

# GEOcibernética

innovando en geomática para la sociedad

## Un modelo organizador de la dinámica territorial

Fernando López-Caloca<sup>1</sup>, Rodolfo Sánchez-Sandoval<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo A.C. (CentroGeo)  
Mexico City / México

### RESUMEN

El predio es el bloque básico de construcción de una localidad, ciudad, metrópoli o país, y se rige por reglas invariantes que al ser utilizadas por los agentes sociales generan estructuras emergentes de sorprendente complejidad, ya que se entrelazan tanto con aspectos económicos, sociales, culturales, políticos como con factores psicológicos (deseos, intencionalidades, etc.) o éticos, entre otros. Aunque estas estructuras son dinámicas y complejas, presentan patrones reconocibles que permiten su seguimiento espacio-temporal a través del concepto padre-hijo que conlleva la clave de Peano y la fecha. El concepto de padre-hijo lleva al de familia y a la construcción de estructuras aún más complejas. Sin embargo, esta dinámica jerárquica se rompe por procesos internos (locales) y externos (globales) que se presentan en el territorio y fuera de este. Todo esto ha inducido la búsqueda de marcos teóricos como la geocibernética y a líneas de investigación como la geomática compleja, donde, para apoyar a la gestión y a la política en la toma de decisiones responsables, se establecen modelos, metodologías, instrumentos, esquemas, etc., con una visión científica y transdisciplinaria.

El registro básico del predio (RBP) que se propone, sustentado en la clave de Peano, es una opción para establecer una interoperabilidad sintáctica en el nivel operativo y semántica en el nivel funcional, con una visión territorial y sistémica, y con fundamentos matemáticos que dan robustez, calculabilidad y replicabilidad, además de ofrecer independencia tecnológica.

**Palabras clave:** bloque de construcción, clave de Peano, predio, geocibernética, geomática compleja, sintaxis, semántica, territorio, transdisciplinaria.

### ABSTRACT

A parcel is the basic building block of a locality, city, metropolitan area or country, which is governed by invariable rules that, when used by social agents, generate surprisingly complex emergent structures since they are intertwined with several factors, including economic, social, cultural, political, psychological (desires, intentions, etc.) and ethical, among others. Although these structures are dynamic and complex, they present recognizable patterns that enable monitoring them in space-time through the parent-child concept that entails the Peano key and date. The parent-child concept leads to the concept of family and the construction of even more complex structures. Nevertheless, this hierarchical dynamic is broken by internal (local) and external (global) processes inside and outside a territory. Together, this has prompted the search for theoretical frameworks such as geocybernetics and lines of investigation such as complex geomatics, with which models, methodologies, instruments, schemes, etc. are established with a scientific and transdisciplinary vision to support making responsible management and policy decisions.

The basic parcel record (BPR) proposed, based on the Peano key, is an option to establish syntactic interoperability on the operational and semantic interoperability level on the functional level, with a territorial and systemic vision and with mathematical foundations that provide robustness, calculability and replicability, in addition to offering technological independence.

**Keywords:** building block, complex geomatics, geocybernetics, parcel, Peano key, semantics, syntax, territory, transdisciplinarity

## 1. INTRODUCCIÓN

En México el Registro Público de la Propiedad (RPP) y el Catastro se han manejado en forma independiente. El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 en su diagnóstico general señala la necesidad de llevar los derechos del papel a la práctica. Entre sus objetivos promueve una vivienda digna con una línea de acción que propicie la modernización de catastros y registros públicos de la propiedad (RPP), para dar mejor cumplimiento al Artículo 27 Constitucional.

Los beneficios de la integración y vinculación de las instituciones Catastro y Registro Público de la Propiedad son considerables. Sin embargo, su vinculación presenta retos y dificultades operativas, ya que usualmente no tienen un registro común; a menudo los nombres de los propietarios registrados no coinciden, y es frecuente, entre otros problemas, que en el RPP la ubicación geoespacial de los predios se exprese en términos obsoletos.

El objetivo fundamental de este trabajo es establecer mecanismos que permitan la interoperabilidad de los flujos de trabajo (Holland 1995, 23) entre ambas instituciones, el Catastro y el RPP, a nivel sintáctico (bajo una norma como la ISO/IEC JTC 1 N7409, 2004). En el nivel semántico, la interoperabilidad funcional entre ambas instituciones se amplía o extiende a otras, como por ejemplo a un sistema de administración territorial (para la definición de políticas públicas y la planeación del desarrollo urbano y regional, o la gestión eficiente de trámites y servicios, por mencionar algunas). Por lo anterior, es necesario desglosar las actividades de dichas instituciones, tomando en consideración que cada una posee una utilidad distinta, dados sus propósitos y contextos, para reconocer cuáles son los puntos de contacto o entrelazamiento, dónde convergen y dónde se hacen uno (Hofstadter 1979, 547).

Es fundamental reconocer que los predios son los bloques básicos de construcción del quehacer cotidiano

de las instituciones mencionadas y de muchas otras instancias. El estudio y comprensión de la dinámica predial es fundamental para establecer los puntos de contacto y entrelazamiento interinstitucionales.

El predio es parte del espacio geográfico, se localiza en algún lugar del globo terráqueo y los agentes sociales lo utilizan para realizar sus actividades. Observado en el espacio/tiempo, el predio presenta una dinámica propia, resultante de las acciones de los agentes sociales y también sujeto a perturbaciones y contingencias generadas por los fenómenos sociales y físicos del medio. Haciendo una analogía biológica podemos decir que un predio es la célula constituyente del tejido de una manzana, un barrio, una localidad, una ciudad, un estado, cantón o provincia, un país. En síntesis, los predios tienen una dinámica espacio-temporal, son construcciones sociales, y están sujetos a las contingencias naturales y sociales del medio (López-Caloca 2011, 90-93).

Actualmente las computadoras permiten el manejo de grandes volúmenes de datos mediante bases de datos, donde es fundamental utilizar claves únicas para la organización y el manejo de los mismos. Desde sus orígenes, las matemáticas han permitido la formalización del conocimiento científico y facilitado el desarrollo tecnológico. La forma más simple de una clave única es usar la función sucesor, números consecutivos. Sin embargo, podemos emplear sistemas más complejos que proporcionan claves, también únicas, y que conllevan un mayor significado. Ahora bien, si nuestro problema es geoespacial, ¿por qué no utilizar una clave, que además de cumplir con los requerimientos de las bases de datos, también posea significado geoespacial? Es decir, por qué no construir las bases de datos con una visión territorial, empleando una clave que conjunte unicidad y espacialidad, y facilite la organización y el manejo de la información de los predios de manera satisfactoria para ambas instituciones, Catastro y RPP, así como para las

demandas que se generen en el sistema de administración territorial mencionado.

El Catastro y el RPP cuentan con acervos de datos e información tanto cuantitativos como cualitativos, que constituyen los fundamentos de un conocimiento potencialmente útil y que puede contribuir con aportaciones valiosas a la planeación del desarrollo urbano y regional, a la política pública territorial, a los servicios ambientales y a muchas otras tareas y empeños de la administración y la gestión gubernamental, así como a la ciudadanía, sus empresas y organizaciones. Sin embargo, el territorio no es un sistema cerrado y la toma de decisiones responsables debe considerar también las crisis económicas y sociales, las catástrofes ecológicas, y los desastres políticos que no tienen orígenes locales sino que son productos de procesos impredecibles. Como no existe un método único de previsión y decisión en un territorio no lineal y complejo, se requiere de la conjunción de recursos, voluntades y conocimiento de los expertos o científicos y de los actores sociales, como lo sugiere el método Reyes (López-Caloca 2011, 117-129), para buscar los elementos sustantivos que apoyen a los tomadores de decisiones.

Debemos señalar que, aunque no se profundiza en ellos, los aspectos semánticos del registro básico del predio poseen una gran importancia.

## 2. LOS PREDIOS O BLOQUES BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN Y SU DINÁMICA

Tradicionalmente, los predios son vistos como entes estáticos, meros contenedores de estructuras, más o menos permanentes, erigidas con madera, ladrillos y hormigón u otros materiales, y que contienen industrias, escuelas, hospitales, centros comerciales, oficinas, residencias y, como ya se mencionó, espacios donde realizamos nuestras actividades. Por ejemplo, al explicar el concepto de región basado en la observación Hilhorst (1976, 51) menciona:

Los seres humanos necesitan espacio para llevar a cabo sus actividades; estas actividades pueden ser administrativas, económicas, políticas, recreativas, sociales, etc. Las relaciones resultantes de estas actividades tendrán necesariamente una dimensión espacial y requerirán transporte o comunicación, a

través de las diversas distancias que separan dichas actividades.

Esta idea también la comparte Fausto (2001, 7) al hacer mención de las actividades humanas en la producción, uso y aprovechamiento del suelo, de tal forma que: “El suelo es aprovechado por cada persona o grupo social para fines particulares: vivienda, industria, comercio, parques, etcétera.”

Por su parte, Holland (1995, 23-25) nos habla de los flujos con efectos multiplicadores cuando se inyecta un recurso en algún nodo o predio de una red interconectada:

Típicamente este recurso pasa de nodo a nodo, siendo posiblemente transformado a lo largo del camino, produciendo una cadena de cambios. Los más simples ejemplos de esto provienen de la economía. Cuando usted hace un contrato para construir una casa, le paga al constructor, quien a su vez paga a sus empleados, quienes a su vez compran alimentos y otras mercancías, y así sucesivamente, etapa por etapa a través de la red económica...

Por último, para reafirmar la importancia de los predios recurriremos a Isard, que describe el proceso de las intrincadas y complejas interdependencias que se establecen entre las fuerzas económicas y sociales, tanto a nivel local (el predio) como global (el territorio). Para explicar lo anterior nos presenta como ejemplo los nacimientos en los hospitales (predios) en una región (territorio) que dan origen al desencadenamiento de procesos entrelazados con fenómenos, estructuras y bienestar material de otras regiones, como un todo. Finalmente nos dice (Isard 1960, 2-3):

... todas las características de una región y su misma trayectoria de desarrollo están muy entrelazadas en un laberinto de interdependencias. Este laberinto entrelaza los sistemas interregionales de la población, los patrones de recursos, las localizaciones industriales, las economías locales, las cuentas sociales, la posición de la balanza de pagos, los mercados, los lugares centrales y las áreas urbano-metropolitanas, las estructuras administrativas y políticas, y las instituciones, e incluso los valores, motivaciones y objetivos

sociales. Se entrelazan todos estos sistemas a través de sistemas interregionales de interindustrias (interactividad) de vinculación, de los flujos de mercancías y dineros, de los movimientos de la población y las comunicaciones, y en general, de la interacción sociocultural que incluye los procesos de toma de decisiones.

Al observar los predios como símbolos, nodos de una red dinámica y cambiante, la semántica asociada asume una complejidad creciente cuando la “construcción de bloques de un nivel de complejidad se combinan para obtener bloques de construcción de estructuras en un nivel más alto de complejidad” (Holland, 2012, p 110), como ocurre, por ejemplo, en los parques y *clusters* industriales, los grandes centros o *malls* comerciales, los distritos financieros o los complejos residenciales, etc. Es evidente que lo que elegimos como un predio (bloque de construcción) debe estar limitado, de manera que permita distinguirlo de su entorno. Por ello, al hablar de la dinámica espacial de la estructura organizacional de un predio, hacemos alusión a tres componentes: la dinámica interna, la dinámica de la frontera y la dinámica externa. Hasta ahora ya se han mencionado las dinámicas interna y externa del predio.

En la dinámica de la frontera los predios tienen límites distintivos que actúan como filtros o barreras que limitan y restringen las formas en que los predios pueden interactuar con otros predios. Al tener los predios límites bien determinados, es evidente que las formas de interacción entre ellos están limitadas por reglas que establecen una sintaxis bien definida. Estas reglas constituyen la dinámica de la frontera de los predios.

Las siguientes son reglas y condiciones obtenidas de la observación de patrones persistentes en la interacción y comportamiento de los predios:

Condiciones (o metarreglas)

- a) El territorio se construye con predios (bloques básicos de construcción).
- b) Todos los predios tienen límites bien determinados o definidos.
- c) Los predios deben cumplir con reglamentos, normas, disposiciones legales, etcétera.

Reglas de construcción o de inferencia de un predio

- 1) Un predio se puede fraccionar o dividir en varios predios (segregación).
- 2) Los predios pueden fusionarse o unirse (restringidos por la contigüidad) y constituir un nuevo predio (fusión).
- 3) Alta de predios no incluidos.

Mencionemos ahora algunas contingencias a las cuales están sujetos los predios y que se reflejan en el valor asociado a los mismos: disponibilidad directa de servicios de agua, drenaje, energía eléctrica, calles pavimentadas, redes telefónicas; servicios educativos, de salud, comerciales, culturales, etc., en la vecindad. Existen otros factores contingentes derivados de estar localizados en zonas proclives a fenómenos naturales como incendios forestales, deslizamientos de tierra, inundaciones, sismos, huracanes o tsunamis, entre otros. Pueden también estar localizados cerca de otros predios con actividades humanas que presentan peligros potenciales como minas o canteras, polvorines, instalaciones nucleares, o bien, cerca de poliductos de gas o productos del petróleo (Martínez-Viveros y López-Caloca 2010, 257-258; Fausto 2001, 8; PNUMA *et al.*, 2003, 84). Otras contingencias son los fenómenos sociales como migración, criminalidad, crisis económicas o políticas, desde guerras hasta el natural envejecimiento de los dueños. En fin, los predios pueden estar sujetos a diversas contingencias, de las que sólo se han mencionado algunos ejemplos.

### 3. LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL Y EL JUEGO DEL JUEGO

A pesar de que las reglas del juego están bien determinadas (constituyen una suerte de sintaxis), la complejidad está presente en las condiciones o metarreglas (equivalentes a una semántica). Existe un marco jurídico con leyes, reglamentos, normas y disposiciones varias con los que los agentes o actores sociales juegan, modificándolos ya sea legislando o meramente en los hechos. Como ejemplo, en “Geo Ciudad de México. Perspectivas del medio ambiente” (PNUMA... 2003, 26-28) los autores describen una historia repetida con muchas variantes alrededor del mundo:

La urbanización de la Ciudad de México ha ocurrido en forma acelerada, desordenada y con graves

afectaciones para el medio ambiente, y es una expresión de los ritmos y modalidades del crecimiento demográfico, la modernización de la infraestructura y el despliegue de la promoción inmobiliaria y los asentamientos populares. Lo anterior ha implicado la persistente expansión del área urbana sobre zonas rurales, lo que se traduce en el cambio continuo de uso del suelo; frecuentemente de forestal a agrícola, y posteriormente, se transforma en suelo urbano. Esto significa deterioro de la base natural, presiones sobre los ecosistemas y afectación a los servicios ambientales que, paradójicamente, significa la viabilidad de los asentamientos humanos.

Por su parte Fausto (2001, 7-8.) menciona algo similar a lo anterior, pero además agrega:

Ante la imposibilidad de comprar un terreno a precios de mercado, muchos habitantes no dudan aún en poner en peligro su seguridad física, su patrimonio familiar y vivir en condiciones desfavorables al asentarse en zonas con riesgos ambientales (terrenos inundables, con pendientes pronunciadas,...); con evidentes problemas legales (sin títulos de propiedad ni permisos de construcción) y carencia de servicios públicos; proximidad a instalaciones peligrosas (líneas de alta tensión, gasoductos, industrias contaminantes, etcétera).

Aquí la pregunta es ¿por qué el cambio de reglas funciona en algunas ocasiones? Es una pregunta difícil de contestar, ya que tiene que ver con el comportamiento de los agentes sociales, como Kauffman (2000, x) dice: “Un agente autónomo es un sistema capaz de actuar en su propio provecho en un medio ambiente.” Bajo esta premisa, debemos considerar que los agentes sociales siempre buscan sacar el mayor beneficio o provecho posible. Aunque no es el propósito de este trabajo explicar las razones de las crisis económicas, si es importante resaltar sus efectos sobre los predios e inmuebles. Así, regresando a lo dicho por Kauffman, esta habilidad de los agentes sociales fue visible durante la explosión de la burbuja inmobiliaria de diciembre del 2008, cuando se presentó una crisis del crédito que llevó a los Estados Unidos a una recesión con repercusiones mundiales.

Cuando se establecen nuevas disposiciones legales debe considerarse la posibilidad de que se presenten varios niveles de significado, como Hofstadter (2008, 154) explica: “En una obra teatral o en una película puede haber niveles de significado que el autor no previó ni tenía la intención de incluir.” Esto es, muchos fenómenos sociales (locales y globales) como los casos de las crisis económicas, sociales, culturales, etc., no son previsibles ni evitables mediante acciones legislativas en la materia, pues la sociedad es un sistema complejo autorreferenciado, con agentes actuando con intencionalidades (Mainzer 2007, 431), complicado por las contingencias imponderables de orígenes diversos. Es claro que lo expuesto anteriormente repercute en las sociedades con variados valores éticos en la política, el marco jurídico o la estructura social.

En síntesis, desde una visión de sistemas complejos, el territorio presenta una dinámica espacial sujeta, en términos generales, a tres comportamientos: 1) un régimen ordenado, 2) un régimen caótico y 3) un régimen próximo a la transición de fase entre el primero y el segundo (Kauffman 2000, 162). El primero se presenta cuando las leyes, reglamentos, otras disposiciones legales, la planeación urbana y demás normas influyen fuertemente en los individuos de la sociedad y encauzan sus actividades. En el régimen caótico, los agentes sociales producen patrones complejos e incluso aleatorios en el territorio. En este sentido, la aleatoriedad significa que el comportamiento futuro del territorio no puede ser previsto por patrones familiares y conocidos, salvo a muy corto plazo (Mainzer 2007, 424-425).

Waldrop (1992, 12) describe el régimen próximo a la transición de fase entre el primero y el segundo o borde del caos como:

El borde del caos es donde las nuevas ideas y los genotipos innovadores están siempre mordisqueando los bordes del statu quo, y donde incluso las viejas guardias más arraigadas eventualmente serán derrotadas... El borde del caos es la zona de batalla constante entre el estancamiento y la anarquía, el único lugar donde un sistema complejo puede ser espontáneo, adaptable y vivo.

O bien como Kauffman (2000, 22) lo explica:

“Las comunidades de los agentes coevolucionan hasta el "borde del caos" entre comportamientos superrígidos y superfluidos”.

Lo anterior no significa que el territorio solo pueda tipificarse en alguno de estos regímenes, ya que también se han observado en el territorio situaciones donde se presentan combinaciones de los tres; una analogía de este fenómeno son las ondas estacionarias producidas en los ríos por la presencia de rocas.

En resumen, sin importar en que régimen se encuentre el territorio, las reglas de construcción o de inferencia de un predio (sintaxis) siempre se mantienen o se cumplen. En cambio, las condiciones o metarreglas (semántica) dependen del o los regímenes en que se encuentre el territorio.

#### 4. LA CLAVE DE PEANO COMO REGISTRO ORGANIZADOR

Derivado de los procesos de interacción con la sociedad y tomando en consideración el trabajo realizado en el 2010 por la Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL, y Instituto Nacional de Administración Pública, INAP, en los problemas del catastro y el registro, se identificó la necesidad de resolver los siguientes tres problemas, con el propósito de cumplir el objetivo de que la información de los inmuebles sea replicable, calculable, tenga unicidad y sea independiente de la tecnología:

1. Automatizar el proceso de la construcción de las claves catastrales (cédula catastral).
2. Que la clave catastral esté vinculada con el RPP, con el Registro Agrario Nacional (RAN) y con los demás registros federales y municipales cuya gestión implica el uso de la información catastral.
3. Establecer un seguimiento evolutivo de todos los predios manejados.

Si bien no es posible evitar el comportamiento de los agentes sociales que provocan las burbujas inmobiliarias, las devaluaciones, la evasión de impuestos o la violación a las leyes, sí es posible establecer un registro organizacional con significado espacial que: a) contemple los aspectos operativos tomando en cuenta los objetivos y principios del registro y el catastro, así como las condiciones demandadas en los puntos anteriores; b) cuente con una visión unificadora del registro y el catastro para el seguimiento de todos y

cada uno de los predios (sintaxis); c) enlace y apoye a otros sistemas funcionales (semántica), como por ejemplo el sistema de administración territorial; d) cumpla con la capacidad de ser replicable y calculable (con información homogénea y verídica); e) sea independiente de la tecnología empleada (software comercial); y f) permita conocer aspectos espacio-temporales del predio, como el dónde está y el cuándo fue dado de alta.

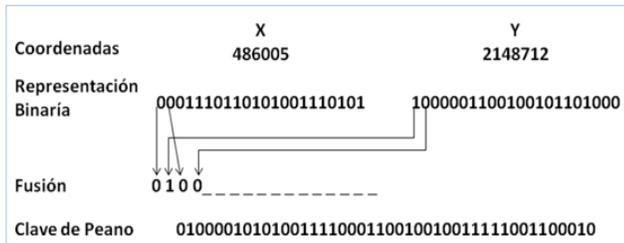
Como ya se mencionó, el bloque básico de construcción del territorio es el predio, donde convergen el registro y el catastro, y que de manera natural permite establecer la interoperabilidad sintáctica entre ambos.

En 1890 Giuseppe Peano (University of St. Andrews, 2013) presentó la función que lleva su nombre y que permite llenar el espacio bidimensional, el plano, con una curva. Esta función asocia a cada punto  $(x, y)$  del espacio bidimensional un punto en una recta  $(R)$ . Tal propiedad de la función de Peano permite garantizar la asignación de una clave numérica única a cada punto geográfico identificándolo por sus coordenadas geográficas. En la práctica, la asociación de la clave de Peano a las coordenadas geográficas está sujeta a criterios que deben asumirse. Aquí asumimos que las coordenadas geográficas han de expresarse en la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) o una variante de la misma, por ejemplo, mediante la adición o sustracción de un vector constante para constituir un sistema coordinado propio del ámbito geográfico de interés. También se asume que las coordenadas han de expresarse en metros, sin fracciones. Y en otro nivel pero sobre el mismo punto, también se asume la existencia de una cartografía oficial compatible o comparable con recursos externos tales como Google Earth® o lecturas de posición realizadas con receptores GPS.

El sistema TIGER de la Oficina de Censos de los Estados Unidos usó la clave de Peano para organizar su cartografía censal. A este respecto, Marx (1986) explica:

La finalidad de la guía o celda es encontrar rápidamente el punto más cercano en el archivo TIGER para cualquier punto dado en un mapa. Para lograr esto, el directorio está ordenado en una secuencia espacial única por una clave de Peano. Para producir una clave de Peano, la computadora funde bits binarios alternos de la latitud y

la longitud para cada valor de punto, produciendo un nuevo número binario que es almacenado en un arreglo de una dimensión (figura 1).



**Figura 1. Fusionamiento de los valores de la latitud y longitud para crear una clave de Peano**

Como ya se mencionó, lo interesante de la clave de Peano es que bajo este mapeo de  $R^2 \rightarrow R$  se encuentra escondido el espacio, por lo que la clave equivale a una mojonera virtual sobre cada metro cuadrado de territorio. Es fácil ver que esta clave es única y evita la duplicidad de registros; en caso de duda, se puede decodificar la clave, recuperar la latitud y longitud y llevarnos al predio, sin recurrir a recursos que pudieran vedarse.

Pero no basta lo anterior. La clave predial propuesta cuenta con una característica temporal, la fecha, que se conjunta con la clave de Peano, con lo cual su potencial se incrementa al permitir el manejo de información espacio-temporal y hacer el seguimiento de los predios en su dinámica evolutiva y constitutiva del territorio. Aquí se sugiere la posibilidad de emplear el día juliano, fácil de obtener en internet, para evitar confusiones en el manejo de fechas (y horas) en la base de datos.

Es importante señalar que por razones históricas, por diferencias en sus propósitos y objetivos, y por las limitaciones preexistentes, la información sustantiva, en particular la referente a la localización o ubicación y a las características físicas espaciales de los predios en el registro y el catastro, no es en principio la misma; esto es, no es idéntica o al menos compatible en los asientos realizados en el registro o en el catastro. En principio, la información de la propiedad es de índole local, así como relativa al interior del predio, las dimensiones y colindancias, etc., mientras que la información catastral considera los planos de construcción además de cualidades y características zonales o regionales, geoespaciales y servicios municipales.

No es tarea simple o fácil la de conjuntar la información proveniente de uno y otro. Las realidades actuales de los predios, reflejadas en una cartografía a escala grande, donde convergen ambas instituciones, podrán ser enlazadas por la clave de Peano al integrar esta en cada uno de sus registros asociados a dichos predios.

Considerando lo dicho hasta aquí, en una primera etapa de conjunción del registro y el catastro, se recomienda emplear la cartografía mencionada y asociar la clave de Peano (incluida la fecha) a un punto al interior de cada predio. Este punto es representativo del predio y puede utilizarse como punto de enlace entre la cartografía y la clave. Con este hecho, se está anclando el predio al territorio y este anclaje no se verá afectado por las actualizaciones o cambios nominales (límites estatales, municipales, distritales, etc.), de datos finos como números de manzana, nombre de calle o nombre del propietario, e incluso por las contingencias territoriales. Bajo esta premisa, al tener un documento oficial con la clave de Peano y los datos del propietario de un predio, este podrá localizarse geoespacialmente, sin necesidad de ir a la base de datos, con solo decodificar la clave de Peano para obtener las coordenadas geográficas que, al proporcionarlas a un buscador como Google Earth®, nos llevarían al lugar donde se ubica el predio.

Para el caso cuando ya se tengan los polígonos de los predios y esté avanzada la etapa de transición, se debe utilizar una metodología que garantice un punto interior que sea replicable, calculable y mantenga la unicidad, como por ejemplo, la metodología de Chebyshev, que consiste en buscar el círculo más grande inscrito en el polígono del predio, sea este convexo o no, y aunque excepcionalmente puedan presentarse varias soluciones, es fácil adoptar una regla para la selección de una de ellas.

## 5. EL SEGUIMIENTO EVOLUTIVO DE LOS PREDIOS

Es obvio que la información de cada polígono estará almacenada en una base de datos diseñada para manejar datos espaciales de manera eficiente, con un índice que ayude a recuperar elementos de datos espaciales rápidamente de acuerdo con su ubicación espacial, y con una estructura dinámica que responda a esta necesidad, como la utilizada por ejemplo con un índice R-tree (Guttman, 1984). Tengamos presente que la función de Peano juega un papel importante en las

estructuras de datos conocidas como Quadrees, empleadas en las bases de datos relacionales.

Con la definición del dónde (clave de Peano) y el cuándo (fecha de creación) de un predio, se dan los primeros pasos en la construcción de la clave predial. Sin embargo, para establecer una estructura organizacional del registro básico del predio (RBP) se requieren otros componentes como su estado, activo o inactivo, con un papel crucial en el seguimiento temporal en una base de datos, en la que los registros no se dan de baja ni desaparecen, sino sólo cambian su etiqueta a inactivo, y sirven para rastrear la historia o genealogía de los predios actuales en un futuro. Además de los actuales asientos del registro y el catastro, el RBP debe también poder incluir otras claves que pudieran ser necesarias o convenientes, como se muestra en la siguiente tabla.

Peano	Fecha	Registro	Catastro	Otros	Activo

Tabla 1. Estructura organizacional del registro básico del predio (RBP)

Dejamos para una etapa posterior el cómo debe consolidarse la información conjunta. Por ahora, pensamos que deben conservarse como tales la información registral y catastral.

Con el RBP se puede establecer un nuevo concepto que denominaremos **padre-hijo** con objeto de dar seguimiento espacio-temporal a la dinámica compleja de cada predio. Conjuntando las reglas de construcción o inferencia con el concepto padre-hijo, se establecen las tres relaciones siguientes:

Relación	Padres		Hijos
Segregación	1	:	n
Fusión	m	:	1
Alta	-	:	1

Tabla 2: Relaciones padre-hijo

Es claro que tanto los padres como los hijos generados en este proceso tendrán su RBP.

Desde el punto de vista computacional, el árbol genealógico de cada predio no se comporta como en las tradicionales estructuras de datos de los árboles (Wirth 1984, 202 - 291), ya que las relaciones de segregación y fusión tienen comportamientos complejos. Ambas

funciones tienen su origen y significación en las intencionalidades de los agentes sociales con su territorio. Además, al tener la segregación una relación **1:n** (uno a muchos), donde **n** es el número de hijos, provoca que esta sea una relación no lineal y que se requiera de hojas variables. De la misma forma, al tener la fusión una relación **m:1** (muchos a uno), donde **m** es el número de padres, se rompe la clásica linealidad de las estructuras de datos de los árboles, provocando el enmarañamiento del árbol genealógico. Estas características conducen a la necesidad de utilizar una estructura dinámica que permita llevar el seguimiento espacio-temporal de cada uno de los predios del territorio. Para ello, primeramente es necesario establecer la relación padre-hijo en una sola estructura, como la mostrada en la figura siguiente.

RBPh	RBPP
...	...

Figura 2. Relación padre-hijo

En este caso RBPh es la estructura organizacional del registro básico del hijo y RBPP es la estructura organizacional del registro básico del padre.

Las figuras 3 y 4 nos dan una idea de cómo podría ser la estructura organizacional para el seguimiento de los predios en el ámbito territorial al aplicar la segregación y la fusión.

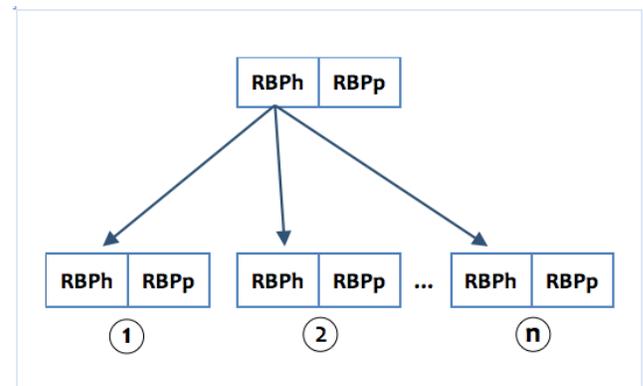


Figura 3. Estructura organizacional de Segregación

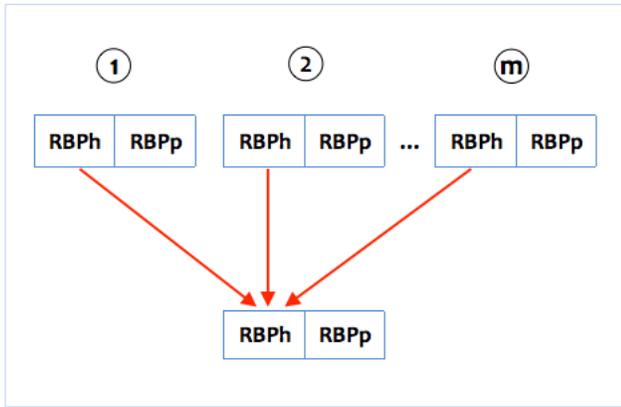


Figura 4. Estructura organizacional de Fusión

El caso de alta se muestra en la figura 7.

Para aplicar estas relaciones se requiere contar, de antemano, con una cartografía confiable en relación con la representación de los predios existentes (rigurosamente verificada en este tenor) de tal forma que dichas relaciones reflejen las acciones realizadas por los agentes sociales con los predios, antes de integrarlas a la base de datos geoespacial que maneja todos los árboles genealógicos de los predios del territorio. Las figuras 5, 6 y 7 ilustran como se realizan las relaciones de fusión, segregación y alta.



Figura 5. Ejemplo de Fusión aplicada a un predio



Figura 6. Ejemplo de Segregación aplicada a un predio



Figura 7. Ejemplo de Alta aplicada a un predio

Aunque en un prototipo ya se bosquejó una base de datos para el seguimiento de los predios, aún hay trabajo de investigación por realizar en la búsqueda de la base de datos territorial más adecuada. Preparata y Shamos (1985, 6) describen algo que ocurre en la geometría computacional:

Una cualidad fundamental de esta disciplina es la comprensión de que las características clásicas de los objetos geométricos no son con frecuencia susceptibles de establecerse en el diseño de algoritmos eficientes. Para superar este problema, es necesario identificar los conceptos útiles y establecer las propiedades que sean propicias para cálculos eficientes. En pocas palabras, la geometría computacional debe cambiar la forma (siempre que sea necesario) de la disciplina clásica, en su nueva encarnación computacional.

Algo similar se requiere en el diseño de las bases de datos geoespaciales, sobre todo al construir mecanismos adecuados para el manejo eficiente de la información geoespacial de las relaciones padres-hijos (RBP) que llevan el seguimiento genealógico de los predios.

Un sistema construido sobre la estructura mencionada permite el seguimiento evolutivo de los predios existentes de manera local o puntual, y constituye un sólido fundamento para realizar el monitoreo, no sólo en el nivel sintáctico (como cambios de uso de suelo,

registro de permisos, ampliaciones y otros), sino también en el nivel semántico, ya que nos proporciona recursos para la aplicación de modelos, de manera tal que permite emplear dicho sistema para la planeación urbana, la gestión y política públicas y la administración territorial mencionadas anteriormente.

#### 6. EL LEGO® URBANO Y SU PAISAJE TERRITORIAL

Cuando escuchamos “bloques de construcción” hay quienes pensamos en juguetes como el Lego®; este juguete consiste de piezas que encajan unas en otras. Los que hemos jugado con él, sabemos que con sus piezas se pueden construir cosas complejas. Ahora, imaginemos que estas piezas o bloques básicos son conceptos como el del padre-hijo que hemos encontrado en el análisis del territorio, y pensemos en todas las operaciones elementales de montaje o desmontaje al encajar un bloque en otro. No olvidemos que bajo el concepto de padre-hijo subyace el del predio. Este es el bloque de construcción físico que obedece las relaciones ya mencionadas (segregación, fusión y alta), al cual identificamos mediante la clave de Peano y la fecha. Ahora bien, los que hemos jugado con un Lego, también sabemos que para construir algo complejo, por ejemplo, un “pueblito”, nos enfrentamos a una gran variedad de estrategias, tácticas y logísticas que pueden utilizarse, y esta tarea se complica cuando hay varios jugadores, todos tratando de construir al mismo tiempo con diferentes modelos de conocimiento.

Aquí es pertinente hacernos la pregunta: ¿al interactuar con el territorio, exactamente cómo utilizan estas relaciones los agentes sociales? No es una pregunta fácil de responder pues depende de los deseos, intenciones, capacidades, utilidades, planes, etc., de los agentes sociales (Mainzer 2007, 12), así como de las interacciones que estos tengan con su territorio u otros territorios. Todos estos factores influyen en la toma de decisiones sobre qué actividades y acciones llevará a cabo un agente social con un predio. Se puede afirmar que estas reglas simples, al ser utilizadas por los agentes sociales, pueden generar patrones complejos e incluso aleatorios en el crecimiento urbano.

Ahora bien, el concepto padre-hijo nos lleva a una analogía del fenómeno de tener descendencia y al concepto de progenitor, que abre la puerta a los abuelos, nietos, a los de bisabuela y bisnieto, etc. Al respecto Hofstadter (2007, 84) explica:

Todos estos conceptos surgieron como consecuencia del anidamiento. La agregación de ‘hermano’ y ‘hermana’ dio pie a otras nociones con mayor grado de anidamiento: ‘tío’, ‘tía’, ‘primo’, y así hasta alumbrar, por fin, un concepto de más alto nivel aún: ‘familia’. (‘Familia’ implica un mayor grado de anidamiento porque se basa en todos los conceptos anteriores.)

En este sentido, cada predio al tener su propio árbol genealógico, sólo que un poco diferente a lo arriba descrito, pues en la relación de segregación de predios hay solo un progenitor; en la fusión se presenta la situación de tener dos o más progenitores; y la relación de alta puede ser un cambio de régimen al provenir de terrenos no incluidos previamente. Sin embargo, igual que lo mencionado por Hofstadter, estos conceptos emergen de la observación de patrones anidados jerárquicamente unos dentro de otros, por lo que este anidamiento puede crecer de manera arbitraria, en función de cómo los agentes sociales utilicen las tres relaciones. En consecuencia, aunque en todas las circunstancias se aplican las mismas reglas, bajo estas se esconde la métrica que restringe, acopla y organiza a los agentes sociales, aunque esta organización también depende de la existencia de otros factores (López-Caloca 2011, 147), que influyen en el proceso de seguimiento de un predio y, por consiguiente, en la construcción de su árbol genealógico. Como ya se

mencionó, estos factores pueden ser locales o globales. Los primeros dependen del comportamiento de los agentes sociales que interactúan directamente con el predio, mientras que los segundos, de los regímenes que se encuentren en el territorio (orden, borde del caos, caos y sus combinaciones). En este sentido, en función de la sucesión y evolución de los eventos se pueden presentar diferentes escenarios, que van desde lo más predecible y definido en las políticas públicas, en la planeación del desarrollo urbano, etc., hasta lo absolutamente inesperado (Hofstadter 2007, 45).

Por otra parte, la idea de “familia” de Hofstadter abre nuevas puertas y horizontes conceptuales para un análisis más profundo del territorio. Es natural que este concepto nos lleve a pensar en “manzanas”, “colonias”, “barrios”, “localidades” o “ciudades”, como estructuras más complejas. Pero también podría tomar otros tintes o significados que permitan abordar otros problemas; por ejemplo, el concepto “club” relacionado con los colindantes de un predio puede ser útil a los notarios o en los procesos legales.



Figura 8. Concepto de club

Subiendo de nivel conceptual, uno más sofisticado podría ser el de “aglomerados” de empresas manufactureras, de servicios, etc., y entrelazarse con el concepto de “cluster”.

Aunque los predios, los clubs, los “cluster” u otras estructuras son importantes al realizar un estudio registral o catastral, su aportación es muy valiosa en la planeación del desarrollo urbano y regional, en la gestión y política públicas y en otras actividades. Sin embargo, esto no es suficiente para que estas aportaciones sean determinantes para el seguimiento y conducción del territorio, o para lograr una comprensión que permita la previsión y la toma de decisiones responsables que puedan evitar una crisis en

la política, la economía o la sociedad. Para ello se requiere mucho más que limitarse a entes físicos como los descritos. En este sentido, Hofstadter (2007, 26) nos presenta una analogía que puede ayudar a comprender esta complejidad:

Equivaldría a afirmar que la crítica literaria debe centrar su atención en el papel y en la encuadernación, en la tinta y en su química, en los tamaños de páginas y en la anchura de los márgenes, en los tipos de letra, en la longitud de los párrafos, y así sucesivamente. Pero ¿qué hay de las elevadas abstracciones que habitualmente consideramos como el verdadero corazón de la literatura: argumento y personajes, estilo y punto de vista, ironía y humor, alusiones y metáforas, identificación y distancia? ¿Detrás de cuáles de esos objetos de los que supuestamente se ha ocupado la crítica literaria se ocultan tales esencias? Mi punto de vista es sencillo: las abstracciones son claves...

En consecuencia, si nuestro propósito es desentrañar en qué consiste el territorio dentro de la búsqueda de cuestiones fundamentales del mismo que apoyen la planeación del desarrollo urbano y regional, la gestión y la política pública, y otras actividades, se requiere analizar diferentes niveles de abstracción organizacional considerando que hay utilidades distintas, dependientes del contexto y del propósito o del tipo de tarea de alto nivel que toque cumplir. En este sentido, el panorama se puede aclarar sólo cuando nos centremos en una visión amplia del territorio, en lugar de hacer un análisis con un grado de detalle cada vez más fino de sus bloques de construcción (Hofstadter 2007, 27).

Aquí surgen preguntas como: ¿Por qué en este caso el análisis de abajo hacia arriba no tiene el mismo peso que el de arriba hacia abajo? ¿Por qué sí el nivel de abajo da sustento al de arriba, el de abajo no tiene la misma representación a un nivel global?

Respondiendo a la primera pregunta, diremos que el nivel superior, por su misma naturaleza parece tener mayor poder explicativo, pues nos brinda una mejor perspectiva y orientación, ya que con una representación más intuitiva del territorio se pueden observar significados ocultos y sutiles, donde no se esperaban por no ser visibles de abajo hacia arriba. Sin embargo, curiosamente el nivel superior parece

prescindir del rasgo más importante: de los predios (Hofstadter 1979, 326), que son el sustrato inviolable que hace posible la existencia del entrelazamiento superior; en este sentido, es evidente que para tener una comprensión real de los procesos del territorio es fundamental un análisis científico y la interpretación de los procesos físicos de los predios (Heisenberg 1990, 77), pues los predios a la vez que fundamentan también dan consistencia y sustento a los procesos sociales. Esta es la diferencia entre la semántica y la sintaxis; así, siguiendo la analogía de Hofstadter, los predios y sus reglas (la sintaxis) son el medio, pero no el mensaje (la semántica). Sin embargo, lo paradójico de todo esto es que si queremos tener una visión completa del territorio, requerimos de un punto de vista unitario o integral, es decir, un pensamiento científico y transdisciplinario que permita tender puentes entre los procesos físicos y los procesos sociales, para una mejor comprensión del territorio; se puede ver un ejemplo práctico en López-Caloca y Muñoz-Goncén (2012), quienes ilustran un entrelazamiento entre modelos de percepción remota y la política pública urbano-ambiental.

En cuanto a la segunda pregunta, es más probable que los territorios emerjan de abajo hacia arriba, tal como Lewin (1992, 12-13) narra sobre cómo Chris Langton ve la emergencia en los sistemas complejos:

A partir de la interacción de los componentes individuales (abajo) emerge algún tipo de propiedad global (arriba), es algo que no pudo predecirse de lo sabido de los componentes... Y la propiedad global que emerge de este comportamiento se retroalimenta para influir en el comportamiento de los componentes individuales de abajo que lo produjeron.

Y aunque nuevamente Langton resalta la importancia que tiene lo global y su influencia en el comportamiento de los agentes, aquí hay algo que también debe considerarse: Hofstadter (1979, 321) dice que si pudiéramos contemplar todo el proceso de abajo hacia arriba con una película más rápida que el mismo proceso, podríamos ver la emergencia de los distintos mecanismos que fueron seleccionados como respuesta natural a presiones externas, las cuales llevan a que el territorio se comporte tal como lo hace. En esencia, en el proceso evolutivo del territorio se establece una

intrincada organización propagativa y acumulativa (Kauffman, 2000, 105) que permite el desarrollo del mismo. Esta organización propagativa y acumulativa influye en la formación de estratos estructurales organizativos, jerárquicos y heterárquicos, así como en la funcionalidad y el comportamiento complejo del territorio.

Después de varias décadas de trabajo empírico se han desarrollado marcos teóricos como la Geocibernética con metodologías que ayudan en el análisis y comprensión del territorio. Este marco teórico conduce a la inclusión de los paradigmas preexistentes, uniendo métodos cuantitativos y cualitativos, transdisciplinarios, a través de una visión cibernética, compleja y caótica, producto de la estructura, el funcionamiento y el comportamiento de los sistemas vivos y sociales que interactúan en el territorio (Reyes y Parás, 2012). Entre estos métodos se encuentra el método Reyes (desarrollado por Carmen Reyes) que ofrece un puente heurístico, entre los dominios empíricos y el conocimiento, en la búsqueda de soluciones a las necesidades sociales (López-Caloca 2011, 117-129); en este no sólo es valioso el conocimiento científico (explícito y formal), sino también se reconoce la creatividad y el conocimiento tácito adquirido y adaptado progresivamente al medio ambiente, a través de la experiencia profunda de la sociedad demandante. Algo que caracteriza esta metodología es que las soluciones están diseñadas geocibernéticamente a través de un *proceso de modelado* (López-Caloca *et al.*, 2014). En él se construyen puentes transdisciplinarios entre los diferentes modelos de conocimiento para integrar una base común de conocimientos, que conceptualmente sintetiza el conocimiento de la sociedad demandante y el conocimiento transdisciplinario y científico. Es importante remarcar que estos conceptos fundamentales y concisos son resultado de un proceso de selección y autoorganización, producto de la conversación entre los actores sociales y científicos (López-Caloca *et al.*, 2014).

Einstein (1982, 294-295) explica que:

La libertad de escogencia [de conceptos] es de una clase especial; no es similar a la de un escritor de ficción. Más bien, es similar a la de alguien dedicado a resolver un crucigrama bien diseñado. Puede, es verdad, proponer cualquier palabra como solución;

pero sólo hay una palabra que realmente resuelve el crucigrama en todas sus formas.

Ya se mencionó que, en situaciones caóticas, la predicción a corto plazo es posible en sistemas complejos (Mainzer, 2007, 435). Además, se ha mencionado que el conocimiento científico y la experiencia de la sociedad demandante son importantes en la selección de los conceptos. Si tomamos esto en consideración, así como lo mencionado por Einstein, podemos seguir al territorio con un monitoreo continuo (interno y externo), para identificar cambios y verificar si los conceptos seleccionados siguen siendo vigentes en el nuevo contexto o se requiere introducir nuevos cambios.

Los conceptos fundamentales pueden verse como semillas, a partir de las cuales se desencadena la construcción de una red de historias en donde se describen las complejas relaciones que intervienen en los procesos naturales y sociales e interactúan en territorios con nuevos modelos y nuevos conceptos emergentes. Este proceso continúa sucesivamente hasta alcanzar un nivel en el cual los conceptos derivados de las historias de la red se convierten en modelos cuantitativos: matemáticos, físicos, estadísticos y heurísticos; o en metáforas, en la ausencia de la deducción. Esta red semántica, en su conjunto, es llamada Red Emergente de Conocimiento, y debe reflejar la visión holística del paisaje territorial descrito anteriormente (López-Caloca *et al.*, 2014).

## 7. COMENTARIOS FINALES

Muchas veces escuchamos y/o nos muestran ejemplos donde un pequeño número de reglas o leyes pueden generar sistemas de sorprendente complejidad. Este caso se pudo comprobar al hacer el análisis del catastro y registro, donde los agentes sociales, al utilizar las tres reglas pueden provocar (también analizar o explicar) la emergencia de estructuras tan complejas como las localidades, las ciudades, las megalópolis, etc. Esta complejidad, resultado del comportamiento de los agentes sociales, no es precisamente la complejidad de patrones aleatorios, pues existen características reconocibles como las mostradas en las figuras 5, 6 y 7. Como se pudo observar, la dinámica de estos sistemas es anidada y cambiante en el tiempo, lo que la hace imposible de predecir; sin embargo, esto no impide que

sea factible el seguimiento espacio-temporal de cada predio.

La clave de Peano es, en cierto sentido, única. Permite acceder al predio sin recurrir a la base de datos (a través de la decodificación de la clave) desde el registro o el catastro, o bien desde una boleta predial que la contenga, ya que la clave siempre está viendo al territorio. No le afectan los cambios administrativos (nacionales, estatales, municipales, colonias, etc.), e incluso cambios tan finos como los de manzana, nombre de calle o nombre del propietario del predio o lote, pues dicha clave está anclada al territorio. Conjuntamente con la fecha (día juliano) permite hacer el seguimiento espacio-temporal de cada uno y de todos predios, además de facilitar la identificación de registros duplicados. Ayuda a la autorregeneración en caso de pérdida de información, ya sea en una reconstrucción del tejido local o en una reconstrucción total (pues es fácilmente replicable). Su búsqueda o localización es eficiente, si la clave de Peano se maneja con una estructura de datos del tipo R-tree o R\*-tree. Es similar a otras claves utilizadas en países como Estados Unidos, Francia y Holanda. Todo esto se debe a las tres reglas inmutables, que generan los cambios de configuración y no le afectan los diferentes regímenes del territorio. Aunque sabemos que la clave de Peano no es el último eslabón de la cadena, pues en la ciencia y en la tecnología no hay certeza absoluta, puede ser un referente y un escalón en las futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos para el manejo eficiente de los predios.

Al seleccionar los bloques de construcción (predios) y combinarlos, establecemos las reglas que gobiernan al territorio en forma comprensible; así, el bloque básico de construcción (predio) lleva al concepto de padre-hijo; el de padre-hijo, al de familia; y el concepto de familia, al de “clúster”; sin embargo, no es evidente que esta organización jerárquica o camino lineal continúe en forma ascendente al encontrarnos con un territorio dinámico, siempre cambiante, y con fenómenos emergentes que dependen de procesos que están compuestos de muchas partes, conectadas o separadas, y con interacciones dinámicas, internas y/o externas.

Actualmente hay una tendencia a mejorar la previsión y la toma de decisiones. Los tomadores de decisiones desean estar preparados frente a los fenómenos

territoriales, por lo que buscan métodos que les permitan tomar decisiones responsables, considerando los efectos colectivos de los agentes sociales que interactúan en el territorio, como es el caso de la dinámica urbana, o bien, los efectos que pudieran producirse al estar la sociedad integrada a una dinámica mundial de desarrollo sociocultural. Ellos saben que las decisiones deben tomarse, en la medida de lo posible, con un conocimiento de que estos efectos colectivos no lineales no tengan repercusiones indeseables en la gestión y la política.

Un gran reto de la geomática es la generación de modelos cuantitativos geoespaciales (matemáticos, físicos, estadísticos, heurísticos), modelos cualitativos con estructuras organizacionales y conceptuales del territorio, instrumentos de gestión y política pública e institucional, métodos de análisis (métodos Reyes y Estrabón, entre otros), así como otros recursos que traduzcan el conocimiento profundo proveniente del pensamiento científico y transdisciplinario en la identificación de lo esencial de las nuevas situaciones territoriales y lo pongan a disposición de los tomadores de decisiones para la resolución de los problemas sociales y naturales. Son ellos quienes finalmente decidirán si la solución es pertinente o no, dependiendo del contexto. Todo esto es lo que Carmen Reyes, conceptualmente, llama *inteligencia territorial*.

Actualmente el grupo de trabajo desarrolla una nueva línea de investigación llamada Geomática Compleja orientada a lo expuesto en este artículo. Tiene como marco teórico la geocibernética y como marco conceptual la cognición, los sistemas complejos, la transdisciplina y el territorio. Aunque estos últimos son de reciente cuño, ya están en una etapa de consolidación, al haber mostrado adaptabilidad, robustez y fortaleza con el paso del tiempo, y porque sus conceptos proporcionan herramientas que sustentan el modelado del comportamiento dinámico de los procesos que ocurren en el territorio.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores han explorado y promovido un nuevo paradigma en el manejo catastral y registral. Individualmente han contribuido sustancialmente a partir de su propia formación científica de manera transdisciplinaria y colaborativa. Un agradecimiento especial a Carmen Reyes, Alejandra López, Jesús Trujillo,

Enrique Muñoz-Goncén y Alberto Porras por sus comentarios y recomendaciones conceptuales, así como a Jorge Dávila por sus comentarios sobre el texto.

### INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Fernando López-Caloca es profesor Investigador Titular y docente en CentroGeo. Es doctor en Geomática, por el CentroGeo. Desde 1999 trabaja en líneas de investigación básica y aplicada, siendo sus temas de interés Geocibernética, Mapas Mentales Colectivos, Transdisciplinariedad y Geomática Compleja entre otros. Ha trabajado en proyectos de desarrollo tecnológico tales como los atlas cibercartográficos, el método Estrabón, soluciones complejas en geomática y catastro, entre otros.

E-mail: ferlopez@centrogeo.edu.mx

Rodolfo Francisco Javier Sánchez Sandoval es maestro en Geomática por el CentroGeo, de donde es actualmente investigador. Entre otros, fue miembro del equipo del Sistema Corporativo de Información Geográfica (SICORI) de Petróleos Mexicanos, participó en el diseño y operación del Sistema de Información Geográfica Electoral del Registro Federal de Electores de 1993 a 2000. Su primera aportación data de 1974 con el Sistema Geomunicipal de Información de la Secretaría de Educación Pública.

E-mail: rsanchez@centrogeo.edu.mx

---

### REFERENCIAS

- Einstein, Albert. 1982. *Ideas and Opinions*. Nueva York, Three Rivers Press.
- Fausto, Adriana. 2001. *Mecanismos de incorporación de suelo al desarrollo urbano*, 2a. edición. Guadalajara, Universidad de Guadalajara.
- Guttman, Antomn. 1984. "R-Trees A Dynamic Index Structure for Spatial Searching". SIGMOD '84 Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD International Conference on Management of data. Disponible en: <http://www-db.deis.unibo.it/courses/SI-LS/papers/Gut84.pdf>
- Heisenberg, Werner. 1990. *Across the Frontiers*. Woodbridge, CT: Ox Bow Press.
- Hofstadter D. 1979. *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*. Nueva York, Basic Books Inc.
- Hofstadter, Douglas. 2007. *I am a Strange Loop*. Nueva York, Basic Books Inc.
- Holland, John. 1995. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Nueva York, Basic Books Inc.
- Holland, John. 2012. *Signals and Boundaries: Building Blocks for Complex Adaptive Systems*. Cambridge, MA, The MIT Press.
- Hilhorst, Jos. 1976. *La teoría del desarrollo regional: Un intento de síntesis*. ILPES Planificación Regional del Desarrollo. Siglo XXI Editores.
- Isard, Walter. 1960. *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science*. Cambridge, MA, publicado conjuntamente por Technology Press del Massachusetts Institute of Technology y Wiley, Nueva York.
- ISO/IEC JTC 1 N7409, 2004. "Comments Received on JTC 1 N 7335, Responses on Sophia Resolution #39-Development of a Solution for the Unambiguous Identification and Interworking of Codes Representing Countries, Language and Currencies (prepared on behalf of SC 32/WG 1)". Acceso Octubre del 2013. <http://www.unicode.org/L2/L2004/04126-n2733-canada-cmts%20.pdf>
- Kauffman, Stuart. 2000. *Investigations*. Oxford, Oxford University Press.
- Lewin, Roger. 1992. *Complexity: Life at the Edge of Chaos*. Chicago, The University of Chicago Press.
- López-Caloca, Alejandra y Muñoz-Goncén, Enrique. 2012. "Aportaciones desde la geocibernética y la percepción remota a la política pública de áreas verdes urbanas". *Geocibernética* Año 1, No.1, (Dic 2012). Acceso en Junio del 2013. <http://www.geocibernetica.org/journal/>
- López-Caloca, Fernando. 2011. "Un aporte teórico: El prototipo geomático". Tesis de doctorado. Ciudad de México, Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo".
- López-Caloca, Fernando, Sánchez-Sandoval Rodolfo, Reyes-Guerrero Carmen y López-Caloca, Alejandra. 2014. "From Cybercartography to the Paradigm of Geocybernetics: A Formal Perspective". En *The Theory and Practice of Cybercartography*, editado por D.R.F. Taylor, Amsterdam, Elsevier. (En prensa.)
- Martínez-Viveros, Elvia, López-Caloca, Fernando. 2010. "A Cybercartographic Tool for Supporting Disaster Prevention Planning Processes and Emergency Management in Mexico City". En *Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis*, editado por Showalter P. y Lu Y., New York, Springer.
- Marx, Robert. 1986. "The TIGER System: Automating the Geographic Structure of the United States Census." *Government Publications Review*, Vol 13, Issue 2, (March-April): 181-201.
- Mainzer, Klaus. 2007. *Thinking in Complexity: The Computational Dynamics of Matter, Mind, and Mankind*. Berlín, Springer.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Oficina Regional para América Latina y el Caribe, y Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A.C. (CIGGJLTAC), 2003. *Geo Ciudad de México: Perspectivas del medio ambiente*. Ciudad de México, PNUMA y CIGGJLTAC.

- Preparata, Franco. y Shamos, Michael. 1985. *Computational Geometry: an introduction*. Berlín, Springer-Verlag.
- Reyes, María del Carmen y Parás, Margarita. 2012. "Geocybernetics: a pathway from empiricism to cognitive frameworks". *Geocibernética* Año 1, No.1, (Dic 2012). Acceso Junio del 2013. <http://www.geocibernetica.org/journal/>
- Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Administración Pública 2010. *Modelo óptimo de catastro, Secretaría de Desarrollo Social, Versión 3.4 del 24 de febrero de 2011*.
- University of St. Andrews. 2013. "Giuseppe Peano" History & Biographies. Última mod. Diciembre 1997. Acceso Octubre del 2013. <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/Biographies/Peano.html>
- Waldrop, Mitchell. 1992. *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Nueva York, Simon & Schuster.
- Wirth, Niklaus. 1984. *Algoritmos + estructuras de datos = Programas*. Madrid, Ediciones del Castillo.