure for Spatial Information in Europe.*

en localización disponibles por defecto en los *smartphones* y tabletas, entre otros.

La brevísima descripción presentada hasta este punto sobre la evolución de la IG, desde las primeras representaciones, pasando por los orígenes de la cartografía, hasta su implementación en sistemas informáticos puede ser acotada hasta principios de la década de los años noventa, momento en el que inicia una segunda generación de las TIG y, por tanto, del SIG: se presenta un cambio de paradigma en la representación de los fenómenos geográficos y se inicia la transferencia de la tecnología a la entonces embrionaria *World Wide Web*.

Una vez establecido lo que se denominó SIG de escritorio y definidas las primeras arquitecturas cliente-servidor, otros problemas y modos de conceptualizar y modelar la realidad geográfica comenzaron a ser desarrollados. Varios aspectos fueron trabajados en paralelo: formatos de almacenamiento más efectivo, formas de uso de las bases de datos, estándares, lenguajes tipo *Script* generales, divergencia/convergencia de estructuras vector y ráster, precisión de datos y su representación, generalización, optimización de los procesos topológicos, creación de modelos generales para la representación de los fenómenos geográficos, ubicación de topónimos, entre otros. Además, se empezaba a trabajar desde la orientación a objetos (véase Worboys 1992) en lo que hoy en día sigue siendo un problema abierto: la ineficacia de los modelos de representación estáticos para la representación de una realidad dinámica, se empezaba a edificar el SIG temporal (para una completa introducción a esta rama de los SIG, véase Langran 1992).

El futuro inmediato

Nuestro entorno y casi todo lo que nos rodea es de carácter dinámico, en mayor o menor escala de tiempo lo es o, lo que es lo mismo, depende de la granularidad temporal del fenómeno analizado. Los cambios en la localización debidos al movimiento de una persona, animal o vehículo pueden ser medidos en segundos, los cambios de temperatura y otras variables meteorológicas pueden ser registrados en minutos, los cambios en el perímetro de una ciudad en meses o años, los registros del *datum* vertical en años o décadas, la variación del curso de los ríos en décadas o cientos de años dependiendo de su tipología, y las eras geológicas y sus huellas de cambio en cientos de miles o millones de años. En nuestro entorno sucede todo tipo de eventos y fenómenos, y cada uno de ellos es dinámico y debe

ser tratado y modelado según su propia naturaleza y escala temporal.

Estos fenómenos pueden haber ocurrido o estar sucediendo, pueden darse en un momento específico o pueden ser fenómenos cíclicos (constantes o variables). Pueden también tratarse de fenómenos o eventos que ocurrirán y sobre los que deseamos planificar futuras actividades. Aunque esta característica dinámica de los fenómenos que nos rodean es evidente y ampliamente reconocida, los sistemas de información fallan en su forma de modelarla, representarla y, lo que es peor, tampoco proveen las herramientas necesarias a aquellos usuarios que trabajan con dominios dinámicos (Stewart Hornsby y Yuan 2008). Debido a esto, una de las líneas de investigación que en el campo de los SIG sigue abierta y con varios problemas por ser investigados es la completa integración del tiempo en el sistema y en la propia naturaleza de la IG. Este problema se puede abordar desde el punto de vista del modelado, el almacenamiento, la normalización, la representación, la topología, los procesos de análisis, entre otros procedimientos. Siabato y Manso-Callejo (2011) definieron una propuesta para el enriquecimiento temporal y semántico de la IG, en la que se han venido realizando aportes en los modelos espacio-temporales aplicados al SIG temporal.

Como pioneros del SIG temporal, Langran y Chrisman (1988) afirmaban, a finales de la década de los años ochenta, que un objetivo razonable para los SIG sería que fueran capaces de llevar a cabo un seguimiento de los cambios realizados en un área determinada mediante el almacenamiento de los datos históricos. Estos autores indicaban cómo los sistemas de información de aquella época, tanto espaciales como alfanuméricos, tendían a omitir el registro histórico de los datos y no almacenaban versiones previas del sistema. Para solventar esta debilidad, propusieron un modelo conceptual, lógico y físico que permitiera enriquecer los sistemas con capacidades temporales. Langran y Chrisman introducen los conceptos necesarios para que los cambios de los fenómenos geográficos sean almacenados acumulativamente, sin que se dupliquen datos a la hora de almacenarlos. Este problema, que resulta tan obvio hoy día, está a punto de cumplir treinta años de haber sido propuesto y, como se dijo previamente, sigue abierto.

Es importante notar que el SIG temporal abarca poco más de la mitad del periodo del SIG puramente espacial y, aunque este último ha progresado con pasos de gigante, el análisis espacio-temporal es una línea de

investigación en la que se han alcanzado aportes parciales; esto muestra la complejidad de modelar la variable tiempo en el espacio geográfico. En las investigaciones presentadas durante los últimos años, se han propuesto diferentes aproximaciones acerca de cómo incorporar la variable temporal en los SIG, en las bases de datos y en la propia estructura de la IG. Siabato et ál. (2018) presentan un detallado estado del arte y los principales hitos de las investigaciones realizadas en el área.

Como conclusión, podemos afirmar que el largo camino recorrido para perfeccionar la representación de los fenómenos geográficos ha sido trepidante y excitante. Desde las primeras representaciones en piedra hasta los modelos actualizables en tiempo real que nos ha traído la revolución geoespacial, en cada periodo hemos aprendido algo nuevo y hemos perfeccionado lo previo. Como ejemplo, se debe recordar que no solo estamos celebrando los 50 años de los SIG, también se han cumplido 60 años de la puesta en órbita del primer satélite artificial terrestre, el Sputnik 1⁹. Actualmente resulta obvia la diferencia de capacidades técnicas y científicas entre este pionero y sus “descendientes”, y el impacto que han tenido en la producción de datos e información geográfica. Una completa descripción de la historia de los SIG puede ser consultada en el libro editado por Foreman (1998).

Es difícil pronosticar un futuro claro para los métodos de captura, visualización, representación y modelado de la IG, pero sin duda, profundizaremos en el *Spatial Big Data*; veremos el desarrollo masivo de las bases de datos espaciales NOSQL; se perfeccionarán las bases de datos de objetos móviles multidimensionales; se seguirán definiendo nuevas estructuras de datos para la integración de los modelos conceptuales base (campos y objetos); seguiremos siendo testigos del lanzamiento de plataformas satelitales con sensores remotos más especializados y con mayores resoluciones espacial, espectral y radiométrica; veremos la completa migración de los SIG al mundo web; viviremos una progresión exponencial de servicios web geográficos y de servicios basados en localización; las entidades públicas potenciarán e integrarán cada vez más sus IDE; nuevas herramientas y métodos basados en la inteligencia artificial irán desplazando los procesos manuales; la integración del *machine learning*

permitirá que los SIG sugieran herramientas y métodos más apropiados, y ajusten parámetros de funciones de análisis con mayor exactitud; más software SIG de código cerrado migrará al modelo de código abierto (*Open Source*) brindando mayores opciones de personalización y optimización; nuevas plataformas, más robustas y flexibles, desarrolladas para la captura y publicación de datos abiertos (y privados) facilitarán estos procesos y masificarán la participación ciudadana generando un crecimiento exponencial de la información geográfica voluntaria (VGI), mejorando también de forma progresiva la calidad en el dato; la presencia del *geotag* será la norma en cualquier tipo de análisis espacial y no espacial; todos los dispositivos móviles tendrán incorporados múltiples receptores GNSS; la realidad aumentada seguirá potenciando su desarrollo y masificando la interacción con el entorno y los datos geográficos; los nuevos dispositivos y el Internet de las cosas generarán una red de sensores más amplia que multiplicará la cantidad de datos geográficos disponibles; el concepto de ciudad inteligente seguirá desarrollándose en torno a todos estos elementos explotando principalmente los llamados sensores involuntarios (ciudadanos); y, en general, seguiremos siendo testigos de una presencia totalmente transversal del componente espacial (y espacio-temporal) en la mayor parte de las ciencias y, en consecuencia, en nuestro día a día. Todo ello nos conduce a la necesidad de desarrollar metodologías y herramientas cada vez más robustas para el almacenamiento, procesamiento y análisis de la creciente cantidad de datos que se genera, herramientas que seguramente se apoyarán en la inteligencia artificial, principalmente en el aprendizaje automático (*Machine Learning & Deep Learning*). La IG ha estado, está y seguirá estando presente en las actividades humanas. ¡Larga vida a los SIG! ¡Feliz cumpleaños SIG!

Referencias

- Andrienko, Gennady, Natalia Andrienko, Peter Bak, Daniel Keim, y Stefan Wrobel. 2013. *Visual Analytics of Movement*. Berlin - Germany: Springer Verlag.
- Berman, Richard R., y Michael Stonebraker. 1977. GEO-OUEL: A System for the Manipulation and Display of Geographic Data. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics* 11 (2): 186-191. doi: 10.1145/965141.563892.
- Castells, Manuel. 1997. *La sociedad red*. Vol. 1 de *La Era de la Información*. Madrid: Alianza.
- Castells, Manuel. 1998. *Fin de Milenio*. Vol. 3 de *La Era de la Información*. España: Alianza.

9 Satélite soviético lanzado el 4 de octubre de 1957. También podría decirse lo mismo del Explorer 1, primer satélite estadounidense lanzado el 31 de enero de 1958. Estos lanzamientos marcaron el surgimiento de la carrera espacial.

- Chang, Shi-Kuo, y King-sun Fu, eds. 1980. "Pictorial Information Systems." En *Lecture Notes in Computer Science*, editado por G. Goos, J. Hartmanis y J. V. Leeuwen. Berlin: Springer Verlag.
- Charles Babbage Institute. 1959. "Conference on Data Systems Languages Records, 1959-1990, (CBI 11)." Conferencia en *Data Systems Languages - CODASYL*, University of Minneapolis Libraries, Minneapolis, Estados Unidos.
- Christakos, George. 2012. *Modern Spatiotemporal Geostatistics*. Mineola, New York: Dover Publications.
- Cliff, Andrew David, y J. Keith Ord. 1969. "The Problem of Spatial Autocorrelation." En *London Papers in Regional Science*, editado por A. Scott, 22-55. Londres: Pion.
- Codd, Edgar Frank. 1970. "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks." *Communications of the ACM* 13 (6): 377-387. doi: 10.1145/362384.362685.
- Comisión Europea. 2004. *Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece una infraestructura de información espacial en la comunidad - INSPIRE*. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas.
- Cressie, Noel A. C. 2015. *Statistics for Spatial Data*. Serie Wiley Series in Probability and Statistics. Chichester: John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781119115151.
- de la Peña Olivas, José Manuel, y Juan Manuel Prada Espada. 1996. "Ingeniería marítima romana a comienzos de nuestra era." *Revista de Obras Públicas* 143 (3351): 55-73.
- Foresman, Timothy W., ed. 1998. *The History of Geographic Information Systems: Perspectives from the Pioneers*. New Jersey: Prentice Hall.
- Gilbert, E. W. 1958. "Pioneer Maps of Health and Disease in England." *The Geographical Journal* 124 (2): 172-183. doi: 10.2307/1790244.
- Goodchild, Michael F. 1992. "Geographical Information Science." *International Journal of Geographical Information Systems* 6 (1): 31-45. doi: 10.1080/02693799208901893.
- Günther, Oliver, y Alejandro P. Buchmann. 1990. "Research Issues in Spatial Databases." *ACM SIGMOD Record* 19 (4): 61-68.
- Langran, Gail. 1992. *Time in Geographic Information Systems*. Londres: Taylor & Francis.
- Langran, Gail, y Nicholas R. Chrisman. 1988. "A Framework for Temporal Geographic Information." *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* 25 (3): 1-14. doi: 10.3138/K877-7273-2238-5Q6V.
- Longley, Paul A., Michael F. Goodchild, David J. Maguire, y David W. Rhind. 2005. *Geographic Information Systems and Science*. 2^{ed}. Chichester: John Wiley & Sons.
- Mark, David M. 2003. "Geographic Information Science: Defining the field." En *Foundations of Geographic Information Science*, editado por Matt Duckham, Michael F. Worboys y Michael F. Goodchild, 3-18. Londres: CRC Press.
- McHarg, Ian L. 1969. *Design with Nature*. Vol. VI de *Wiley Series in Sustainable Design*. Chichester: Wiley.
- Mellaart, James. 1964. "Excavations at Çatal Hüyük, 1963: Third Preliminary Report." *Anatolian Studies* 14:39-119. doi: 10.2307/3642466.
- Nonaka, Ikujiro, e Hirotaka Takeuchi. 1995. *The Knowledge Creating Company*. New York: Oxford University Press.
- Parent, Christine, Stefano Spaccapietra, Chiara Renso, Genady Andrienko, Natalia Andrienko, Vania Bogorny, Maria Luisa Damiani, Aris Gkoulalas-Divanis, Jose Macedo, Nikos Pelekis, Yannis Theodoridis, y Zhixiang Yan. 2013. "Semantic Trajectories Modeling and Analysis." *ACM Computing Surveys* 45 (4): 42. doi: 10.1145/2501654.2501656.
- Robertson, J. C. 1967. "The Symap Programme for Computer Mapping." *The Cartographic Journal* 4 (2): 108-113. doi: 10.1179/caj.1967.4.2.108.
- San-Miguel Hevia, José Ramón. 2006. "Las primeras escuelas. Mileto. De cómo Tales y Anaximandro hicieron posible la aventura marinera de los griegos." *El Catoblepas* 56:8.
- Shekhar, Shashi, Viswanath Gunturi, Michael R. Evans, y KwangSoo Yang. 2012. "Spatial Big-data Challenges Intersecting Mobility and Cloud Computing." Ponencia presentada en el *Eleventh ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access - MobiDE*, New York, 12 de febrero.
- Siabato, Willington, y Miguel-Ángel Manso-Callejo. 2011. "Integration of Temporal and Semantic Components into the Geographic Information Through Mark-up Languages. Part I: Definition." En *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2011*, editado por Beniamino Murgante, Osvaldo Gervasi, Andrés Iglesias, David Taniar y Bernardy O. Apduhan, 394-409. Berlin: Springer.
- Siabato, Willington, Christophe Claramunt, Sergio Ilarri, y Miguel Ángel Manso-Callejo. 2018. "A Survey of Modelling Trends in Temporal GIS." *ACM Computing Surveys* 51 (2): 1-41. doi: 10.1145/3141772.
- Stewart Hornsby, Kathleen, y May Yuan, eds. 2008. *Understanding Dynamics of Geographic Domains*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Thrower, Norman J. W. 1999. *Maps and Civilization: Cartography in Culture and Society*. Chicago: University of Chicago Press.

- Tobler, Waldo R. 1970. "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region." *Economic Geography* 46:234-240. doi: 10.2307/143141.
- Tomlinson, Roger F. 1967. *An Introduction to the Geographic Information System of the Canada Land Inventory*. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development. Consultado en noviembre de 2017. <https://gisandscience.files.wordpress.com/2012/08/3-an-introduction-to-the-geographic-information-system-of-the-canada-land-inventory.pdf>.
- Utrilla, Pilar, Carlos Mazo, María Cruz Sopena, Rafael Domingo, y Manuel Martínez-Bea. 2008. "Ríos, montañas y charcas: una representación del paisaje en el bloque 1 de la cueva de Abauntz." *Veleia* 24-25 (1): 229-260.
- Utrilla, Pilar, Carlos Mazo, María Cruz Sopena, Manuel Martínez-Bea, y Rafael Domingo. 2009. "A Paleolithic Map from 13,660 calBP: Engraved Stone Blocks from the Late Magdalenian in Abauntz Cave (Navarra, Spain)." *Journal of Human Evolution* 57 (2): 99-111. doi: 10.1016/j.jhevol.2009.05.005.
- Xu, Jianqiu, y Ralf Hartmut Güting. 2013. "A Generic Data Model for Moving Objects." *GeoInformatica* 17 (1): 125-172.
- Worboys, Michael F. 1992. "Object-Oriented Models of Spatiotemporal Information." Conferencia presentada en GIS/LIS'92, *Geographical Information Systems/Land Information Systems: Annual Conferencie and Exposition*, 825-834. Bethesda: American Congress on Surveying and Mapping, 10 al 12 de noviembre.

Willington Siabato^a

Editor

Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía

a Correo electrónico: wlsiabatov@unal.edu.co

ORCID: 0000-0001-6543-1133.