

Document downloaded from the institutional repository of the University of Alcalá: <http://dspace.uah.es/dspace/>

This is a preprint version of the following published document:

Chías, P., Abad, T. y García-Rosales, G. (2018) "Nuevas herramientas gráficas para el análisis espacial y el diseño de hospitales". En: Marcos, C. L. *et al.* ed. *De trazos, huellas e improntas: arquitectura, ideación, representación y difusión. Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica 17º 2018 Alicante*. Alicante: Universidad de Alicante.

© 2018 Universidad de Alicante

*(Article begins on next page)*



This work is licensed under a  
Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives  
4.0 International License.

# **Nuevas herramientas gráficas para el análisis espacial y el diseño de hospitales**

Pilar Chías<sup>1</sup>; Tomás Abad; Gonzalo García-Rosales

*Departamento de Arquitectura, Universidad de Alcalá*

---

<sup>1</sup> Autor de contacto.

## **Abstract**

*La aplicación de conceptos matemáticos al diseño arquitectónico suele ser un proceso intuitivo. La topología en particular ha resultado ser especialmente útil en las fases iniciales del proyecto, cuando se determina la ubicación de los usos y los recorridos. La topología también ofrece múltiples posibilidades en los casos en que no es necesaria una definición dimensional, sino satisfacer ciertas propiedades como la adyacencia, la inclusión, etc. En consecuencia, resulta una herramienta útil y versátil cuando se trata de estudiar y comparar relaciones espaciales en varias soluciones de proyecto. Conceptos como contigüidad, conectividad o intersección se pueden aplicar directamente a los esquemas de planta para efectuar su dimensionamiento posteriormente. El manejo de estos conceptos mediante programas informáticos se venía realizando con los sistemas de información geográfica (SIG) a una escala esencialmente territorial, pero actualmente se han integrado en los procesos de la proyectación arquitectónica a través de los modelos de información de los edificios (BIM). Actualmente el diseño de hospitales y de otras instalaciones asistenciales se beneficia de la aplicación de la topología desde las primeras fases de proyecto. Esto se debe, por una parte, a su elevada complejidad como corresponde a sus exigencias técnicas, funcionales y de equipamiento, que requieren un alto grado de especialización. Pero la topología también resulta útil en el difícil diseño de los recorridos interiores y exteriores tanto para los usuarios como para la logística, pues pone de manifiesto los puntos conflictivos y los riesgos asociados.*

*Palabras clave.* Topología; Hospitales; Sintaxis espacial; Proyecto arquitectónico; Análisis.

### **1. Introducción y objetivos principales**

Desde el punto de vista del diseño de los espacios interiores, los hospitales construidos a lo largo del siglo XX muestran unos tipos de organización espacial muy definidos y basados en la dualidad entre los Servicios Clínicos y las Unidades Centrales. Estas se ajustaban a unas configuraciones en planta muy definidas y consolidadas dentro del conjunto del centro asistencial (Casares 2012, 8-13). Pero estos criterios han quedado obsoletos y los

nuevos conceptos de hospitales sostenibles relacionados con la “sanidad verde” están imponiendo un cambio de paradigma (Chías and Abad 2017b).

Los impactos en el entorno y en la salud causados por el diseño, la construcción y el funcionamiento de los hospitales constituyen una parte esencial de nuestra investigación, debido a que estos impactos han de definirse y cuantificarse para proporcionar una asistencia sanitaria óptima (Frumkin and Coussens 2007, xii).

Por otra parte y debido al aumento de la gestión centralizada, la forma y estructura de los nuevos hospitales es el resultado de un creciente predominio de Unidades y Sistemas sobre los Servicios Clínicos. Actualmente se están implantando nuevos conceptos que persiguen la optimización de los centros a todos los niveles, y como consecuencia se produce la falta de adecuación de la organización funcional de los Servicios Clínicos con la distribución de los espacios en los que desarrollan sus actividades. Desde el punto de vista del diseño arquitectónico, estos conceptos incluyen el recurso a espacios polivalentes y agrupables, que pueden ser utilizados por diferentes Unidades.

Por otra parte, cada vez es más evidente la falta de correspondencia entre los espacios interiores y sus interconexiones. En consecuencia, otro de nuestros objetivos principales es la definición de una metodología que contemple las nuevas necesidades surgidas de la aplicación de estos nuevos conceptos, y sea de aplicación al diseño de centros asistenciales, tanto a nivel espacial y funcional –adyacencia entre Unidades y Servicios–, como de accesibilidad y diseño de circulaciones.

En resumen, nuestra investigación se propone identificar las posibilidades de mejora de los hospitales desde el punto de vista del bienestar y el confort de todos los usuarios –entendidos un sentido amplio que incluye al personal sanitario y administrativo, a pacientes, acompañantes, visitantes, suministradores, etc.–, aplicando los nuevos conceptos relacionados con los hospitales sostenibles.

### **2. Metodología**

Partiendo de las posibilidades de expresión gráfica que ofrecen las matemáticas, hay que destacar la capacidad que tiene el dibujo para comunicar las cualidades del espacio. En la medida en que la topología se ocupa de

aquellas propiedades que se mantienen bajo ciertas deformaciones continuas – como el estiramiento o el doblado, aquéllas pueden representarse gráficamente por medio de sencillos diagramas y ser aplicadas a muchos casos distintos de configuraciones espaciales.

El proyecto de arquitectura se puede beneficiar de estas capacidades desde los primeros momentos del proceso de diseño, ya que la topología ofrece muchas soluciones posibles y éstas pueden mostrarse fácilmente y de manera muy flexible, haciendo posible abordar las correspondientes comparaciones y análisis espaciales.

### 2.1. Topología

Los conceptos topológicos que afectan a las propiedades de los elementos en el espacio, como son la contigüidad, la conectividad, la intersección, la sustracción, la unión y la inclusión, se pueden aplicar directamente a los esquemas o croquis de planta o de sección iniciales, previamente a proceder a su dimensionado.

Las ventajas que ofrece la aplicación de estos conceptos son evidentes en aquellos edificios cuyos programas son especialmente complejos –como es el caso de los hospitales. Pero no son útiles sólo en estos casos, pues su mayor cualidad es que permiten realizar cambios y proponer alternativas de manera versátil y sin el lastre que puede suponer la formalización concreta.

Las mismas consideraciones se pueden hacer para el diseño de los recorridos, que es uno de los aspectos más complejos en el diseño de un hospital (Fig. 1).

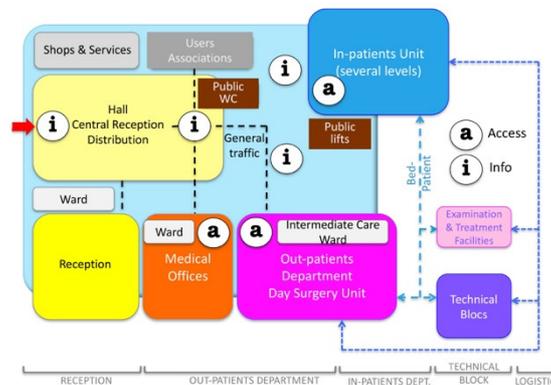


Figura 1. Conceptos y propiedades topológicas aplicados al diseño de los recorridos públicos interiores y exteriores

en un hospital o en un centro asistencial (Fuente: los autores).

La topología describe los movimientos de los usuarios de una manera abstracta que facilita el planteamiento de recorridos hipotéticos y alternativos, y la localización de los puntos más conflictivos, como puedan ser los cruces entre recorridos públicos y privados, los puntos de intercambio modal o de transporte vertical a horizontal, y viceversa.

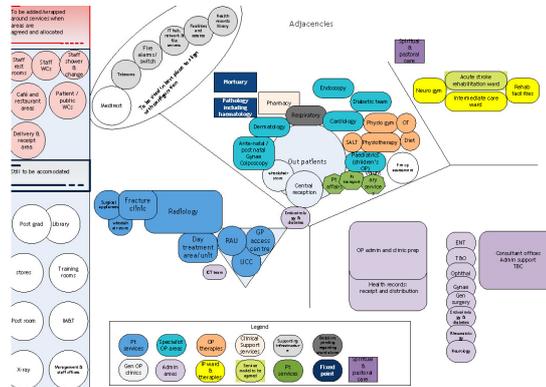


Figura 2. Una solución que explora las adyacencias entre distintos Departamentos y Unidades en un proyecto de hospital (Fuente: los autores).

Estos diagramas permiten centrar los problemas de las relaciones espaciales entre las distintas Unidades y sus necesidades de conexión, debido a que no consideran los aspectos de detalle (Chías and Abad 2017a). (Fig. 2)

Los recorridos públicos interiores al hospital, por ejemplo, se pueden describir en un primer momento utilizando un diagrama formado por figuras y líneas, y sin tener en cuenta aspectos tan importantes como dimensiones y formas, número de usuarios o velocidad de movimiento, que se incorporarán después. Este tipo de diagrama en red o grafo resulta un modo eficaz de representar una trama de circulaciones.

En consecuencia, la topología abre muchas posibilidades de reflexión sin compromisos previos de otra índole –estética, constructiva, etc.– a la vez que transmite una idea de orden en las primeras ideas de proyecto.

Estas aplicaciones se pueden considerar un complemento interesante a la utilización de otros conceptos matemáticos capaces de producir manifestaciones artísticas, teóricas o especulativas con

distintos grados de vinculación al proyecto, o incluso buscando exclusivamente la expresión gráfica como un fin en sí misma, como han puesto de manifiesto arquitectos-artistas como Lucio Saffaro. Por ello es tan importante explorar todas las posibilidades que surgen del binomio expresión gráfica arquitectónica-conceptos matemáticos.

Para realizar los esquemas gráficos citados, existen tres métodos que aprovechan las propiedades de la topología: el puramente geométrico (Lee 2001), el que se basa en la geometría y la semántica combinadas –que es la que más interesa en este caso–, y el que realiza una aproximación puramente semántica (Lorenz *et al.* 2006).

### 2.1. La técnica de la sintaxis espacial

En la elección y las propuestas para la ubicación de los espacios y para el trazado de los recorridos interiores hemos aplicado algunas técnicas de análisis de redes como una herramienta complementaria a los grafos (Kim *et al.* 2008). En concreto, la técnica de la sintaxis espacial resulta especialmente interesante y aplicable porque se ha ido perfeccionado a partir de los estudios y los análisis de la conectividad en los espacios urbanos y arquitectónicos complejos, y está en la base conceptual de los sistemas de información geográfica (Hillier 1996).

Desde el punto de vista teórico, esta técnica se basa en los conceptos de la topología, y tiene una aplicación directa en estudios de accesibilidad a varias escalas (Penn *et al.* 1998). Sin embargo, como la sintaxis espacial sólo considera los vínculos existentes entre los espacios y su geometría, no tiene en cuenta otros aspectos que cobran una gran importancia en ulteriores fases de proyecto, como la facilidad de acceso, el volumen de circulaciones, las características de los usuarios y la existencia o no de obstáculos.

En el método de la sintaxis espacial los espacios y los departamentos–Unidades, Servicios y Sistemas– de un hospital se representan como un conjunto de unidades discretas interconectadas, en lugar de considerarlos como un espacio continuo unitario. El procedimiento consiste, pues, en aplicar el concepto de subdivisión de un espacio convexo, también llamado mapeado axial, que se construye dibujando un conjunto de líneas que se intersecan a través de los espacios de la trama hospitalaria, de modo que

ésta queda totalmente cubierta y todas las circulaciones posibles están completas. En la práctica se supone proponer una estructura espacial y subdividirla en un conjunto de “la menor cantidad y los más grandes” espacios convexos posibles –*the “fewest and fattest”*– (Hillier and Hanson 1984, pp. 97–98).

El método para generar los mapas convexos es iterativo. Empieza localizando los espacios más grandes dentro del conjunto de espacios convexos, para ir identificando sucesivamente los siguientes en dimensiones hasta que la totalidad del espacio disponible está subdividido en un conjunto de espacios convexos a su vez. A continuación se dibuja la línea recta más larga que atraviesa estos espacios convexos.

Este método supone una variación respecto al método tradicional de representación de una red viaria, que utiliza como elemento de referencia una línea que pasa por el centro de cada calle y sus intersecciones correspondientes. En un grafo, la sintaxis espacial representa cada línea por un nodo y cada intersección por un borde, mientras el método tradicional la correspondencia es exactamente la inversa. Esto significa que una intersección se convierte en un nodo, y una línea que conecta dos nodos es un borde. El siguiente paso consiste en asignar una serie de atributos a cada nodo o borde, lo que permite introducir aquellas cualidades de interés para el proyecto que no habían podido ser consideradas aplicando la pura geometría y sus propiedades.

Todas estas representaciones suelen realizarse habitualmente en dos dimensiones, por lo que resultan fáciles de comprobar y analizar. En este sentido no se puede olvidar que las mayores dificultades a las que se enfrenta el análisis sintáctico espacial son precisamente los inherentes a los modelos 3D, debido a que éstos fueron concebidos y desarrollados con el fin prioritario de visualizar edificios o ciudades, buscando siempre una apariencia de realidad. En consecuencia, estos modelos carecen de las estructuras topológicas – la validación de la topología que se aplicaba en los SIG – que son imprescindibles para realizar análisis espaciales o consultas a las bases de datos asociadas al dibujo – las conocidas *queries* –, ya que sus elementos gráficos no están definidos como unidades espaciales y las relaciones existentes entre ellos no se han definido.

### 3. Caso de estudio: el Hospital Universitario de Guadalajara, España

En realidad, el recurso a la topología y sus métodos

para el diseño de hospitales, constituye solamente una aplicación particular. Pero en este caso concreto resulta especialmente adecuado debido, por una parte, a la gran complejidad organizativa que plantean los centros asistenciales, y que es la consecuencia directa de las especiales condiciones técnicas, funcionales, y de instalaciones y equipamiento que deben cumplir. Y por otra, a causa de las necesidades y los problemas específicos que plantean sus exigencias particulares de relación espacial.

La investigación aborda el estudio de cuatro grandes hospitales públicos españoles situados en Madrid capital y en su entorno geográfico: el Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla en Madrid, el Hospital Universitario Ramón y Cajal –también situado en Madrid–, el Hospital Universitario Príncipe de Asturias en Alcalá de Henares, y el Hospital Universitario en Guadalajara.

Aunque todos ellos son hospitales universitarios y proporcionan una atención médica puntera a nivel mundial, cada uno atiende a una población que tiene unas características distintas, y responde a unas necesidades asistenciales diferentes.

Como caso de estudio proponemos el Hospital Universitario de Guadalajara porque está ubicado en la periferia del núcleo urbano, y su emplazamiento resulta especialmente interesante por su complejidad, ofreciendo varias posibilidades de ampliación y de ordenación y diseño del entorno.

Este hospital es el centro de referencia especializados para la población de los municipios del entorno de Guadalajara que están situados dentro de un radio de más 60 km (Tabla 1).

Tabla 1: Características principales del Hospital Universitario de Guadalajara.

Año	Nº de camas	Superficie de parcela m <sup>2</sup>	Superficie construida m <sup>2</sup>	Tipología
1982	380	45.024	60.101	Torre de 10 plantas,
2007				y ampliación
2018 (ext.)	771		124.786	

Distancia 62 km de Madrid y 0,600 km del centro urbano de Guadalajara, situándose al suroeste de aquél. Está bien comunicado por carretera, pues la Autovía A2 pasa a escasos 400 m del hospital; además, el viario local permite un acceso rápido al transporte privado. Por otra parte, varias líneas de autobuses tienen parada junto al acceso oeste (Fig. 3).



Figura 3. Plano catastral del Hospital Universitario de Guadalajara (Fuente: Dirección General del Catastro 2017).

Desde el punto de vista tipológico, se trata de un edificio aislado: una torre de 10 plantas con cubiertas planas que se levanta sobre un amplio basamento que alberga las dos plantas inferiores. Está rodeada de un escueto jardín, pues los espacios circundantes están atravesados por el viario de acceso, o utilizados como zonas de aparcamiento más o menos ordenado (Figs. 4, 5 y 6).



Figura 4. El Hospital Universitario de Guadalajara desde el estacionamiento.

sureste(Fuente: G. García-Rosales).



Figura 5. Vestíbulo principal del Hospital que muestra la complejidad de las circulaciones(Fuente: G. García-Rosales).



Figura 6. Intersecciones y circulaciones cruzadas en el pasillo que vertebra las comunicaciones noreste-sureste del Hospital (Fuente: G. García-Rosales).

Para estudiar distintas posibilidades de reestructuración y optimización de la ubicación de los espacios y sus conexiones e interrelaciones en planta, aplicamos el método iterativo, identificando, como hemos expuesto anteriormente, los espacios cuyo requerimiento dimensional es mayor, y después los sucesivamente menores hasta obtener el conjunto de espacios convexos. Una vez obtenido el mapa axial hemos trazado la línea recta más larga que atravesase todos estos espacios, y así sucesivamente. En el grafo obtenido se han identificado los nodos y los bordes que los conectan.

A continuación, hemos transformado el plano en un modelo vectorial 2D y le hemos asociado los conjuntos de datos tridimensionales correspondientes. En este caso, los espacios interiores están compuestos por polígonos que representan los pasillos, las salas de espera y todos los tipos de espacios de paso necesarios. En cambio, hemos definido sus interrelaciones utilizando un sistema de estructura de capas análogo al que se usa en los sistemas de información geográfica, y validando la topología de cada elemento.

Para pasar de la planta 2D al modelo del edificio en 3D, el sistema es el mismo, pero operando con coordenadas espaciales y con elementos tridimensionales. Lo más sencillo es asignar a los nodos el carácter de acceso –vano, distintos tipos de puerta... –, priorizando y singularizando las salidas de emergencia. Los vínculos axiales conectarán los nodos a lo largo de las líneas centrales de los vestíbulos y los pasillos. A continuación se les asignarán sus respectivas cualidades y se procederá a incorporar una escala de valores, todo ello en las bases de datos alfanuméricas asociadas al dibujo vectorial; por ejemplo, la resistencia al flujo de personas o materiales – impedancia □ puede categorizarse según tales valores, lo que proporciona de inmediato una jerarquización de los espacios de paso. En este caso, la tercera dimensión se asignará espacialmente a la representación de escaleras, rampas y ascensores, así como a otros sistemas de comunicación interna como los tubos neumáticos. Como se puede apreciar, el sistema admite la representación de todo tipo de elementos y variables de una manera sencilla y versátil (Fig. 7).

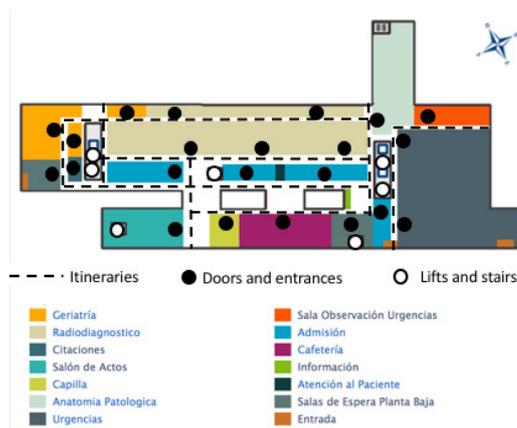


Figura 7. Mapa axial de la planta baja del Hospital Universitario de Guadalajara. Los puntos negros representan las puertas y los accesos, mientras los blancos definen las conexiones verticales como ascensores, rampas y escaleras. (Fuente: los autores).

Como ya comentamos, a priori los grafos vectoriales no incorporan información cuantitativa ni cualitativa de los espacios de paso, y hay que vincularla a través de las bases de datos correspondientes. Pero aquélla resulta fundamental para identificar los problemas que puedan surgir cuando se recorre un itinerario concreto por el interior del hospital.

Por esta razón, además de los aspectos puramente geométricos–implícitos en el dibujo vectorial y en su topología–y cuantitativos–dimensiones dibujadas o asociadas en la base de datos, es necesario incorporar otro tipo de datos cualitativos que resultan difíciles de obtener y cuya exactitud es ha de ser valorada.

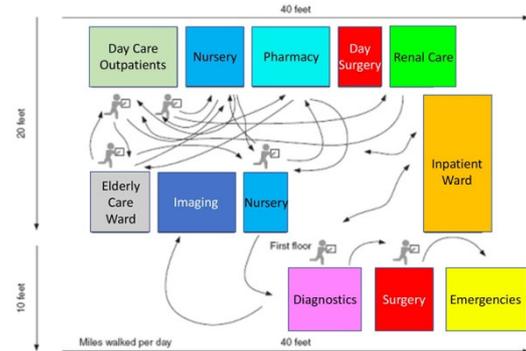


Figura 8. Diagrama tipo spaghetti que muestra los recorridos del personal clínico en el interior de un hospital (Fuente: los autores).

Para estos últimos, el método empírico que se sigue está basado en entrevistas formales semiestructuradas y en su correspondiente análisis, en reuniones informales y debates, en la observación y en su posterior revisión y comprobación – proceso de feedback – a través de informes. El procesado de todos estos datos y su conversión en información útil puede traducirse en diagramas tipo spaghetti, por ejemplo, que permiten hacer un seguimiento individualizado de los flujos interiores e identificar los recorridos de los distintos tipos de usuario (fig. 8).

Las bases de datos también reflejarán las diferencias funcionales dentro de las zonas de paso, que tendrán su correlato gráfico en otros cinco tipos de nodos: punto de cruce, ventana, puerta, escalera, y punto final – *CrossPoint*, *WindowPoint*, *DoorPoint*, *StairPoint* y *EndPoint*.

Por otra parte, la estructura interna de un hospital resulta particularmente compleja porque existen numerosos espacios y sub-espacios dentro de cada Unidad Clínica, y ello puede complicar considerablemente el esquema que hemos planteado inicialmente.

Por ello, desde un punto de vista funcional y de cara a facilitar la construcción de la estructura del grafo, en una segunda fase se procederá a subdividir cada una de las plantas. Las salas o espacios se vincularán con los

espacios de paso por medio de puertas y/o ventanas. A su vez, los subespacios se vincularán con los espacios de paso sólo a través de otras salas, como quedará reflejado en el correspondiente plano 2D.

Por su parte, las escaleras y los ascensores son elementos singulares que se habrán identificado como conexiones verticales en cada uno de los niveles o plantas del modelo de hospital. Estos puntos son especialmente sensibles en cuanto a que suelen acumular incidencias – acumulación de usuarios esperando, cruces de flujos, retenciones, etc. Las escaleras, por su parte, se pueden conectar virtualmente con los pasillos por medio de accesos y salidas con requisitos especiales.

En consecuencia, para tener en cuenta las necesidades funcionales y técnicas específicas que comporta la “navegación” por el interior de un hospital, y los distintos tipos de usuario – la Ontología de la Navegación Interior, o *Indoor Navigation Ontology* –, la organización de cada planta se podrá representar fácilmente a través del grafo correspondiente, y se definirá por medio de las propiedades topológicas de salas y conexiones, así como de los conjuntos de datos cualitativos y cuantitativos asociados a cada nodo o borde del grafo, que han sido obtenidos a través de métodos complementarios como los levantamientos, las encuestas, etc. (Evans and Minieka 1992) (fig. 9).

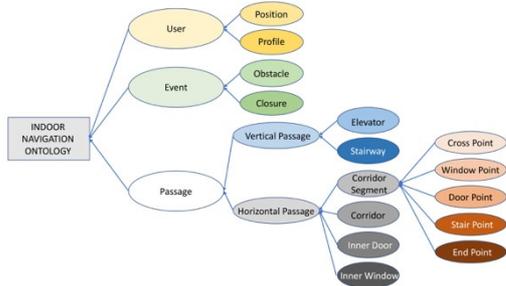


Figure 9. La Ontología de la Navegación Interior en un hospital (Fuente: los autores).

La aplicación de estos conceptos al diseño arquitectónico es inmediata. Pero también lo es en la gestión de los hospitales.

Por una parte, y como hemos comentado, conocer el perfil de los usuarios es fundamental para construir la red topológica, porque cada grupo tiene capacidades y necesidades físicas y perceptivas

específicas y diferentes. Por ejemplo, un usuario con una discapacidad física sólo podrá moverse de una planta a otra utilizando un ascensor, lo que resulta imposible en situaciones de emergencia y requerirá arbitrar las medidas alternativas oportunas.

Por otra parte, la posición de los usuarios se puede conocer en todo momento utilizando el análisis de redes y un geolocalizador. En estos casos el concepto de “suceso” designa a cada uno de los obstáculos que puedan aparecer en el flujo del usuario, que puede ser tanto un objeto físico que bloquee un pasillo – especialmente en situaciones de emergencia como la caída de una pared –, pero puede ser también una puerta cerrada que necesite que se den determinadas condiciones para ser abierta, o incluso un ascensor temporalmente sin servicio.

Utilizando todas estas herramientas las personas implicadas en el diseño y la gestión de los hospitales obtendrán un conocimiento y una percepción más completa de los distintos espacios, de los recorridos y de los accesos. Además, podrán visualizar las diferentes propuestas y hacer los oportunos comentarios e intervenciones en las reuniones periódicas con los arquitectos y los distintos responsables de los servicios y las unidades para alcanzar decisiones más rápidamente y sólidamente fundamentadas.

#### 4. Discusión y conclusiones

La creciente complejidad inherente al diseño de hospitales requiere una exploración en profundidad de nuevos métodos para el conocimiento, el análisis y la valoración de las interconexiones que se plantean entre sus espacios.

Hasta ahora se han venido utilizando los sistemas basados en la topología, que resultan de gran utilidad cuando se aplican a los espacios interiores. Estos sistemas se basaban en esquemas bidimensionales de planta o en modelos estrictamente geométricos, que resultaron inadecuados cuando se hizo necesario manejar otro tipo de información relacionada con estos espacios e interrelaciones. La solución vino de la mano de los modelos 3D, a los que es posible asociar datos semánticos y geométricos. Nótese que la tercera dimensión puede hacer referencia a la altura, pero también a cualquier otro tipo de variable que no tiene por qué ser necesariamente de naturaleza geométrica.

En este sentido, la utilidad y la aplicabilidad de las

matemáticas en el diseño arquitectónico se torna evidente en el método de la sintaxis espacial y en el modelado 3D, ya que ambos se centran en lograr la operatividad recurriendo a análisis como la accesibilidad, que son necesarios para diseñar organizaciones espaciales más adecuadas, o con fines relacionados con la “navegación” interior y exterior de los usuarios y la logística. La topología ayuda a prestar atención a los problemas específicos que surgen en los puntos de transferencia y en las intersecciones, a los riesgos de contaminación y transmisión de infecciones asociados a las circulaciones interiores.

Por otra parte, los conceptos que maneja la topología constituyen el fundamento de los sistemas de información geográfica (SIG) que han vinculado a escala territorial los mapas vectoriales y las bases de datos. Desde fechas recientes estos conceptos se pueden aplicar a la arquitectura a través de los Modelos de Información de los Edificios o *Building Information Models* (BIM).

En la actualidad, la sintaxis espacial y los BIM se han convertido en unas herramientas muy útiles de aplicación a los proyectos de arquitectura dotados de un cierto grado de complejidad. Obviamente, los hospitales y los centros asistenciales cumplen sobradamente este requisito, aunque la experiencia demuestra que los BIM no resultan especialmente rentables en los casos de remodelación de instalaciones existentes.

Como primera conclusión se puede establecer que ambos métodos son capaces de incorporar ciertas necesidades de los usuarios – aunque con diferente peso y prioridad □ debido a que sus aplicaciones específicas al proyecto de arquitectura pueden cubrir muchos aspectos y se pueden ir introduciendo en fases sucesivas. Los resultados más interesantes que se pueden obtener a lo largo del proceso de implementación son la definición de criterios aplicables al diseño y la gestión, y la incorporación de valoraciones subjetivas que resultan de gran utilidad a la hora de tomar decisiones.

Otra conclusión a destacar es que el método de la sintaxis espacial bidimensional es más barato y rápido que el BIM, debido a que la información que se le puede asociar es más limitada. Además se puede aplicar a situaciones prácticas como el diseño de las plantas y la prevención de riesgos.

En cambio, los modelos 3D son más intuitivos y fáciles de entender debido a sus posibilidades de visualización realista, lo que permite que el personal clínico implicado en el proyecto pueda literalmente sentir que pasea por las instalaciones. A cambio, son sistemas muy sofisticados y su modificación es mucho más rígida y menos inmediata. Por otra parte, como se tienen que aplicar desde las primeras fases del proyecto, son mucho menos versátiles y su implementación es más costosa. A cambio, si se introduce desde el principio, puede resultar rentable su utilización a lo largo de toda la vida útil del edificio.

La incorporación de otros factores como la distancia, el tiempo, la resistencia a los flujos de los usuarios □ impedancia □, o las conexiones entre los espacios situados a diferente altura, supone un avance sustancial a la hora de estudiar los problemas espaciales que se plantean en los hospitales. Estos avances han supuesto un cambio conceptual y operativo desde los programas de SIG bidimensionales hacia los modelos 3D (Kim *et al.* 2008).

Finalmente, las aplicaciones basadas en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como son los servicios de localización -*location-based services* (LBS)- que utilizan el método de la sintaxis espacial, se están aplicando con éxito en la “navegación” y la orientación por el interior de los hospitales, a modo de guías personales.

Como otro resultado de la investigación, estamos proponiendo actualmente el desarrollo de una serie de *apps* enfocadas a las tecnologías de localización y navegación que podrán aplicarse tanto en el interior como en el exterior de los centros hospitalarios.

### Referencias

- Casares, A 2012. *Arquitectura Sanitaria y Hospitalaria*. Madrid, Escuela Nacional de Sanidad. Available at: <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:500920> Accessed 2017-06-07.
- Chías, P. and Abad, T. 2017a. Topology for Health Care Facilities’ Design. *XY Digitale*, no. 3, pp. 156-169. Doi:<http://dx.doi.org/10.15168/xy.v2i3.48>.
- Chías, P. and Abad, T. 2017b. Green Hospitals, Green Healthcare. *International Journal of Energy Production and Management*, vol. 2, no. 2, pp. 196-205. Doi: <http://dx.doi.org/10.2495/EQ-V2-N2-196-205>

Evans, J.R and Minieka, E., 1992. *Optimization Algorithms for Networks and Graphs*. New York: Marcel Dekker Inc.

Frumkin, H and Coussens, Ch (eds) 2007, *Green Healthcare Institutions: Health, Environment, and Economics. Workshop Summary*. Available at: <http://www.nap.edu/catalog/11878.html> Accessed 2017-05-12.

Kim, H., Jun, Ch., Cho, Y., and Kim, G., 2008. Indoor Spatial Analysis using Space Syntax. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part 2, 2008, pp. 1065-1070.

Hillier, B 1996. *Space is the Machine*. Cambridge University Press.

Hillier, B. and Hanson, J., 1984. *The Social Logic of Space*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.

Lee, J., 2001. *A 3D data model for representing topological relationships between spatial entities in built-environments. PhD Dissertation*. The Ohio State University. Available by: [https://etd.ohiolink.edu/!etd.send\\_file?accession=osu1486399451960626&disposition=inline](https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=osu1486399451960626&disposition=inline)

Lorenz, B., Ohlbach, H.J. and Stoffel, E., 2006. A hybrid spatial model for representing indoor environments. *Web and Wireless Geographical Information Systems*. 6<sup>th</sup> International Workshop, W2GIS 2006, Hong Kong, China, December 4-5, 2006. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, pp. 102-112.

Penn, A., Hillier, B., Banister, D., and Xu, J., 1998. Configurational modelling of urban movement networks. *Environment and Planning B: Planning & Design*. 25, 1, 1998, pp. 59-84.

## 5. Agradecimientos

Esta ponencia es un resultado del proyecto de investigación BIA2016-78893-C3-1-R titulado "Metodología para la evaluación de los requisitos de confort, las condiciones ambientales y la funcionalidad espacial de los hospitales y su entorno. Propuestas de adaptación a los nuevos conceptos asistenciales".

Agradecemos al Ministerio español de Economía y Competitividad y a la Unión Europea su apoyo y

financiación que están permitiendo el desarrollo de este proyecto.

El equipo de investigación también quiere agradecer al Dr. Lucio Cabrerizo García, Director Gerente del Hospital de Guadalajara, y a Asís Jové, Director Médico del centro, por su ayuda y las facilidades que nos están brindando a lo largo de toda la investigación.