



Redefiniendo las ciudades: hacia un futuro más eficiente

Palabras clave: ciudades inteligentes, Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ciudades eficientes, ciudades sostenibles.

Resumen:

Ante la masiva migración de las zonas rurales a las urbes, las ciudades tal y como las conocemos se encuentran ante un punto de inflexión. Si no empiezan a sufrir una transformación estructural en breve corren el riesgo de colapsar. Hasta ahora se han propuesto soluciones para intentar aliviar algunos de los problemas más significativos aprovechando el potencial de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), pero siempre de forma aislada. En cambio, nosotros creemos que las ciudades del futuro deberían construirse de forma integral, teniendo en cuenta todas las vertientes de la vida urbana. En este artículo se propone una estructura integral de ciudad inteligente (smart city, en inglés) que pretende mejorar y aprovechar las interacciones que existen entre todos los servicios e intenta determinar qué papel podrían desempeñar los ciudadanos, la administración y las empresas.

Key words: smart cities, Information and Communication Technologies (ICT), efficient cities, sustainable cities.

Abstract:

Given the massive migration from rural to urban areas, cities as we conceive them nowadays are at an inflection point. If they not start overcoming a structural transformation soon, we run the risk of bringing cities to a standstill. So far, solutions that aim at alleviating some of the most relevant problems taking advantage of the potential of information and communication technologies (ICT) have been proposed. However, the scope of these solutions is usually restricted to very specific issues. By contrast, we believe that future cities should be built on the basis of an integral conception, taking every aspect of urban life into consideration. This article puts forward an integral structure of smart city that intends to improve and fully exploit the existing interactions among all the service provided and attempts to determine the role citizens, administrations, and companies should perform.



Jaime Boral

Ingeniero Industrial del ICAI (promoción 2010). Actualmente trabaja en su tesis doctoral como Investigador en Formación en el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT).



Álvaro Arranz

Ingeniero Industrial del ICAI (promoción 2007). Actualmente trabaja como Investigador en Formación realizando el doctorado en el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT).



Álvaro Sánchez

Ingeniero Industrial del ICAI (promoción 1998). Doctor por la Universidad Pontificia Comillas en 2002. Investigador del Instituto de Investigación Tecnológica y profesor del Departamento de Electrónica y Automática, ICAI.

Un nuevo concepto de ciudad, ¿qué es una smart city?

El porcentaje de población residente en ciudades ha ido aumentando progresivamente a lo largo del último siglo y previsiblemente lo seguirá haciendo a un ritmo elevado durante el siglo XXI. Este desplazamiento demográfico conlleva nuevos retos y oportunidades para la gestión de las grandes ciudades. En los últimos años, al abrigo del gran desarrollo que han experimentado las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y de la creciente preocupación por el cambio climático, ha ido surgiendo una corriente, liderada por empresas y centros de investigación, que persigue aprovechar las ingentes capacidades de procesamiento y transmisión de datos disponibles para intentar mejorar las condiciones de vida en las ciudades.

Un concepto muy extendido para referirse a las ciudades del futuro es el de *smart city*. Pero, ¿qué se entiende por *smart city*? Una *smart city* es una ciudad que posee un alto grado de desarrollo en el ámbito de las TIC y que es capaz de gestionar de forma eficiente sus servicios. Se puede afirmar por tanto que, en última instancia, se persigue que las ciudades sean más inteligentes. Para ello se ha establecido desde el principio, como requisito indispensable, el despliegue de una red de sensores a lo largo de toda la ciudad que, en conjunción con una red de comunicaciones, permita la monitorización remota de ciertos indicadores útiles para su gestión. No obstante, esta definición es demasiado general, por lo que existen multitud de interpretaciones, soluciones e implementaciones de diferentes servicios que pueden encajar en el marco de una ciudad inteligente.

En la literatura se han abordado diferentes problemas de monitorización, mantenimiento y gestión, proponiendo siempre soluciones individuales a cada uno de ellos. Los ejes de actuación que tradicionalmente se han tratado han sido las comunicaciones, la sociedad, la regulación gubernamental, el transporte, las infraestructuras y la energía.

- **Comunicaciones:** se centra en aquellos servicios relacionados con redes de comunicación, como telefonía fija y móvil, televisión, redes inalámbricas, ADSL, etc. Se trata de un área de investigación fundamental en la que se apoyarán posteriormente otras tecnologías.

- **Sociedad:** aborda los problemas de sanidad, educación, seguridad, gestión de desastres naturales, etc.

- **Regulación gubernamental:** se proponen nuevos servicios relacionados con la Administración, las políticas de regulación y la planificación económica.

- **Transporte:** esta área ha concitado más interés en la literatura. Concentra principalmente sus esfuerzos en problemas de movilidad, orientados tanto al transporte público como al privado, en los que la gestión del tráfico y la introducción del vehículo eléctrico son temas clave.

- **Infraestructuras:** analiza la gestión de las redes eléctrica, de gas y de saneamiento, los sistemas de reciclaje, etc.

- **Energía:** se ocupa de la producción, transporte y distribución de cualquier forma de energía dentro de una ciudad. Además, en este eje de actuación se abordan los problemas de eficiencia energética desde varios niveles: de ciudad, de edificio y de hogar. Conceptos como el de "redes inteligentes" son aquí ampliamente utilizados.

Ante la cantidad abrumadora de soluciones particulares parece imprescindible establecer una definición más estricta y detallada de lo que es una *smart city* y de cuáles son sus implicaciones. Un diseño robusto, coherente y eficiente puede aportar incontables beneficios a la gestión de la propia ciudad y a la calidad de los servicios que ofrece a sus ciudadanos. Aprovechar las sinergias entre los distintos procesos existentes en una ciudad y planificar de forma global todas sus funcionalidades es clave para avanzar por el camino de la eficiencia y la sostenibilidad.

En resumen, se puede concluir que la *smart city* debería ser capaz de abarcar todas las prestaciones que

una ciudad es capaz de ofrecer a sus ciudadanos. Más adelante, en este artículo se realiza una descripción detallada de una propuesta de taxonomía que añade a los servicios mencionados en la literatura otros que no se han considerado hasta el momento y los clasifica en diferentes áreas y esferas de influencia.

Diseñando las ciudades del futuro

Como se ha puesto de manifiesto, el foco de atención en el contexto de las ciudades inteligentes o *smart cities* ha recaído en los problemas más notorios, como el transporte o los servicios esenciales –agua y energía fundamentalmente– pero siempre desde una perspectiva particular, proponiendo soluciones individuales adaptadas a cada situación.

Por el contrario, nosotros tenemos el convencimiento de que es posible aprovechar los recursos de las TIC no sólo para mejorar las ciudades, sino también para transformarlas. Para ello, proponemos una nueva estructura integral de ciudad que pretende englobar todas las vertientes de la vida urbana, con el fin de explotar las interacciones existentes entre los diversos ámbitos y, de este modo, alcanzar un modelo de ciudad más eficiente, habitable y accesible.

Generalmente, las ciudades inteligentes se conciben con una estructura de tres capas conectadas secuencialmente: sensores, comunicaciones e inteligencia. En cambio, nosotros sugerimos la que se muestra en la figura 1. Frecuentemente se olvida que no es suficiente con conocer qué ocurre en el entorno, sino que es necesario poder alterarlo, de ahí que se haya añadido el término actuador al nivel inferior. Además, para poder implementar una *smart city* es imprescindible tener en cuenta la regulación específica del país. De hecho, es más que probable que en algunos casos haya que modificar el marco regulatorio para poder llevar a término las propuestas que se comentan a continuación (ver figura 1).

Una vez presentada sucintamente la estructura, la tabla I muestra nuestra

Figura 1



concepción de las ciudades del futuro. Por filas, figuran los diferentes servicios o *áreas de intervención* que creemos inherentes al concepto de ciudad inteligente:

- **Energía:** trata aquellos temas que pretenden reducir el consumo de energía, racionalizar la demanda, mejorar la gestión del almacenamiento y optimizar los intercambios energéticos que se produzcan entre los distintos agentes de la ciudad, sin sacrificar el confort del ciudadano.

- **Transporte:** se encarga de proponer la combinación de sistemas de transporte óptimos, y la infraestructura asociada, para minimizar los tiempos de viaje y facilitar los desplazamientos.

- **Instalaciones:** se enfoca en el desarrollo de los servicios necesarios para garantizar la cobertura de las necesidades esenciales y de confort con el menor coste posible.

- **Medio ambiente:** lidia con la contaminación del aire, el agua y la tierra, en lo que atañe a una ciudad, con el objetivo de adoptar las medidas y diseñar los sistemas necesarios para disminuir su impacto.

- **Seguridad y gestión de emergencias:** incluye las tareas que desarrollan medidas tanto activas como pasivas para garantizar la seguridad pública e individual, así como para abordar de forma efectiva las situaciones de emergencia y los desastres naturales.

- **Accesibilidad, salud y asistencia:** se ocupa de proponer medidas orientadas a mejorar la accesibilidad de los

espacios públicos y desarrollar procedimientos para garantizar que se proporciona una asistencia sanitaria adecuada a todos los ciudadanos en general y que se atienden las necesidades específicas de colectivos como niños, ancianos, indigentes y discapacitados.

- **Educación y cultura:** promueve sistemas para mejorar la calidad de la educación y la divulgación cultural.

- **Interacciones sociales:** se centra en los posibles métodos de interacción entre ciudadanos, empresas y administraciones.

Cada una de estas áreas, cuyo alcance se detalla más adelante, opera en

tres esferas de influencia distintas, que aparecen por columnas en la tabla 1:

- **Hogares:** Hace referencia a los ciudadanos individuales y a las familias en un entorno doméstico.

- **Ciudades:** Abarca las actuaciones que pueden llevarse a cabo por la administración pública al considerar las necesidades de los núcleos urbanos en su conjunto.

- **Empresas:** Engloba las medidas que pueden ser puestas en práctica por las compañías.

El cuerpo de la tabla 1 lo componen las distintas tareas o actividades que son susceptibles de ser llevadas a cabo en cada área y esfera.

Tabla 1

	Hogares	Ciudades	Empresas
Energía	Gestión activa de la demanda. Portal del consumidor.	Integración y almacenamiento de energías renovables	Centro de gestión de energía del edificio
Transporte	Vehículos eléctricos: puntos de carga.	Gestión integral de los sistemas de transporte en tiempo real	Gestión de aparcamientos
Instalaciones	Domótica	Mantenimiento eficiente de instalaciones	Inmótica
Medio ambiente	Sistemas de reciclado	Sistemas de reducción de emisiones	Sistemas de reciclaje depuración
Seguridad y gestión de emergencias	Sistema de seguridad activos	Monitorización y vigilancia	Sistemas de seguridad activos
Accesibilidad, salud y asistencia	Robots móviles y sistemas de supervisión	Movilidad	Asistencia en centro comerciales
Educación y cultura	Seguimientos distancias de los alumnos	Gestión de la calidad de la enseñanza. Turismo interactivo	Curso de formación online
Interacciones sociales	Trámites remotos. Comercio inteligente	Portal del ciudadano	Trámites a distancia. Comercio inteligente



Persiguiendo un objetivo común. El papel de las empresas

La construcción de ciudades más eficientes y sostenibles requiere la colaboración activa y estrecha de todos sin excepción, desde empresas e instituciones públicas hasta organismos de investigación. Éste es un reto complicado que precisa de mucho esfuerzo y coordinación, puesto que gran parte de las áreas de intervención están relacionadas entre sí y existen sinergias que se deben aprovechar. Sería un gran error tratar cada área independientemente, como se está haciendo en muchas ocasiones a nivel mundial, ya que, por definición, el fruto que se obtenga se aleja del concepto de ciudad inteligente. En esta sección se van a proponer los distintos aspectos en los que las empresas, instituciones y organismos pueden colaborar, de forma que cada uno de ellos se sienta más identificado y dispuesto a aunar fuerzas para hacer realidad el proyecto de ciudad del futuro.

Téngase en cuenta que este artículo no pretende hacer una enumeración exhaustiva, ni contempla todas las relaciones subyacentes entre las distintas áreas de intervención, sino que busca dar una idea de la envergadura del problema y sentar las bases para organizar el trabajo que hay que realizar. Cada uno de los aspectos a tratar se enmarca en el cuerpo de la tabla I y

se presenta dividido por áreas de intervención. Si alguna entidad cree que realiza una actividad importante para el desarrollo de las ciudades inteligentes y no se ve claramente reflejada en la tabla, por favor, que no dude en ponerse en contacto con los autores del artículo.

Energía

Desde esta área de intervención se persigue adoptar medidas y desarrollar sistemas que reduzcan el consumo de energía, permitan racionalizar la demanda, mejoren la gestión del almacenamiento y optimicen los intercambios energéticos entre los diferentes agentes dentro de la ciudad, sin sacrificar el confort. Los problemas energéticos con los que hay que lidiar deben ser abordados poniendo especial énfasis en la eficiencia. Tanto los ciudadanos, como las empresas se deben comportar de forma similar, en el sentido de que deben contribuir a mejorar la eficiencia de la red. Por ejemplo, podrían responder de forma activa a los requerimientos energéticos del sistema, activando y desactivando los electrodomésticos, las máquinas o los procesos, de forma que se reduzcan los picos en la potencia total consumida o se maximice la cantidad de energía renovable utilizada para evitar los vertidos de energía.

La gestión eficiente de energías renovables seguramente requerirá acu-

mular los excesos de producción en algún tipo de dispositivo de almacenamiento para poder distribuir la energía más tarde. Los vehículos eléctricos, tan en boga en la actualidad, están llamados a ser, además de un medio de transporte, una solución de almacenamiento más que adecuada y, al mismo tiempo, a reducir la contaminación de los núcleos de población. Por lo tanto, una buena coordinación entre las áreas de intervención de energía y de transporte puede dar lugar a una mejora en la eficiencia energética de las ciudades.

Las ciudades, además, deben promover que se ofrezcan servicios energéticos locales para, por ejemplo, agregar del comportamiento de varios consumidores, proveer de infraestructuras de carga de vehículos, soportar mercados de servicios para la distribución de energía...

Transporte

Como se acaba de mencionar, las previsiones invitan a pensar que en un futuro no demasiado lejano, el uso de los vehículos eléctricos como solución de movilidad urbana jugará un papel importante. Como consecuencia, será necesaria la instalación a gran escala de puntos de carga en los domicilios, los cuales permitirían utilizar las baterías de los vehículos para gestionar los picos y valles en la demanda. Evidentemente, esto debería hacerse de tal

forma que sea beneficioso tanto para el propietario del vehículo, como para el resto de agentes del sistema eléctrico.

Desde el punto de vista de las empresas, no es extraño que las organizaciones de un cierto tamaño posean aparcamientos privados para sus empleados. Aparte de poder aprovechar la alta concentración de vehículos eléctricos para operar como plantas virtuales, existe la posibilidad de ofrecer las plazas libres como solución de aparcamiento, garantizando por supuesto las medidas de seguridad pertinentes. Esta misma propuesta es extensible también a aquellos particulares que dejen sus plazas disponibles mientras se encuentran en el trabajo.

Desde una perspectiva más global, las ciudades podrían, no sólo gestionar las plazas de aparcamiento libres e informar a los conductores de su ubicación, sino que también deberían poder controlar los semáforos para agilizar el tráfico. Aún más, las ciudades deberían contar con una red de transporte que permitiese minimizar los tiempos de desplazamiento y sugiriere a los usuarios rutas alternativas en tiempo real cuando se produzca alguna incidencia. A través de sistemas basados en telefonía móvil se podrían estimar los hábitos de movilidad de los ciudadanos, para poder hacer una optimización de la gestión del tráfico a nivel micro, es decir, de forma individualizada.

Otro problema interesante con el que lidiar es la gestión del transporte de mercancías dentro de las ciudades para evitar, en la medida de lo posible, la circulación de vehículos de gran tonelaje por los centros urbanos; es más, se podrían plantear transportes alternativos enfocados al reparto de mercancías.

Todo lo que se ha planteado en esta sección tendría que hacer reflexionar sobre cuál debería ser la combinación de medios de transporte dentro de la ciudad que permita atender las necesidades de los ciudadanos, minimizando el impacto sobre el medio ambiente y el consumo energético.

Instalaciones

En esta área de intervención se incluyen tanto la gestión de las instalaciones necesarias para cubrir las necesidades básicas del ciudadano y empresas, como la gestión de las instalaciones que proporcionan confort y bienestar.

Desde el punto de vista de las zonas públicas, el mantenimiento y construcción de las instalaciones debe hacerse de forma planificada y coordinada. Además se deben instalar sensores que permitan localizar con precisión los problemas, o incluso preverlos con antelación, con el fin de tomar las medidas pertinentes con mayor celeridad. Por otro lado, en aquellas zonas donde fuese posible, se debería considerar la posibilidad de conducir las canalizaciones por galerías subterráneas para garantizar un acceso más sencillo. Entre las instalaciones básicas necesarias se encuentra la gestión de las canalizaciones para residuos, agua, electricidad y gas. Otras instalaciones que ofrecen confort serían, por ejemplo, redes de comunicaciones para la interacción de las personas dentro de la ciudad e instalaciones deportivas y de ocio de fácil acceso.

Desde el punto de vista de los hogares y empresas, la domótica y la inmótica (domótica aplicada a la industria) tienen mucho que decir, no sólo a nivel de confort, sino porque pueden contribuir a la eficiencia energética, la seguridad y la preservación del medio ambiente.

Medio ambiente

En este aspecto, probablemente la tarea más importante sea la concienciación social. Para fomentar el reciclaje entre los ciudadanos se podría desarrollar un estándar de etiquetado que ayudase a determinar en qué contenedor se debe arrojar un determinado desecho, pues esto aún genera muchas dudas, e informase acerca de la huella ecológica del producto (emisiones de CO₂ equivalentes requeridas para fabricarlo y distribuirlo). Esto podría complementarse con sistemas automáticos de recogida en los hogares. Las industrias, por su parte, necesitan urgentemente la instalación de sistemas que reduzcan los vertidos y emisiones, y faciliten el reciclado.

Finalmente, aparte del hecho de que la calidad del aire en las ciudades se beneficiaría enormemente con la llegada de los vehículos eléctricos, parece necesario desarrollar planes que reduzcan la polución como, por ejemplo, determinar la proporción y distribución ideal de zonas verdes.

Seguridad y emergencias

En términos de emergencias, la historia está llena de catástrofes cuyo efecto, con sistemas de detección adecuados y medidas de asistencia y evacuación apropiadas, podría haber sido menos devastador. Una buena coordinación entre policía, bomberos y otras fuerzas de seguridad es clave. Para que esto suceda es necesario instalar sensores que permitan anticipar



catástrofes o detectarlas en el preciso instante en que se producen. Una red de comunicaciones redundante, para que los efectivos se coordinen en situaciones extremas, y sistemas que permitan estimar la envergadura de una emergencia para dimensionar la forma de abordarla son imprescindibles.

Esta área de intervención se solapa, de nuevo, con otras. Así, una colaboración entre transporte y seguridad podría permitir coordinar el tráfico para que los efectivos de emergencias llegaran a tiempo, y una colaboración con el área de interacciones sociales proporcionaría la posibilidad de disponer de un portal para reportar emergencias y problemas.

Desde el punto de vista de la seguridad, en los domicilios y empresas, sistemas de seguridad soportados por sistemas domóticos e inmóticos respectivamente basados en los recientes avances en inteligencia artificial, podrían ayudar a reducir los problemas de seguridad. Por ejemplo, sistemas de seguridad activos y colaborativos, que tomen decisiones sin esperar a que el ciudadano solicite ayuda, sistemas de detección del comportamiento de las personas para detectar condiciones anómalas, coacciones, etc. Es clave que la ciudad transmita una sensación de seguridad al ciudadano, para que éste se pueda desarrollar como persona y así contribuir de forma más efectiva a construir una ciudad inteligente.

Accesibilidad, salud y asistencia

Una ciudad que merezca el calificativo de inteligente debería tener en cuenta las necesidades especiales de grupos como los discapacitados, los ancianos, los niños o las personas sin hogar, garantizando la accesibilidad en los espacios públicos, que deberían estar adaptados para que todos pudiéramos desplazarnos por ellos. Una colaboración con el área de instalaciones podría permitir evitar zonas en las que se están realizando tareas de mantenimiento.

Los centros comerciales son otro gran foco de interés para esta área. Deberían contar con sistemas de guiado que permitieran a cualquier

persona en general, y en particular a los invidentes, localizar y comprar los productos por su cuenta. En entornos domésticos, los sistemas domóticos y la robótica móvil servirían para detectar y alertar automáticamente que una persona dependiente ha sufrido un accidente o requiere asistencia de algún tipo.

La asistencia médica es otra vertiente a considerar. Es necesaria una gestión eficiente de los centros de salud, que permita desahogar los servicios de urgencias, y de los servicios médicos para reducir las esperas. De nuevo, para mejorar estos aspectos hacen falta mecanismos de interacción con el ciudadano. La expedición automática de recetas médicas para enfermedades crónicas o un sistema de gestión de citas no presencial, entre otras medidas, podrían contribuir a aliviar estos problemas.

Educación y cultura

La educación y la cultura nunca pueden faltar en una ciudad. A nivel de la administración podrían contar con un portal que hiciese pública información relativa al rendimiento académico de los colegios e instituciones educativas, promoviese las actividades culturales y facilitase el turismo interactivo, entendiendo como tal que un visitante pueda, por ejemplo, pasar por delante de un monumento y recibir información en su terminal móvil acerca del mismo.

A nivel del ciudadano individual, los colegios deberían proporcionar información a través de la red para poder llevar un seguimiento más adecuado de los alumnos. Finalmente, las empresas, y más concretamente las instituciones educativas, podrían promover la formación *online*.

Interacciones sociales

Los diferentes agentes de una ciudad deben estar interconectados. Desde una vertiente global, enfocada en la administración, imaginamos una red social o portal del ciudadano donde se puedan intercambiar opiniones sobre cómo mejorar la ciudad, la administración pueda explicar de forma transparente la gestión que se está llevando a cabo, tanto los ciudadanos

como las empresas puedan agilizar todo tipo de trámites a distancia con la administración (reclamaciones, denuncias, reportar problemas y soluciones...), etc.

Si nos centramos en las relaciones entre ciudadanos y empresas, deberían tener un medio de interacción remota. No se trata de comercio electrónico, sino más bien de comercio inteligente. En base a las necesidades, situación y comportamiento de los potenciales clientes, se podrían ofertar los servicios específicos que cada cliente requiere. Actualmente, gracias a los *smartphones* y al pago a través de tarjeta se puede conocer la situación de los ciudadanos y deducir ciertos hábitos de conducta para ofrecer servicios al usuario antes de que siquiera los pida. Por ejemplo, se podría alertar a través del teléfono móvil de la presencia en las inmediaciones de un establecimiento en el que se vende algún producto que se está buscando. ■

Bibliografía

- [1] Anthopoulos, L., & Fitsilis, P. (2010). *From digital to ubiquitous cities: Defining a common architecture for urban development*. *Intelligent Environments (IE)*, 2010 Sixth International Conference on, 301-306.
- [2] Al-Hader, M., Rodzi, A., Sharif, A. R., & Ahmad, N. (2009a). *Smart city components architecture*. *Computational Intelligence, Modelling and Simulation, 2009. CSSIM '09. International Conference on*, 93-97.
- [3] Bach, B., Wilhelmer, D., & Palensky, P. (2010). *Smart buildings, smart cities and governing innovation in the new millennium*. *Industrial Informatics (INDIN)*, 2010 8th IEEE International Conference on, 8-14.
- [4] Jin Goo Kang, Ju Wook Jang, Chang Ho Yun, & Yong Woo Lee. (2011). *A network management system for u-city*. *Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2011 13th International Conference on, 279-283.
- [5] Jungwoo Lee, Songhoon Baik, & Choonhwa Lee. (2011). *Building an integrated service management platform for ubiquitous cities*. *Computer*, 44(6), 56-63.
- [6] Morvaj, B., Lugaric, L., & Krajcar, S. (2011). *Demonstrating smart buildings and smart grid features in a smart energy city*. *Energetics (IYCE)*, Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on, 1-8.
- [7] Qiqi Zhang, Shentu Gang, & Puming Li. (2010). *Smart city grid: The start to develop smart grid*. *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE)*, 2010 International Conference on, 1-4.