Buscando un modelo organizador de la dinámica territorial

Sergio Fernando López-Caloca

Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo A.C. (CentroGeo)
México

Resumen

El predio es el bloque básico de construcción de una localidad, ciudad, metrópolis o país, regido por reglas invariantes que al ser utilizadas por los agentes sociales, generan estructuras emergentes de sorprendente complejidad ya que están entrelazadas con aspectos económicos, sociales, culturales, políticos y factores psicológicos (deseos, intencionalidades, etc.) o éticos, entre otros. Aunque estas estructuras están bien definidas, 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 a la búsqueda de marcos teóricos como la geocibernética, y a líneas de investigación como la geomática y sociedad donde se establecen modelos, metodologías, instrumentos, esquemas, etc., con una visión científica y transdisciplinaria, para apoyar a la gestión y a la política en la toma de decisiones responsables.

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: clave de Peano, metarreglas.

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 que en el RPP la ubicación geoespacial de los predios se exprese en términos obsoletos, entre otros problemas.

El objetivo fundamental de este trabajo es establecer mecanismos que permitan la interoperabilidad de los flujos de trabajo (Holland, 1995, p 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), o bien en la planeación regional y urbana. 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 cuales son los puntos de contacto o entrelazamiento, dónde convergen y dónde se hacen uno (Hofstadter, 1979, p 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 espaciotemporal, son construcciones sociales, y están sujetos a las contingencias naturales y sociales del medio (López-Caloca, 2011, pp. 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. Pero, 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 que puede ser útil, y 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, pp. 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.

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, que contienen industrias, escuelas, hospitales, centros comerciales, oficinas, residencias y como ya se mencionó, espacios donde realizamos nuestras actividades. Como Hilhorst menciona al explicar el concepto de región basado en la observación:

> "*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*" (Hilhorst, 1976, p 51).

Esta idea también la comparte Fausto 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"* (Fausto, 2001, p 7).

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

> *"Typically this resource is passed from node to node, possibly being transformed along the way, and produces a chain of changes. The simplest examples come from economics. When you contract to build a house, you pay the contractor, who pays the tradesmen, who in turn*

buy food and other commodities, and so on, stage by stage through the economic network" (Holland, 1995, pp. 23-25).

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:

> *"… all the characteristics of a region and its very development path are thus intertwined in a maze of interdependencies. This maze interlaces interregional systems of population, resource patterns, industrial locations, local economies, social accounts, balance of payments positions, markets, central places and urban-metropolitan areas, administrative and political structure and institutions, and even values, motives, and social goals. It interlaces all these systems via interregional systems of interidustry (interactivity) linkage, of commodity flows and money flows, of population movements, and of communications, and, in general, of sociocultural interaction inclusive of decision-making processes"* (Isard, 1960, pp. 2-3).

Al observar los predios como símbolos, nodos de una red dinámica y cambiante, la semántica asociada asume una complejidad creciente cuando "*building blocks at one level of complexity are combined to get building blocks for structures at a higher level of complexity*" (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 territorial de la estructura organizacional de un predio, hacemos alusión a tres componentes: factores internos; factores fronterizos; y factores externos. Hasta ahora ya se han mencionado los factores dinámicos internos y externos 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, etc.

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, etc. 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 & López-Caloca, 2010, pp. 257-258, Fausto, 2001, p 8, PNUMA et al, 2003, p 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.

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, modificándolas ya sea legislando o meramente en los hechos. Como ejemplo, en *"Geo Ciudad de México. Perspectivas del medio ambiente"* (PNUMA..., 2003, pp. 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, p 7) 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)" (Fausto, 2001, pp. 7-8).*

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, p X) dice: "*autonomous agents do, every day, reach out and manipulate the universe on their own behalf*". 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 de América 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 (2007, p 154) explica: "*Thus a play or film can carry levels of meaning that the author never dreamt of*". 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 auto-referenciado, con agentes actuando con intencionalidades (Mainzer, 2007, p 431), complicado por las contingencias imponderables de orígenes diversos. Es claro que lo expuesto anteriormente repercute en las sociedades con variopintos 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 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, p 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, p 424-425).

Finalmente, el régimen próximo a la transición de fase entre el primero y el segundo o borde del caos como Waldrop lo describe:

> *"the edge of chaos - is were the components of a system never quite lock into place, and yet never quite dissolve into turbulence, either. The edge of chaos is where life has enough stability to sustain itself and enough creativity to deserve the name of life. The edge of chaos is where new ideas and innovative genotypes are forever nibbling away at the edges of the status quo, and where even the most entrenched old guard will eventually be overthrown… The edge of chaos is the constantly shifting battle zone between stagnation and anarchy, the one place where a complex system can be spontaneous, adaptive, and alive" (Waldrop, 1992, p12).*

O bien como Kauffman lo explica: "*Communities of agents will coevolve to an "edge of chaos" between overrigid and overfluid behavior*" (Kauffman, 2000, p 22).

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, no importa 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.

La clave de Peano como registro organizador

Derivado de los procesos de interacción con la sociedad y tomando en consideración el trabajo realizado por la Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL- Instituto Nacional de Administración Pública, INAP, (2010), 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) 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 ambas.

Oosterom (1999) se pregunta ¿por qué son necesarios los métodos espaciales? Y su respuesta es la de apoyar la selección espacial eficiente. Además, argumenta:

"A characteristic of spatial data sets is that they are usually large and that the data is quite often distributed in an irregular manner. A spatial access method needs to take into account both spatial indexing and clustering techniques" (Oosterom, 1999).

Hay diferentes métodos espaciales, pero nuestro interés fue la de explorar la representación de las llamadas "Space filling curves" y en particular la Morton que también se conoce como clave de Peano, r orden de N, u orden de Z; que ordenan los puntos en un espacio discreto bidimensional, transformando un problema bidimensional en una dimensión, por lo que se pueden combinar con una estructura de datos conocida, para el almacenamiento y recuperación unidimensional (Oosterom, 1999). En su trabajo Oosterom menciona que el ordenamiento Morton y el

ordenamiento de Hilbert son, en general, las mejores alternativas (they do not consider the Cantordiagonal, the Spiral and the Sierpinski orderings). Oosterom resume las propiedades cuantitativas de las curvas en:

"the total length of the curve, the variability in unit lengths (path between two cells next in order), the average of the average distance between 4 neighbours, and the average of the maximum distance between 4 neighbours" (Oosterom, 1999).

En 1890 Giuseppe Peano presentó la función que lleva su nombre y que permite llenar el espacio bidimensional, el plano, con una curva. (St. Andrews University). 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 ser asumidos. 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 coordenado 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 EEUU usó la clave de Peano para organizar su cartografía censal. Como Marx explica:

> *"The purpose of the 0-cell directory is to find rapidly the nearest point in the TIGER file to any given point on a map. To accomplish this, the directory is ordered in a unique spatial sequence by a Peano key. To produce a Peano key, the computer merges alternate binary bits from the latitude and longitude value for each point to produce a new binary number that is stored in a one-dimensional array. It is necessary to carry only the Peano key and a pointer to the 0-celllist on this 0-cell directory record. In the actual TIGER file 0-cell directory, the*

record carrys some other fields of data for processing convenience (ver Figura 1)" (Marx, 1986).

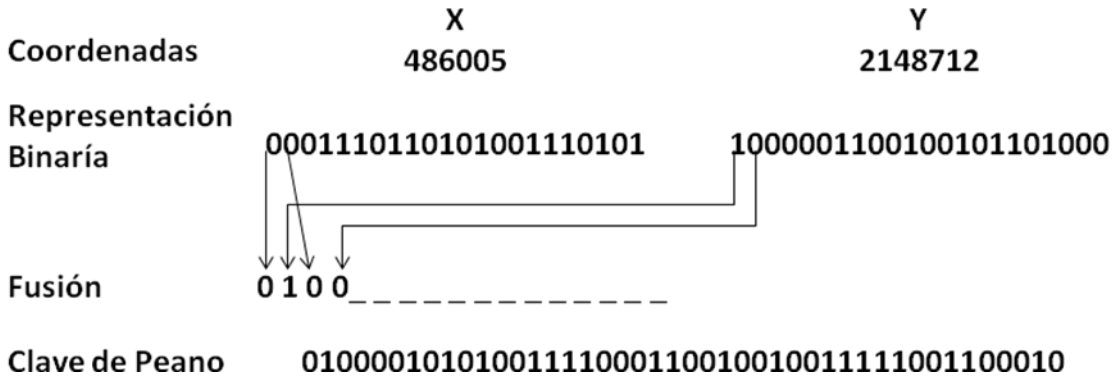


Figura 1. Fusionando los valores de la latitud y longitud para crear una clave de Peano.

Como ya se mencionó, lo interesante de la clave de Peano es que bajo este mapeo de $R^2 -> R$ 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, que evita la duplicidad de registros, y en caso de duda, es posible 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 pre-existentes, 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 son en principio las mismas, esto es, no son idénticas o al menos compatibles en los asientos realizados en uno u otro. En principio, la información de la propiedad es de índole local, al interior del predio, las dimensiones y colindancias, etc., mientras 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 integrarla en cada uno de sus registros asociados a dichos predios.

Considerando lo dicho hasta aquí, es recomendable en una primera etapa de conjunción del registro y el catastro, 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 ser utilizado como punto de enlace entre ambas. 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, éste podrá ser localizado 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®” que nos llevaría 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, debe ser utilizada 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.

Algoritmo para el cálculo de la clave de Peano

El algoritmo utilizado para el cálculo de la clave de Peano fue desarrollado por los estudiantes del CentroGeo: Pablo López y Julio Rodriguez. Aunque la versión que se presenta no es la optima,

los resultados fueron aceptables. El algoritmo comienza con construir una malla de puntos por cada predio, en este ejemplo es de 10x10 puntos, posteriormente se buscan los círculos que mejor se ajuste al interior del polígono, y se toma el primero que cumple con esta condición. El centro del círculo seleccionado es utilizado para generar la clave de Peano. La figura XX, muestra un ejercicio descrito.

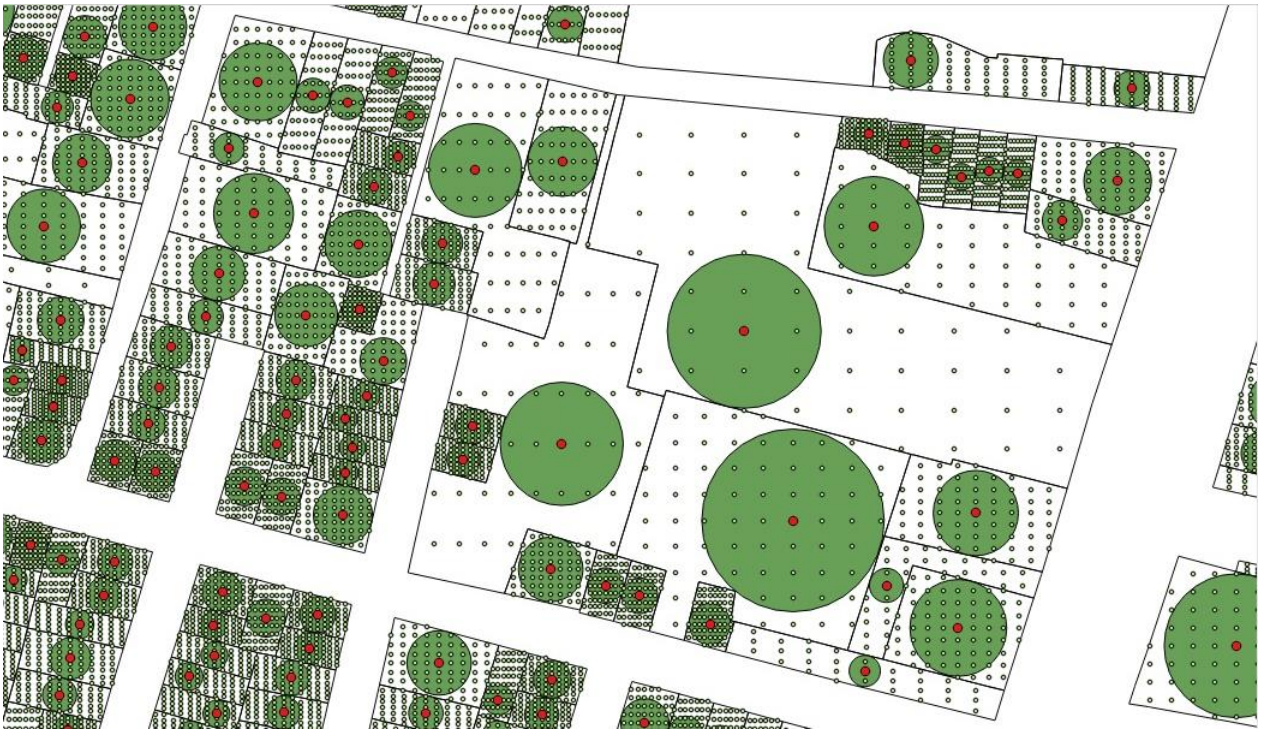


Figura XX. Calculo de la clave de Peano para los predios. La cartografía catastral fue tomada de: LABORATORIO PARA LA CIUDAD, ÁREA EXPERIMENTAL DEL GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

Algo importante de este proceso es que siempre que se ejecuta regresa el mismo punto, haciéndolo replicable, calculable y mantiene la unicidad. Además, el hecho de contar con los algoritmos, nos libera que en el futuro haya cambios de tecnología y el software comprado que realice este proceso, tenga problemas de funcionamiento.

El seguimiento evolutivo de los predios

Es obvio que la información de cada polígono estará almacenada en una base datos diseñada para manejar datos espaciales de manera eficiente, con un índice que le ayude a recuperar elementos de datos espaciales rápidamente de acuerdo a 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).

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 deben conservarse la información Registral y Catastral como tales.

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, 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 ésta 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, 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 siguientes figuras 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.

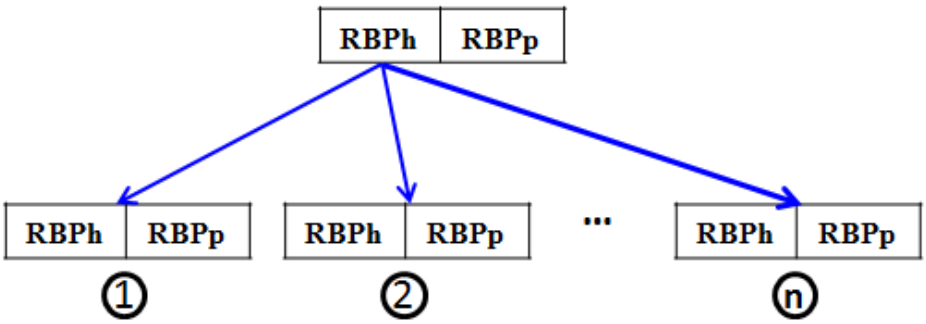


Figura 3. Segregación.

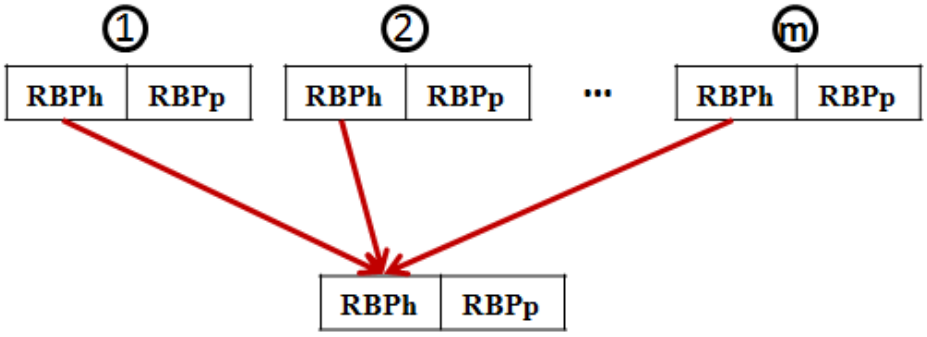


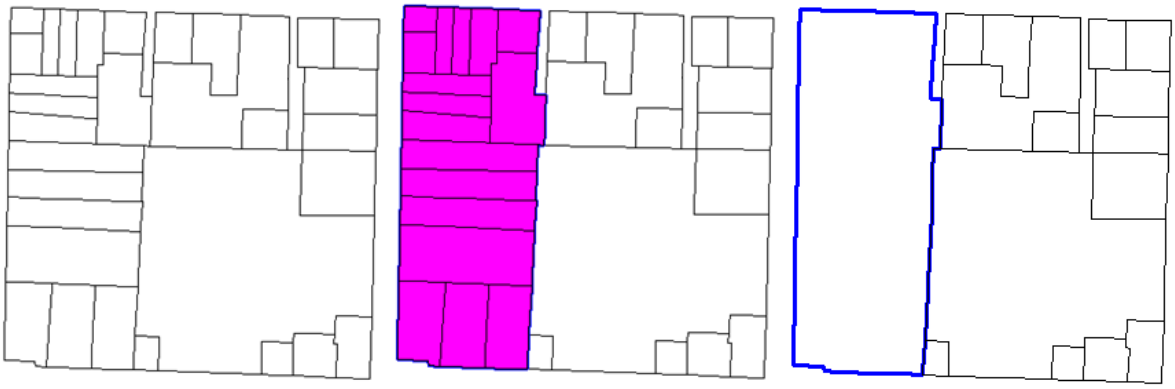
Figura 4. Fusión.

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 a 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 siguientes figuras ilustran como se realizan las relaciones de segregación, fusión y alta.

(a) (b) (c)

Figura 5. Segregación.



(a) (b) (c)

Figura 6. Fusión.

(a) (b)

Figura 7. Alta.

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. Como Preparata y Shamos (1985, p 6) describen algo que ocurre en la geometría computacional:

> *"One fundamental feature of this discipline is the realization that classical characterizations of geometric objects are frequently not amenable to the design of efficient algorithms. To obviate this inadequacy, it is necessary to identify the useful concepts and to establish their properties, which are conducive to efficient computations. In a nutshell, computational geometry must reshape – whenever necessary – the classical discipline into its computational incarnation."*

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 tal sistema para la planeación urbana, la gestión y política públicas y la administración territorial mencionada anteriormente.

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 concepto del predio. El predio 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. Es importante hacer un paréntesis, ya que al proponer la clave de Peano junto con la fecha como registro organizador, es un uso diferente al utlizado en el TIGER. Este nuevo uso, es una innovación que puede crear una amplia gama de nuevas combinaciones con los demás bloques ya existentes, de los cuales pueden resultar cambios y sobrevenir avances (Holland, 1995, p 80).

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 ser utilizadas, y esta tarea se complica cuando hay varios jugadores, todos tratando al mismo tiempo de construir, 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 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 explica:

> *"All of these concepts came to us courtesy of nesting. With the addition of "sister" and "brother", then further notions having greater levels of nesting, such as "uncle", "aunt", and "cousin", could come into being. And then a yet more nested notion such as "family" could arise. ("Family" is more nested because it takes for granted and builds on all these prior concepts.)"* (Hofstadter, 2007, p 84).

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 arbitrariamente, en función de cómo los agentes sociales utilicen las tres relaciones. En consecuencia, aunque en todas las circunstancias se aplican las mismas reglas, escondida bajo éstas, se encuentra la métrica que restringe, acopla y organiza a los agentes sociales, pero esta organización también depende de la existencia de otros factores (López-Caloca, 2011, p 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. En el caso de los locales, dependen del comportamiento de los agentes sociales que interactúan directamente con el predio, mientras que en los globales, dependen 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, p 45).

Profundizando en este análisis, los bloques de construcción se crean para resolver problemas específicos, sin embargo, en muchas ocasiones se han utilizado para otros fines, ya que tienen potenciales que anteriormente no se habían identificado y se les reutiliza, es decir, pueden ser utilizados para fines distintos para los cuales fueron creados y no previstos en el momento de la invención (Kauffman, 2010, pp. 151-152). Así, 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.

Organizando la dinámica territorial

Aunque los predios, los clubs, los "*cluster*" u otras estructuras son importantes al realizar un estudio registral o catastral, 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, p. 26) nos presenta una analogía que puede ayudar a comprender esta complejidad:

> *"… these would be like saying that literary criticism must focus on paper and bookbinding, ink and its chemistry, page sizes and margin widths, typefaces and paragraph lengths, and so forth. But what about the high abstractions that are the heart of literature - plot and character, style and point of view, irony and humor, allusion and metaphor, empathy and distance, and so on? Where did these crucial essences disappear in the list of topics for literary critics? My point is simple: abstractions are central…*"

Si nuestro propósito es desentrañar en que consiste el territorio, en 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, p 27).

La clave de Peano puede hacer aportaciones valiosas en la planeación del desarrollo urbano y regional, en la gestión y política públicas y en otras actividades. La figura XX, presenta un ejercicio para calcular la clave de Peano a nivel de manzana, este nuevo uso podría ser útil para programas de desarrollo urbano y ordenación del territorio, donde se pueda identificar áreas con potencial de desarrollo, mejoramiento, reciclamiento, integración metropolitana, preservación ecológica, rescate ecológico, etc., y a través de la zonificación de este suelo urbano, se podría establecer las zonas habitacionales, industriales, equipamiento, espacios abiertos, áreas verdes, etc. Otros usos de la clave de Peano podrían ser, la identificación de escuelas y sus zonificaciones, sectorización en seguridad pública, en el manejo de sensores fijos como cámaras de vigilancia, semáforos, anuncios comerciales, etc.

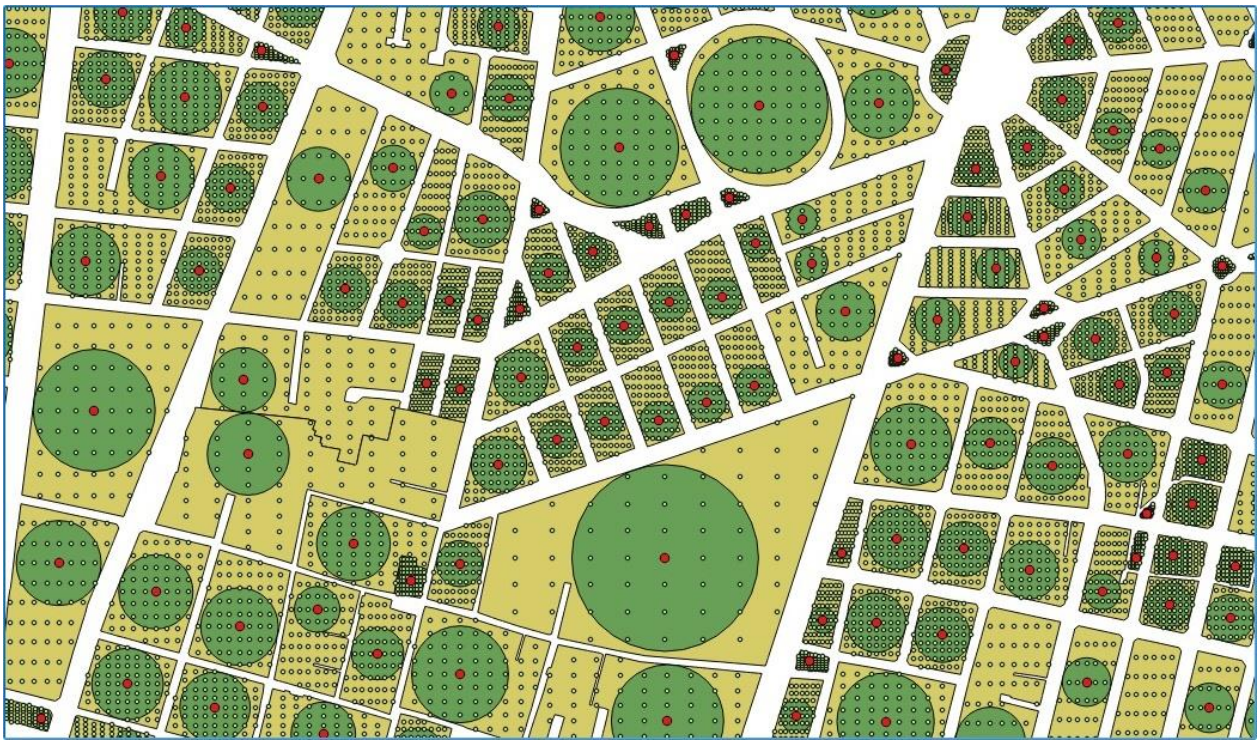


Figura XX. Calculo de la clave de Peano para las manzanas. La cartografía catastral fue tomada de: LABORATORIO PARA LA CIUDAD, ÁREA EXPERIMENTAL DEL GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

Es importante remarcar que la conexión entre la clave de Peano y la zonificación, la sectorización o regionalización, entre otras conexiones, no se establece de abajo hacia arriba, sino al revés, de arriba hacia abajo, y se debe a que los que hacen planeación, política o gestión, tienen 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, p. 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, p. 77), pues los predios a la vez que fundamentan también dan consistencia y sustento a los procesos sociales. 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.

Comentarios finales

El catastro es un ejemplo donde un pequeño número de reglas o leyes pueden generar sistemas de sorprendente complejidad. Esto se pudo comprobar al hacer el análisis del catastro y registro, donde los agentes sociales, al utilizar las tres reglas pueden provocar 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, ya que, 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 única lo que le da un potencial considerable para utilizarla en diferentes niveles de organización como predial, zonificación, regional, etc. Permite acceder a los objetos que organiza sin recurrir a la base de datos (a través de la decodificación de la clave) desde el registro o el catastro, 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 objetos organizados, además de facilitar la identificación de registros duplicados. Ayuda a la auto-regeneración 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 es manejada con una estructura de datos del tipo R-tree o R*-tree; Es similar a otras claves utilizadas en países como EE.UU., 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.

Al seleccionar los bloques de construcción (predios, zonas, regiones, etc.) y combinarlos, establecemos las reglas que gobiernan al territorio en forma comprensible, así, el bloque básico de construcción (el objeto representado) lleva al concepto de padre-hijo, el de padre-hijo lleva al de familia, el concepto de familia al “cluster”; 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.

La clave de Peano al ser única, tiene un potencial considerable para representar y organizar objetos tan diversos que van desde un poste de luz, una cámara de vigilancia, hasta el catastro, las zonificaciones utilizadas en la planeación, etc. Esta flexibilidad le permite llevar el seguimiento

espacio-temporal de un territorio siempre cambiante, por lo que la clave de Peano es un modelo organizador de la dinámica territorial.

Reconocimientos

Un agradecimiento especial a Pablo López y Julio Rodriguez, por aportar los algoritmos para el cálculo de la clave de Peano.

Bibliografía

Fausto, A., 2001, *Mecanismos de Incorporación de Suelo al Desarrollo Urbano*, Universidad de Guadalajara, segunda edición.

Guttman, A., 1984, *R-Trees A Dynamic Index Structure for Spatial Searching*. University of

Hofstadter, D., 1979, *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*. Basic Books. Inc.

Hofstadter, D., 2007, *I am a Strange Loop*. Basic Books. Inc.

Holland, J., 1995, *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Basic Books. Inc.

Holland, J., 2012, *Signals and Boundaries: Building Blocks for Complex Adaptive Systems*. The MIT Press.

Hilhorst, J., 1976, *La Teoría del Desarrollo Regional: Un Intento de Síntesis*. ILPES Planificación Regional del Desarrollo. Siglo XXI.

Isard, W., 1960, *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science*. Cambridge: Published jointly by the Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology and Wiley, New 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 Identifiation and Interworking of Codes Representing Countries, Langauage and Currenciies (prepared on behalf of SC 32/WG 1). < http://www.unicode.org/L2/L2004/04126-n2733-canada-cmts%20.pdf >

Kauffman, S., 2000, *Investigations*. Oxford University Press.

Kauffman S., 2010. Reinventing the Sacred: A New View of Science, Reason, and Religion. Basic Books. Inc, New York.

LABORATORIO PARA LA CIUDAD, ÁREA EXPERIMENTAL DEL GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, 2016. Catastro, http://datos.labcd.mx/dataset?tags=Catastro&license_id=odc-odbl.

López-Caloca, F. 2011, *Un Aporte Teórico: El Prototipo Geomático*. Tesis de Doctorado en Geomática, Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. J.L. Tamayo, México City.

Matínez-Viveros, E., López-Caloca, F. 2010, “A Cybercartographic Tool for Supporting Disaster Prevention Planning Processes and Emergency Management in Mexico City” in *Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis*, ed. Showalter, P. – Lu, Y. New York: Springer.

Marx, R., 1986, *The Tiger System: Automating the Geographic Structure of the United States Census*, Geography Division, Room 3203-4, Bureau of the Census, U.S. Department of Commerce, Washington, DC 20233.

Mainzer, K., 2007, *Thinking in Complexity: The Computational Dynamics of Matter, Mind, and* Mankind. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Oosterom, P. 1999. Spatial Access Methods, Chapter T2.3 in Geographical Information Systems Principles, Technical Issues, Management Issues, and Applications (edited by ongley, Goodchild, Maguire en Rhind), Wiley pages 385-400 (vol.1). http://www.gdmc.nl/publications/2005/Spatial_Access_Methods.pdf.

PNUMA, Gobierno del Distrito Federal, CentroGeo, 2003, *Geo Ciudad de México: Perspectivas del medio ambiente*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe y el Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A.C.

Preparata, F., Shamos, M. *Computational Geometry: an introduction*. Springer-Verlag, 1985.

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.

St. Andrews University "*Giuseppe Peano*" <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/Biographies/Peano.html>

Waldrop, M., 1992, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Simon & Schuster Paperbacks.