

Catastros 3D aplicados a la definición de políticas de suelo



© Martim Smolka

Diego Alfonso Erba

El plan de ordenamiento territorial de una ciudad, por lo general, describe las metas y objetivos de desarrollo mediante el uso de diferentes tipos de mapas y documentos escritos. La mayoría de los mapas y otras representaciones de diseño urbano se elaboran con una visión en dos dimensiones (2D), que luego se traducen en instrumentos regulatorios y herramientas de planificación estratégica también bidimensionales. El espacio urbano se representa en mapas que se asemejan a un rompecabezas cuyas piezas planas serían las áreas administrativas (municipales, rurales, urbanas, en crecimiento, en expansión, limítrofes), las áreas según el uso de los inmuebles (residencial, comercial, de negocios,

histórico, turístico, informal, recreativo), las áreas de protección medioambiental o de uso restringido (zonas de captación de aguas, áreas inundables, colinas propensas a los deslizamientos), entre otras. Es así como el espacio urbano real 3D se gestiona mediante leyes y otras convenciones basadas en una visión 2D, lo cual evidencia que la ciudad física y la ciudad legal funcionan en dimensiones diferentes y, de cierta forma, incompatibles.

En el pasado, esta discrepancia era aceptada, ya que los mapas 2D constituían el principal recurso disponible para representar la ciudad real; no obstante, en la actualidad los gráficos computarizados pueden gestionar objetos complejos en el espacio.

Resulta necesario, entonces, reformular los aspectos legales y económicos de la sociedad urbana,

Áreas de vivienda formal e informal con distintas densidades en Caracas, Venezuela.

pasando de la visión tradicional 2D a un enfoque 3D, con el fin de desarrollar, implementar y controlar las políticas de suelo urbano de manera más eficiente.

Cuando el espacio urbano se describe mediante mapas digitales integrados a bases de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), diferentes capas de información pueden ser adicionadas para dar una visión más próxima de la realidad en 3D. Un catastro 3D es una de las herramientas que puede facilitar este proceso, pues está compuesto de un sistema de bases de datos integradas que contiene información sobre títulos de propiedad inmobiliaria, características físicas de los inmuebles, modelos econométricos que describen los valores inmobiliarios, redes de transporte, infraestructura y servicios, y atributos medioambientales.

Creación de un nuevo marco 3D

Google Earth ha popularizado la información geográfica, ya que permite a los usuarios visualizar un lugar virtual en 3D, al nivel de detalle que desee y en un entorno global. Este y otros programas geográficos pueden utilizarse con bastante facilidad para cambiar el punto de vista de la realidad. Si el usuario pasa de una vista desde arriba (que muestra la ciudad como una superficie plana) a una perspectiva oblicua, podrá observar el relieve y la altura de los edificios, árboles, redes aéreas de servicios públicos y otros objetos en el espacio.

Mediante este tipo de visualización en 3D se pueden identificar espacios sin desarrollar, edificios de diferentes alturas, viviendas suburbanas diseminadas, estructuras en áreas rurales aisladas y construcciones precarias en asentamientos informales, todo lo cual permite inferir cambios necesarios en el uso del suelo. Cuando el espacio 3D se representa en una pantalla plana o en impresiones en papel, se muestran detalles que resultan difíciles de identificar en un mapa 2D, tales como el movimiento de la sombra durante el día, diferentes vistas desde la ventana de un apartamento y las relaciones espaciales entre edificios y elementos naturales.

La tecnología 3D en constante evolución está cambiando los paradigmas de la planificación urbana y la política de suelo, ya que afecta no sólo la forma en que se ve una ciudad sino la manera en que se describen los derechos de propiedad y sus restricciones en el espacio. Como resultado,

es necesario contar con un nuevo marco legal urbano basado en leyes 3D y catastros 3D que puedan describir objetos en el espacio en lugar de presentar solamente sus contornos planos. Las leyes 3D afectan a los derechos en el espacio, y no más en un plano de proyección, y sólo a través de un marco normativo con esas características resultará posible definir políticas de suelo en 3D.

Por ejemplo, una representación 3D del alcance de la edificabilidad máxima para un conjunto de lotes facilitaría el uso de los instrumentos de gestión de suelo, tales como las tasas para la adquisición de derechos de edificación para nuevos desarrollos. Para poder utilizar un marco legal en 3D es necesario que los datos espaciales se encuentren sistematizados en catastros 3D, mediante los cuales se crean y mantienen en forma actualizada bases de datos espaciales y representaciones volumétricas de ciudades, así como también un registro de la propiedad 3D donde se identifique y documente cada una de las propiedades y sus correspondientes restricciones en el espacio.

Los agrimensores, geólogos, biólogos e ingenieros tienen cierta facilidad para determinar, mediante mallas de puntos con coordenadas espaciales, la ubicación de objetos físicos en el espacio tales como depósitos minerales, masas de agua, plumas de contaminación, emisiones en el aire o en capas subterráneas, espacios de acceso restringido alrededor de cables de alta tensión, etc. Sin embargo, los legisladores y planificadores urbanos no están familiarizados con el hecho de describir e interpretar las intersecciones de esos objetos en el espacio. La complejidad creciente de la infraestructura urbana y de las áreas con un gran nivel de densidad de edificación requiere el registro adecuado de su condición legal (privada o pública), la cual puede ser realizada con los registros catastrales 2D que existen en la actualidad, aunque sólo hasta cierto punto.

A pesar de su potencial como herramienta de planificación urbana y del gran nivel de investigación y progresos logrados hasta la fecha, no existen jurisdicciones que posean un verdadero catastro 3D con una funcionalidad completa. Los conceptos en constante evolución involucrados en este nuevo proceso deberán estar basados en la norma ISO 19152 Modelo de Dominio de Administración de Suelos (LADM, por sus siglas en inglés), que brinda un soporte para representaciones 3D (van Oosterom 2011).

FIGURA 1

Representación virtual 3D de la ciudad de Blumenau, Santa Catarina, Brasil



Nota: Las zonas en color azul, verde, rojo y amarillo representan los diferentes niveles en edificios de poca altura. La zona en color celeste indica el nivel de inundación en 1983.

Fuente: Aeroimagem S/A (www.aeroimagem.com); elaborada por Everton da Silva y João Norberto Destro.

La ciudad virtual 3D

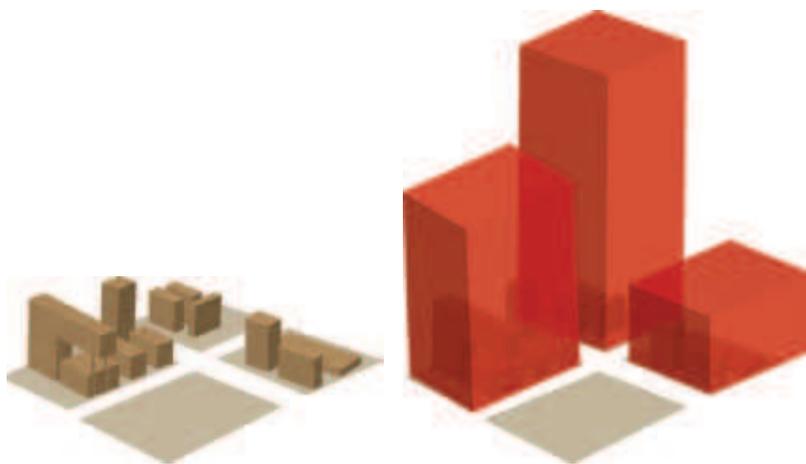
La primera idea que, por lo general, viene a la mente al considerar una ciudad 3D es su representación de las construcciones en formas regulares, a través de cubos, prismas y cilindros. No obstante, estas formas simples han demostrado ser insuficientes a la hora de analizar el espacio urbano. Buscando contar con un método que se correspondiera más adecuadamente a la realidad, los investigadores y diseñadores han desarrollado técnicas para superponer fotografías de fachadas de edificios sobre las caras de los cuerpos geométricos. Con la popularización de los programas de diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés), la representación de las características arquitectónicas de los edificios en 3D se tornó más fácil.

Estos tres tipos de edificios virtuales 3D generalmente se colocaban en una superficie de referencia plana, lo cual creaba una falsa imagen de la ciudad puesto que mostraba a todos en un mismo nivel.

Al agregar el relieve mediante perspectivas digitales basadas en modelos digitales de terreno, los edificios virtuales en 3D pasaron a colocarse en el nivel de altitud correcto en relación con el nivel del mar, obteniendo un posicionamiento espacial más preciso. El próximo paso consistió en superponer ortofotos aéreas sobre el relieve digital, lo cual dio como resultado imágenes 3D de las ciudades (físicas) que resultan mucho más reales aún (ver figura 1).

En la actualidad, los modelos urbanos 2D y 3D continúan elaborándose con puntos, líneas, polígonos e imágenes. Todos estos modelos son útiles, pero todavía insuficientes a la hora de llevar a cabo un análisis urbano detallado, ya que, como lo señala el geógrafo brasileño Milton Santos, “geometrías no son geografías” (Câmara 2000). De hecho, para desarrollar políticas de suelo se utilizan diferentes tipos de datos geográficos: sociales, físicos, económicos y medioambientales,

FIGURA 2
Representaciones de la ciudad virtual formal 3D
y de la ciudad virtual legal 3D



Nota: Los edificios existentes (figura de la izquierda) se complementan con la ciudad legal extendida (figura de la derecha).

Fuente: Elaborada por Diego Erba y Anamaria Gliesch-Leebmann.

todos los cuales tienen lugar en el espacio y, por lo tanto, deben ser relacionados con los elementos de la ciudad virtual.

El SIG contribuye al proceso de construir una ciudad virtual 3D, ya que permite el enlace entre los datos estadísticos y las formas geométricas para generar imágenes de información temática que pueden aplicarse a diferentes cuestiones relacionadas con las políticas de suelo. Para los fines de la planificación urbana, una imagen 3D creada en una plataforma de SIG es, por lo general, más útil que la propia fotografía del mismo sector, puesto que a través del sistema se puede resaltar datos de interés, crear posibles escenarios que anticipen los efectos económicos de ciertas decisiones en cuanto a políticas de suelo e inclusive evaluar el impacto al medioambiente de algún nuevo desarrollo.

Ciudades virtuales 3D formales e informales

La ciudad virtual 3D representada en forma geométrica resulta útil en distintos tipos de análisis, tales como los estudios sobre tránsito vehicular, la propagación de las ondas emitidas por estaciones de radio o cualquier tipo de análisis sobre redes de infraestructura. No obstante, para otros tipos de análisis, la ciudad virtual 3D no llega a ser suficiente. Por ejemplo, un abogado o un economista necesita visualizar la ciudad formal 3D – es decir, la ciudad definida en las normas urbanas y medioambientales. La figura 2 muestra dos imágenes en

las que se ven manzanas de una ciudad virtual 3D: una representa los edificios existentes y la otra indica el potencial de desarrollo según las normas urbanas aplicables. Las diferentes densidades de construcción implican valores distintos de los inmuebles y, consecuentemente, diferentes bases económicas para la definición de la política tributaria y de recuperación de plusvalías. Estas dos ciudades conforman la ciudad virtual 3D formal.

En América Latina, donde la incidencia de la informalidad es emblemática en el paisaje urbano, resulta importante visualizar y definir tanto la dimensión informal como las dimensiones legales de la ciudad. Los asentamientos informales se desarrollan cuando las familias no logran acceder a las viviendas ofrecidas por el mercado o por los programas sociales. La gente necesita encontrar algún lugar donde asentarse, lo que con frecuencia ocurre en terrenos peligrosos o protegidos que resultan inadecuados para vivienda, o en terrenos vacantes, ya sean estos públicos o privados. La magnitud de la necesidad de una vivienda por lo general supera la cantidad de terrenos disponibles, lo que obliga a las residentes a verticalizar los asentamientos informales, construyendo estructuras

FIGURA 3
Unidades habitacionales improvisadas
en un asentamiento informal en Caracas,
Venezuela



Fuente: © Martin Smolka; representación de Diego Erba

más altas y con mayores niveles de densidad. Es así que se desarrolla la ciudad virtual 3D informal (ver figura 3).

Cada espacio ocupado es una componente de la ciudad, por lo tanto, la formalidad cuanto la informalidad deben tenerse en cuenta en las bases de datos de los catastros urbanos. La tarea de conectar la ciudad virtual informal con la ciudad virtual formal es un desafío mucho mayor en 3D que en 2D, puesto que, entre otras razones, los propietarios y los ocupantes de un mismo espacio compartido pueden ser diferentes. En estas áreas, la infraestructura también está organizada en forma diferente, mientras en la ciudad formal, las redes de infraestructura pública consisten en cañerías fijas, cables, caminos y vías de ferrocarril regulares y estables, en la ciudad informal las redes de infraestructura frecuentemente son construidas por los mismos habitantes mediante mangueras y cables suspendidos que cambian constantemente de posición a medida que el asentamiento se va extendiendo. Un catastro 3D que integre todos los datos puede informar a los planificadores urbanos cuáles son las brechas existentes entre la oferta y la demanda de terrenos para construcción por parte de la población, lo que contribuye a definir políticas que aborden la cuestión de los asentamientos informales no planificados.

Ciudades dinámicas 3D

Los cambios que van ocurriendo en las ciudades pueden visualizarse y medirse de diferentes maneras, como por ejemplo, mediante estudios sobre la densificación, migración y expansión de las redes de infraestructura. Estos estudios se basan en la suposición de que las variables sociales, económicas y medioambientales se encuentran en constante movimiento, mientras que el terreno es estático. No obstante, otras fuerzas capaces de producir cambios en la ciudad pueden causar desplazamientos de diferentes intensidades que pueden medirse en el espacio (3D) y el tiempo (4D). Por ejemplo, las placas continentales están provocando que América del Sur, sus ciudades, sus propiedades públicas y privadas y sus redes de infraestructura se muevan lentamente hacia el oeste a razón de 2 cm por año. Estos movimientos, que parecen insignificantes, tienen consecuencias sobre las políticas urbanas puesto que, dentro de 50 años, una propiedad podrá moverse hasta 1 metro de su ubicación actual.

© Diego Erba



Por otro lado, la naturaleza dinámica de la tierra genera movimientos mucho más extremos. El terremoto que afectó la región chilena del Bio-Bio en febrero de 2010 provocó impactos a diferentes escalas. Según las mediciones llevadas a cabo por el Observatorio Geodésico Integral Transportable (TIGO, por sus siglas en inglés) en la ciudad de Concepción, la totalidad del territorio se movió durante 30 segundos inicialmente hacia el noroeste y luego terminó con un desplazamiento de 3 metros hacia el suroeste. Durante este episodio, la altura del suelo se modificó en 50 cm. El movimiento telúrico corrió propiedades y destruyó infraestructura y edificios urbanos, siendo que el daño se agravó con el tsunami posterior. Un patrón similar se observó durante el terremoto que azotó al país en 1960, el más grave registrado en el mundo, cuando el suelo se movió con tal intensidad que algunas propiedades (o parte de ellas) desaparecieron en el mar y otras emergieron.

El terremoto ocurrido en enero de 2010 en Haití produjo, en 35 segundos, una cantidad de escombros estimada en 20 millones de m³, pero no se registraron desplazamientos del suelo significativos del territorio.

Desde el punto de vista del catastro, estas dos catástrofes tuvieron impactos muy diferentes. Si la información urbana hubiera estado estructurada en capas temáticas e integrada en una plataforma SIG, el terremoto de Haití habría afectado a la capa correspondiente a las construcciones y habrían desaparecido varios edificios representativos.

Puerto Príncipe, Haití, después del terremoto del 12 de enero de 2010.

En Chile, la capa correspondiente a las construcciones se vio modificada principalmente por el tsunami, mientras que la capa de terrenos sufrió desplazamientos y cambios espaciales derivados del movimiento telúrico. Los catástrofes naturales de estas características que ocurren con tanta rapidez modifican el entorno y la vida de las personas en forma radical y tienen importantes implicaciones en cuanto a las prioridades de los gobiernos, tales como la definición e implementación de políticas de suelo, tanto antes como después de ocurridos dichos eventos.

Los impactos del cambio climático, la contaminación subterránea y la contaminación del aire, por ejemplo, pueden preverse mediante modelos matemáticos con buena precisión, aún antes de que ocurran. Al conectar estos modelos con las bases de datos espaciales de un catastro 3D es posible crear escenarios derivados de los impactos potenciales en el espacio 3D e identificar los barrios y propiedades que podrían verse afectados. Los fenómenos como los terremotos y las inundaciones súbitas, aún cuando sean impredecibles, pueden representarse mucho más rápidamente si los instrumentos de medición utilizados por las agencias medioambientales o los organismos gubernamentales se conectan con las bases de datos espaciales de los catastros 3D. La representación espacial del impacto puede estar disponible para los tomadores de decisión apenas ocurrida la catástrofe.

En resumen, la representación 3D puede contribuir a definir políticas de suelo preventivas para abordar los cambios predecibles, así como también

permitir el reajuste de las políticas de suelo actuales con posterioridad a una catástrofe natural.

Redes e infraestructura 3D

Las redes de infraestructura y transporte se mueven a lo largo del territorio de diferentes maneras, lo que permite a la ciudad permanecer activa y fluida. Algunas de estas redes son invisibles por naturaleza, tales como las microondas emitidas por los teléfonos celulares, mientras que otras son invisibles porque son subterráneas, tales como los túneles y cañerías de infraestructura. Otras redes son fácilmente visibles puesto que están construidas sobre la superficie, tales como los caminos y los cables de servicios públicos. La figura 4 ilustra algunas de las complejas intersecciones espaciales de redes de infraestructura y transporte a lo largo de la ciudad 3D.

Las relaciones espaciales entre redes y propiedades públicas y privadas, reservas ambientales, depósitos minerales, masas de agua y otras características no se han tratado eficientemente en las normas cartográficas en 2D, por lo que requieren el desarrollo de nuevas normas específicas en 3D con el fin de hacer cumplir la función social de la propiedad con equidad y justicia. Por ejemplo, el artículo 1.286 del Código Civil Brasileño estipula que un propietario estará obligado a ceder el derecho de paso a través de su propiedad para la colocación de cables, cañerías y otros conductos subterráneos con fines públicos cuando no puedan construirse en ningún otro lugar. La ley también establece la necesidad de determinar cuál será la superficie afectada por los proyectos de obras



Vistas aéreas de Dichato, Chile, antes y después del tsunami del 27 de febrero de 2010.

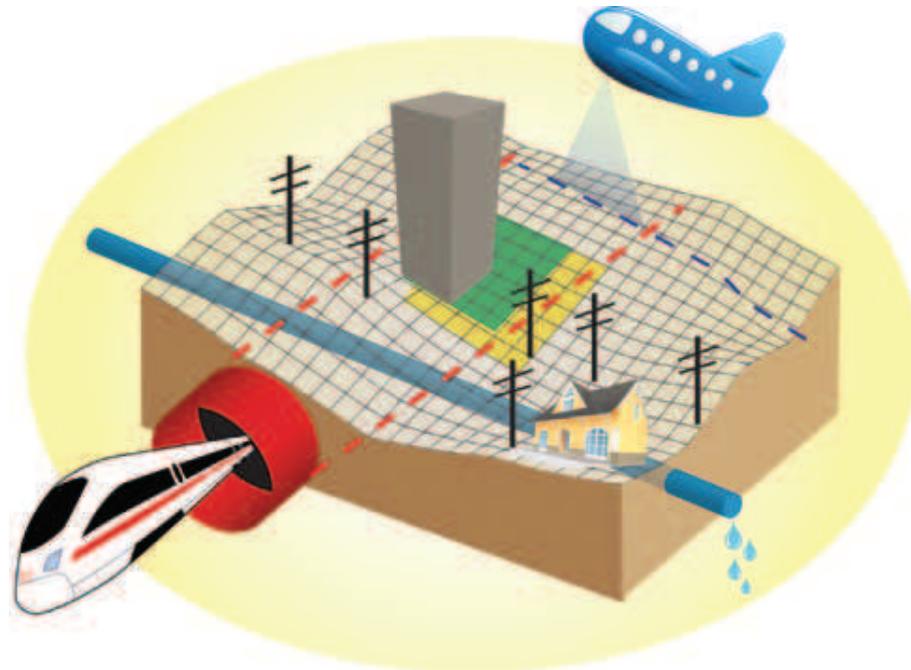
públicas en cada lote y su correspondiente valor, a fin de calcular la compensación que recibirá el propietario. Los registros catastrales 3D pueden convertirse en un importante aporte que facilite dichas operaciones puesto que los catastros 2D actuales no están siendo eficientes.

Valor del mercado inmobiliario 3D

Una de las funciones de un catastro territorial es la de proporcionar información con el fin de determinar el valor de los terrenos útil para definir las políticas tributaria y de planificación urbana. En América Latina, los valores de los terrenos por lo general se calculan según métodos de valuación *ad hoc* (tales como el costo de reposición), en los que se utilizan datos de construcción y valores de terrenos para cada sector catastral (Erba 2008). Esta práctica no siempre genera valuaciones confiables, ya que resulta difícil mantener actualizadas las bases de datos catastrales y su implementación puede resultar arbitraria según el lugar donde se aplique.

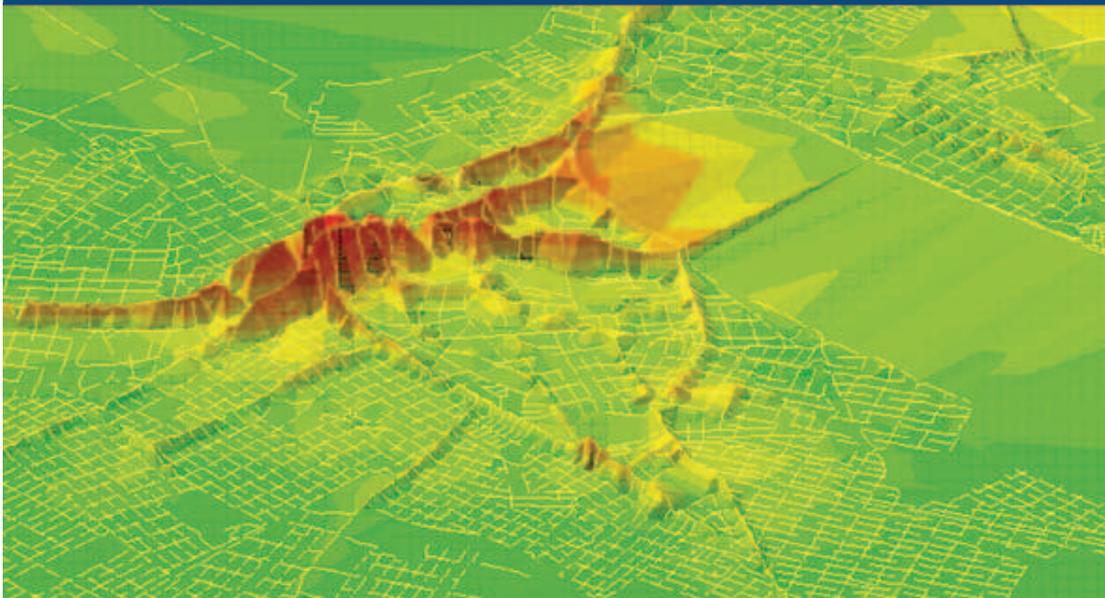
Un método alternativo de valuación que actualmente se está implementando en la región consiste en el uso de modelos econométricos espaciales para determinar los valores de las propiedades con el nivel de precisión estadística deseable. Esto resulta importante debido a que los valores de los

FIGURA 4
Infraestructura urbana y redes de transporte en el espacio



Fuente: Elaborada por Diego Erba y Anamaria Gliesch-Leebmann.

FIGURA 5
Valor del metro cuadrado de terreno distribuido a lo largo de una superficie continua



Nota: Los diferentes colores muestran la intensidad de la variación en el valor del metro cuadrado de terreno a lo largo de una superficie. Esta ilustración muestra la ciudad de Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil.
Fuente: Aeroimagem S/A (www.aeroimagem.com); elaborada por Everton da Silva y João Norberto Destro.

terrenos cambian según el espacio urbano y dependen de variables tales como normas urbanas, restricciones medioambientales, vistas panorámicas, infraestructura y otras características asociadas a la propiedad como, por ejemplo, elementos subterráneos o aéreos relacionados a ella.

Las plataformas de SIG más modernas desarrolladas para catastros 3D permiten al valuator “pararse” dentro de un edificio en cualquier altitud incluso antes de que éste se construya. El sistema le permite conocer la vista que se tendrá desde la ventana de la vivienda, identificar las relaciones existentes con otros edificios, percibir el paisaje natural y observar otras características relevantes de la propiedad. Dichos datos permiten determinar la importancia de factores externos al valor de la propiedad, un aspecto que con frecuencia no se tiene en cuenta en las valuaciones realizadas según los métodos tradicionales como el costo de reposición.

La figura 5 muestra una perspectiva del gradiente de la superficie de valores de terrenos por m^2 , obtenidos a partir de puntos de referencia correspondientes a propiedades en venta. La superficie posee el mismo sistema de coordenadas de referencia (x, y) que la ciudad y si bien la tercera dimensión espacial (z) no se encuentra relacionada con el espacio geográfico (altitud), es posible colocar la superficie debajo de la ciudad virtual legal y analizar la correlación espacial existente entre el valor del m^2 de terreno y las normas urbanas respectivas. Este tipo de aplicación es otro posible aporte al desarrollo de políticas de suelo basadas en técnicas catastrales 3D.

Conclusiones

Aunque las tecnologías utilizadas para medir, representar y almacenar información actualmente están evolucionando hacia las plataformas 3D, la legislación urbana y las políticas de suelo continúan viendo a las ciudades como superficies planas. La posibilidad de visualizar en 3D los edificios y las restricciones que rigen sobre las propiedades representa un avance considerable para aquellos responsables de tomar decisiones referentes a las cuestiones urbanas. No obstante, queda un largo camino por recorrer antes de que la información 3D se integre como parte de la legislación urbana y los títulos de propiedad.

La consolidación de un catastro 3D, que registre de qué manera la propiedad 3D se cruza con las normas y regulaciones legales correspondientes, contribuiría a una mayor efectividad de la planificación urbana y medioambiental, el diseño de redes de infraestructura mejor posicionadas y la prevención de la informalidad, ya que posibilita la construcción de posibles escenarios futuros que muestren el impacto de las políticas de suelo en el espacio. El primer paso para darle a la legislación urbana y medioambiental una connotación 3D sería cambiar el término “área” por “espacio”, lo que implicaría una manera simple y relevante de iniciar el proceso de introducción de este nuevo paradigma. La estructuración de un registro de la propiedad 3D se encuentra aún en vías de desarrollo pero, una vez establecido, los propietarios finalmente comprenderán que son dueños de metros cúbicos en lugar de metros cuadrados. **L**

SOBRE EL AUTOR

DIEGO ALFONSO ERBA es fellow del Lincoln Institute of Land Policy, donde coordina los programas de educación a distancia del Programa para América Latina y el Caribe. Además, investiga, publica y dirige estudios relacionados con el catastro territorial y las aplicaciones SIG. Contacto: derba@lincolninst.edu.

REFERENCIAS

- Câmara, Gilberto. 2000. <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/geometrias-nao-sao-geografias-o-legado-de-milton-santos/>
- Erba, Diego A. 2008. Catastro e información territorial en América Latina (CD-Rom). Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy. http://www.lincolninst.edu/pubs/1542_Catastro-e-Informaci%C3%B3n-Territorial-en-Am%C3%A9rica-Latina
- van Oosterom, Peter. 2011. Preface of the Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastre. Delft, The Netherlands <http://3dcadastres2011.nl/>

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece a los siguientes colegas y amigos su aporte al desarrollo de investigaciones en este campo de conocimientos: Anamaria Gliesch-Leebmann, I Design Concepts 4 You, Seeheim-Jugenheim, Alemania; Everton da Silva, Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil; João Norberto Destro, Aeroimagem S/A; Igor Bacigaluppi, Gobierno Regional de Bio-Bio, Chile; Sergio Baeriswyl Rada, Municipio de Concepción, Chile; Andrea F. T. Carneiro, Universidad Federal de Pernambuco, Recife, Brasil; Eduardo A. A. Augusto, Instituto Catastral Brasileño (IRIB), São Paulo, Brasil; y Martim Smolka y Anna Sant’Anna, Programa para América Latina y el Caribe en el Lincoln Institute of Land Policy.