

La importancia creciente de la obra subterránea en el siglo XXI

The increasing importance of underground works in the 21st century

Laureano Cornejo Álvarez. Ingeniero de Minas

Director General de Geoconsult España, Ingenieros Consultores, S.A. l_cornejo@geoconsult.es
www.geoconsult.es

Resumen: En los próximos años la Construcción de Obras Subterráneas Urbanas, experimentará un auge notable, convirtiéndose en un instrumento necesario para hacer sostenible el creciente desarrollo, que el incremento demográfico hacia las ciudades exige. El Nuevo Desarrollo Tecnológico, que está basado en la aplicación de la Nanotecnología, hará que los Proyectos Subterráneos ofrezcan la seguridad exigible durante su construcción y durante su utilización a lo largo de su vida útil, con unos costos totales similares a los de los proyectos realizados en la superficie.

Palabras Clave: Urbanismo Subterráneo; Nuevo Desarrollo Tecnológico; Nanotecnología; Innovación Tecnológica; Edificios Ecológicos; Urbanismo en tres niveles; hormigones, revestimientos

Abstract: The construction of Urban Underground Works shall see a considerable rise in forthcoming years and these shall become the essential means of ensuring the sustainability of increased development in cities brought about by population growth. New Technological Development, based on the application of Nanotechnology, shall ensure that Underground Projects offer the necessary safety during construction and throughout their working lives, at total costs similar to projects performed above ground.

Keywords: Underground town planning; New Technological Development; Nanotechnology; Technological Innovation; Ecological Buildings; Three-tier planning; Concretes, Linings

1. Evolución de la Población Urbana

La población mundial muestra una tendencia creciente a vivir en las ciudades. En este año 2009 la población urbana en el mundo superará ya a la población rural. Para el año 2030 se estima que la población urbana alcance el 60% de la población total (5.000 Mill. de habitantes y para el horizonte de 2050 se estima que superará el 65%, según los organismos de la ONU, UNFPA y ONU-HABITAT).

En España la población urbana es aún mayor llegando al 78% de la población total. Se estima que la población urbana crezca en el mundo, en los años venideros, a un ritmo anual del 0,4%. (Fig. 1).

Por otra parte el número de ciudades, de más de 1.000.000 de habitantes, se ha incrementado pa-

sando de 10, a principios del siglo XIX, a 17 en 1900, y a más de 300 en 2001. Asimismo, el número de megaciudades o megalópolis de más de 20 Mill. de habitantes llegará en el siglo XXI a 19.

A la vista de estos datos se constata que la concentración urbana va en aumento, lo que se conoce como el fenómeno de **urbanización**.

La concentración urbana creciente presenta importantes desafíos como: la contaminación, el suministro de recursos energéticos, la destrucción de suelo agrícola y la degradación de los centros históricos, entre otros. El desafío que plantea la aglomeración urbana es el de conseguir mantener un equilibrio entre los aspectos espacial, social y ambiental del entorno urbano y las necesidades de sus habitantes, satisfaciendo las exigencias de la genera-

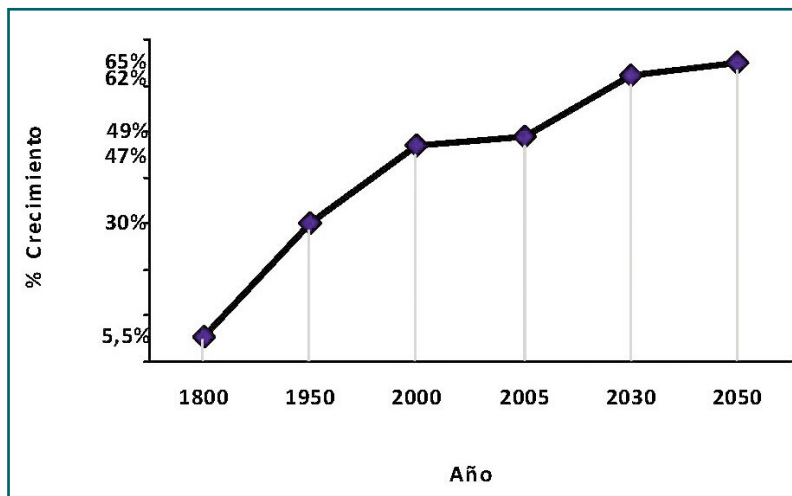


Fig. 1. Evolución de la Población Urbana Mundial.

ción presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las de las generaciones futuras, lo que viene en llamarse **desarrollo sostenible**.

2. Importancia de la Obra Subterránea Urbana

En este contexto, la construcción de obras subterráneas urbanas contribuye a solucionar las demandas de desarrollo de la sociedad urbanita, promoviendo el desarrollo del urbanismo subterráneo de las ciudades, proporcionando múltiples e importantes usos del espacio subterráneo; Ésta es la razón por la cual, la obra subterránea urbana tendrá una importancia creciente en un próximo futuro.

Los beneficios que puede aportar a la sociedad el uso del Espacio Subterráneo son múltiples; algunos de los más importantes son: reducción de la contaminación atmosférica (ruidos, vibraciones, emisión de gases y partículas contaminantes, ahorro energético y generación de espacios que liberan el espacio exterior urbano, cada vez más escaso y caro).

De este modo, la utilización de este espacio urbano contribuirá eficazmente al desarrollo sostenible y armonioso y a construir una nueva imagen de las ciudades, proporcionando un entorno ambiental urbano más amigable y de mayor calidad de vida. Para conseguir estos objetivos la Agenda SRA de julio de 2007, dentro del marco de la Plataforma Tecnológica de la Construcción ECTP, fija como prioridad B "La Innovación en el uso del Espacio Subterráneo".

El incremento en el uso del Espacio Subterráneo Urbano exige, como condición necesaria, la **completa aceptación de este uso por parte de la socie-**

dad, que debe percibirlo como seguro, atractivo y eficiente.

Esta completa aceptación se conseguirá mediante la **Innovación Tecnológica** que promueva nuevos métodos de construcción, haciendo ésta competitiva y sostenible, **con unos costos de construcción y de utilización similares a los de las construcciones en la superficie.**

En los próximos años se incrementará notablemente la construcción urbana de túneles y cavernas, en cualquier tipo de terreno, haciéndola competitiva y atractiva con la aplicación de nuevos métodos constructivos y de control, promovido por la Innovación Tecnológica que se avecina. Estas construcciones subterráneas urbanas promoverán el desarrollo de las infraestructuras de las ciudades, dando solución a las necesidades crecientes de medios de transporte para personas y mercancías.

Se crearán también espacios subterráneos habitables (Fig.2, Fig.3 y Fig 4) como: salas de conciertos, iglesias, espacios de ocio, bibliotecas, museos.....

Las Ventajas de la utilización el Espacio Subterráneo urbano en las ciudades se indican en la Tabla 1.

La utilización del Espacio Subterráneo, exige la realización de estudios muy rigurosos y completos que evalúen las posibles incidencias en su entorno; principalmente debe analizarse la posible vulnerabilidad del agua subterránea como consecuencia de su construcción. El diseño de los Espacios Subterráneos debe realizarse siguiendo los criterios marcados por el **Urbanismo Subterráneo**, disciplina que experi-

Fig. 2. Auditorio subterráneo.





Fig. 3. Espacio subterráneo (piscina, sauna, gimnasio y bar) (Arquitecto Lawson Robb).

mentará un importante desarrollo en los años venideros.

3. El Urbanismo Subterráneo

Los primeros autores que se ocuparon del Urbanismo Subterráneo fueron Eugène Hérard y Edouard Utudjian a principios del siglo XX. En España, Ildefonso Cerdá (1867) enunció en sus escritos los principios básicos del Urbanismo.

Está comprobado que las megalópolis, las megaciudades y las grandes ciudades son los sistemas

Fig. 4. Espacio subterráneo para biblioteca pública.



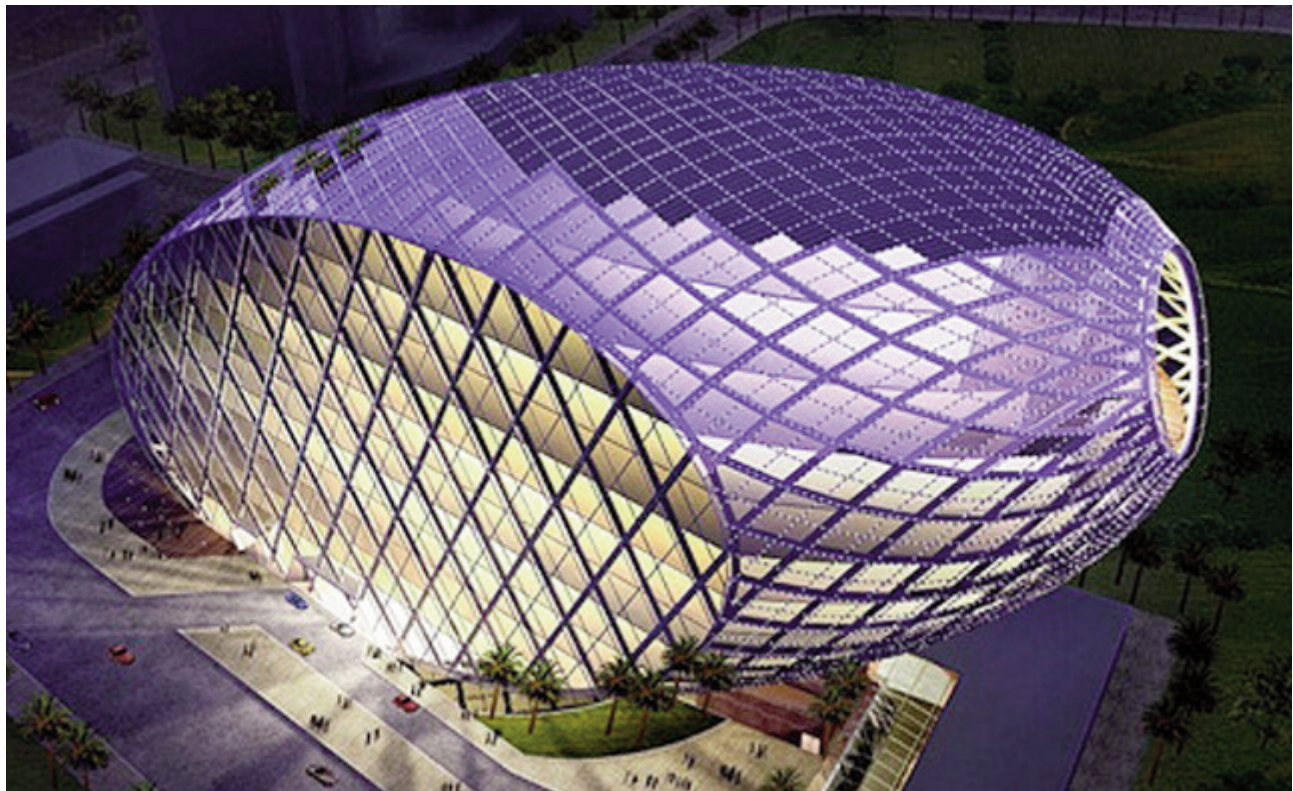
Tabla 1. Ventajas de la utilización del Espacio Subterráneo en las Ciudades
• Contribución a la reducción de la congestión del tráfico mediante redes subterráneas del transporte de personas y mercancías. • Reduce la contaminación en superficie: humos, gases, partículas, ruidos, vibraciones, • Es un espacio no sujeto a las inclemencias del tiempo. • Proporciona espacio, incrementando el exterior disponible. • Permite almacenar sustancias peligrosas nocivas o molestas, plantas de residuos.... • Permite alojar instalaciones de almacenamiento de alimentos y productos varios. • Permite alojar instalaciones deportivas, de ocio, centros comerciales, aparcamientos, depósitos de agua potable, agua de lluvia, plantas de tratamiento, equipamiento urbano, centros de transformación eléctrica, aire acondicionado, cámaras frigoríficas... • Reduce el consumo de energía y combustible. • Reduce los tiempos de viaje y de transporte. • Mejora la calidad del entorno urbano en superficie. • Es un espacio protegido de avalanchas y deslizamientos, y da una mayor protección contra movimientos sísmicos. • Protege de los posibles efectos del cambio climático. • Permite alojar redes de saneamiento, colectores de servicios, y comunicaciones. • Permite la conducción por tubería a altas presiones de fluidos, gases, y materiales. • Permite crear entornos habitables.

que mayor impacto ejercen sobre el Planeta. El Objetivo del urbanismo Subterráneo es minimizar este impacto.

El fenómeno imparable de la concentración urbana de los ciudadanos (fenómeno de urbanismo), impulsa a su vez, de un modo casi frenético, el crecimiento y desarrollo de las ciudades. Se establece, por tanto, una pugna entre el desarrollo urbano y su sostenibilidad en el tiempo.

La batalla de la sostenibilidad del desarrollo en las ciudades, se ganará o se perderá según sean los niveles de calidad de la organización y de la gestión urbanas que seamos capaces de desarrollar e implantar en un próximo futuro. Será necesario construir edificios ecológicos y utilizar vehículos para el transporte público y privado que no contaminen el medio ambiente. (Fig.5)

Fig. 5. Edificio Ecológico (INDIA).



La presión sobre el medio ambiente urbano se manifiesta en un consumo creciente de recursos y en la contaminación ambiental principalmente.

Para conseguir este desarrollo sostenible es absolutamente necesario **reducir el consumo de los recursos y los niveles de contaminación**; el logro de estos objetivos será un reto permanente que tendremos

que supera aplicando al espacio urbano nuevas tecnologías.

Fig. 6. Características del edificio ecológico



4. Necesidad de Nuevas Tecnologías

Estas nuevas tecnologías tienen su fundamento en el desarrollo de la **Nanotecnología**; La Nanotecnología es la ciencia que estudia, diseña, construye, sintetiza, manipula y aplica los materiales, aparatos y sistemas funcionales, mediante el control de la materia a un tamaño de nanoescala ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). El objeto de la Nanotecnología es, por tanto, la materia de dimensiones entre $1 \text{ nm} - 100 \text{ nm}$.

Los materiales a escala nano tienen propiedades muy diferentes a las de los materiales visibles de tamaño macro; sus propiedades físicas no siguen las leyes de la mecánica de Newton, sino las de la mecánica cuántica. La nanotecnología revolucionará la tecnología actual en múltiples campos: el energético, la electrónica, la informática, la medicina y los medicamentos, los materiales, las máquinas, los mecanismos, y los sistemas de información, la producción de alimentos, la seguridad, el medioambiente, los sistemas de control... (Fig 6).

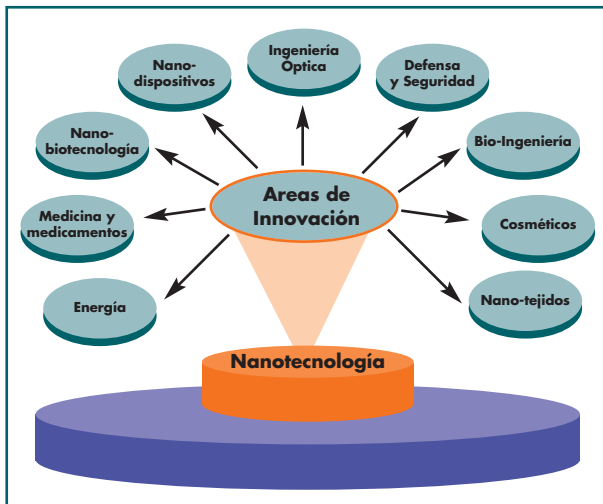


Fig. 7. La Nanotecnología, Áreas de Innovación.

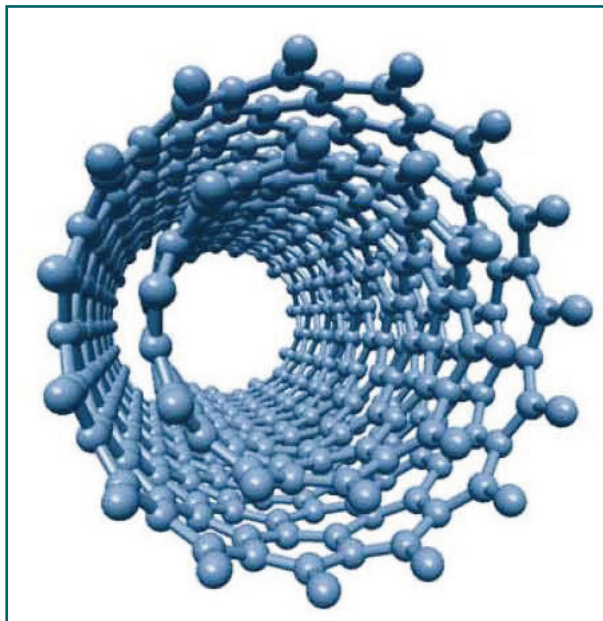


Fig. 8. Nanotubo de Carbono de doble capa

La nanotecnología hará posible utilizar materiales de construcción más ligeros y resistentes. La inclusión de nanotubos de carbono, permitirá disponer de hormigones más resistentes durables y ecológicos con un ahorro de cemento, convirtiendo los revestimientos en “inteligentes” con la propiedad de manifestar la evolución de las deformaciones y tensiones, a lo largo de la vida útil de la estructura, adaptándose a ellas. (Fig.7).

La utilización de la nanotecnología hará que se desarrollen nuevos aditivos para los hormigones más eficientes y versátiles. Se podrán fabricar hormigones con las propiedades predeterminadas deseadas.

También los sistemas de información y control de los procesos de construcción, de explotación y de mante-

nimiento de la obra subterránea, durante su vida útil, experimentarán un espectacular incremento en la velocidad de transmisión de datos y en la precisión y en la fiabilidad de las mediciones de las deformaciones, con la utilización de la nanotecnología; Estas mejoras tecnológicas conseguirán incrementar sustancialmente la seguridad durante la vida útil de la obra.

5. Nuevo Urbanismo Subterráneo

El desarrollo sostenible de las ciudades exige la aplicación un nuevo concepto de urbanismo, el llamado “Urbanismo en tres niveles”, el nivel de superficie, el nivel sobre la superficie y el nivel por debajo de la superficie (subsuelo). Este urbanismo a tres niveles interrelacionados, contribuirá decisivamente a alcanzar la necesaria sostenibilidad del entorno urbano.

Los principales objetivos del nuevo urbanismo del siglo XXI son:

1. Mantener la biodiversidad y preservar los valores geográficos y naturales
2. Autosuficiencia de recursos
 - Autosuficiencia de agua
 - Autosuficiencia energética
 - Autosuficiencia de materiales, reduciendo su utilización y favoreciendo su reutilización y reciclado.
3. Ordenar la logística urbana y los servicios de agua, gas, electricidad y telecomunicaciones ubicándolos en galerías. La logística de distribución debe or-

Fig. 9. Espacio subterráneo ajardinado.



denarse mediante plataformas logísticas y sistemas inteligentes de distribución, como los robots y/o los sistemas automatizados.

4. Racionalizar la movilidad y la funcionalidad creando plataformas específicas para cada medio de **transporte público en la superficie y en el subsuelo, al que debe darse prioridad sobre los sistemas de transporte privado.**

- Reducir los aparcamientos en superficie y facilitar la movilidad peatonal.

5. **Incrementar el uso y las funciones de los espacios públicos en superficie**, liberando la mayor cantidad de posible de espacio público destinado a la circulación y al aparcamiento de vehículos privados, convirtiéndolo en espacio para el uso y disfrute de los ciudadanos.

- Crear espacios públicos por encima del suelo y por debajo (subsuelo)
- Incorporar al diseño del espacio público, niveles adecuados de: confort térmico, lumínico, de ventilación y climatización, diseñando también un impacto visual agradable a los sentidos, (Fig.8) reduciendo el ruido y la contaminación a niveles mínimos, ofreciendo a los ciudadanos unos niveles de seguridad y una accesibilidad adecuados.

6. El objetivo final del urbanismo es hacer compatibles la complejidad, la competitividad y una mayor calidad de vida en las ciudades.

Es necesario redescubrir el uso ancestral del Espacio Subterráneo, adaptándolo a las exigencias y necesidades de nuestro tiempo, mediante el empleo de nuevas tecnologías que permitan implantar nuevos procedimientos de construcción más seguros y eficientes, utili-

zando nuevos materiales más ligeros y resistentes y mediante el control fiable de los procesos constructivos y de explotación en tiempo real, que garantice la **utilización segura del espacio subterráneo.**

La creación de los espacios subterráneos habitables exigirá, además, vencer las barreras psicológicas de los ciudadanos, para lo cual será necesario desarrollar proyectos de acuerdo a los principios de diseño del urbanismo subterráneo y a los criterios de salubridad.

La Agenda SRA (Julio 2007), dentro del marco de la Plataforma Tecnológica europea de Construcción (ECTP), ha fijado como prioridad B la Innovación en el uso del espacio subterráneo.

6. La Plataforma Europea ECTP

La plataforma ECTB establece 7 áreas:

La plataforma ECTP, que trata de la Innovación de la Industria de la Construcción, establece 7 áreas de prioridad; la Industria de la Construcción Subterránea se trata en la prioridad B: Innovative Use of Underground Space que comprende 7 apartados:

- B-1 Nuevos Conceptos: Integración de los usos Subterráneos
- B-2 Adecuación y Renovación de las estructuras subterráneas existentes
- B-3 Nuevas Tecnologías de Construcción de túneles (TUNCONSTRUCT)
- B-4 Nuevos Procedimientos y tecnologías de comunicación (ICT, TUNCONSTRUCT)
- B-5 Subsuelo Transparente para la Planificación Urbana en 3D
- B-6 Modelización n-D de la Construcción de Túneles; (modelos digitales, y herramientas e simulación-modelo de información subterránea
- B-7 Nuevos Materiales. ♦

Referencias:

-ECTP European Construction Technology Platform.

-Strategic Research Agenda for the focus Area of Underground Construction- Vision 2030.

-Strategic Research Agenda for the European Construction Sector Achieving a sustainable and competitive construction sector by 2030, February 2005.

-Strategic Research Agenda for the European Underground construction sector, October 2005.

-Vision 2030 and Strategic Research Agenda focus Area Cities and Buildings, Version 2, October 2005.

-Un nuevo urbanismo para abordar los retos de la Sociedad actual; Salvador Rueda.

-Un nuevo urbanismo para una ciudad más sostenible; Salvador Rueda.

-Nanotechnology Basics for students and other Learners; Center for Responsible Nanotechnology. World Care. 11 Nov.2008.

-Nanotechnology: Shaping the World atom by atom; National Science and Technology Council document; Sp.1999.

-U.S. Environmental Protection Agency. Nanotechnology white Paper; Feb.2007.

-Nanotechnology, a Key Technology for the Future of Europe, Ottilia Saxl; July.2005.