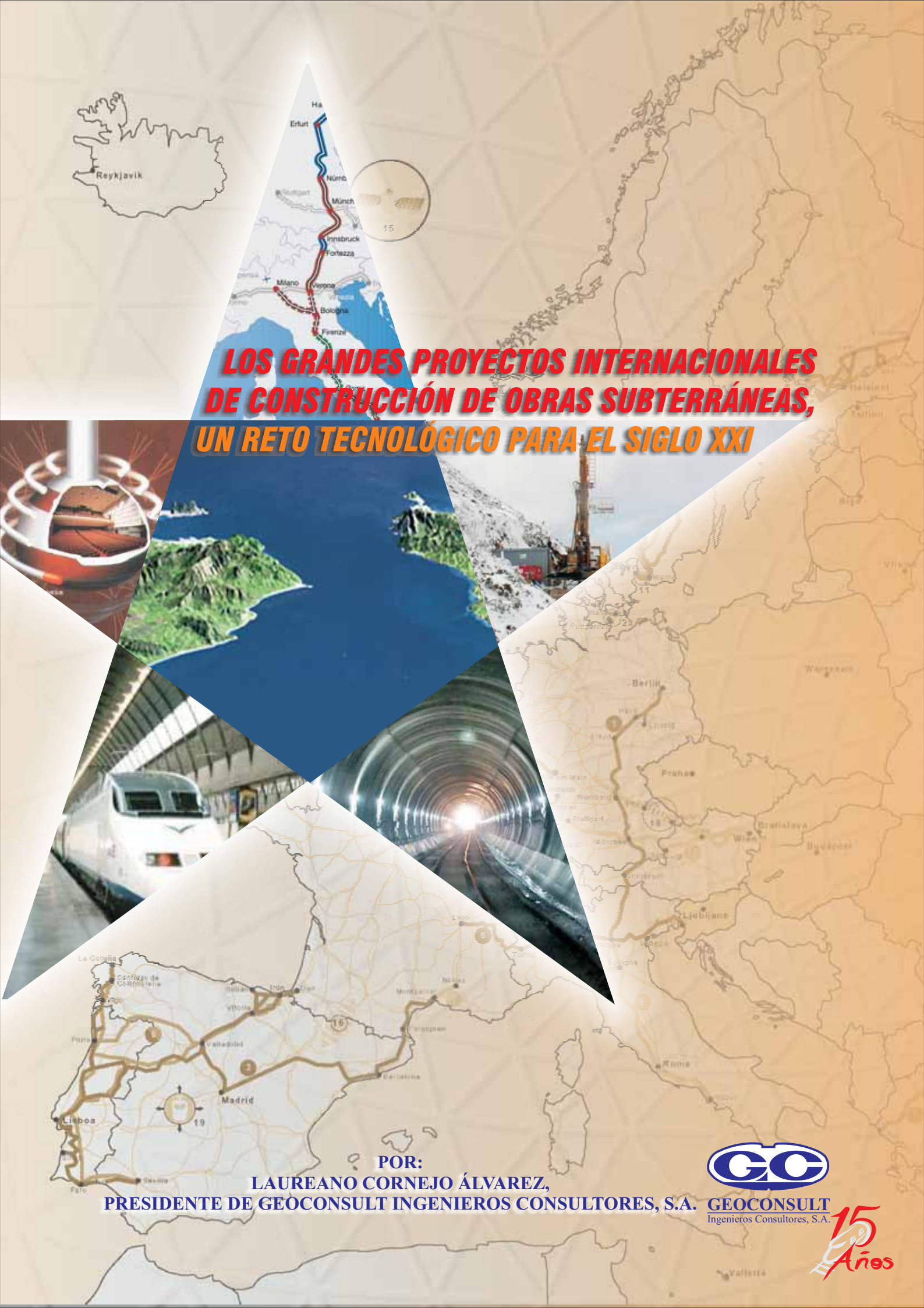

LOS GRANDES PROYECTOS INTERNACIONALES DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS, UN RETO TECNOLÓGICO PARA EL SIGLO XXI

POR:
LAUREANO CORNEJO ÁLVAREZ,
PRESIDENTE DE GEOCONSULT INGENIEROS CONSULTORES, S.A.

GEOCONSULT
Ingenieros Consultores, S.A.
15 Años

1ª Edición, Enero 2005

2ª Edición, Marzo 2005

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN..... 1

2.- EL FUTURO DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS 3

2.1.- DEMANDA CRECIENTE DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS. 3

2.2.- BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRÁNEA 5

3.- FUTURAS TENDENCIAS EN LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS 8

3.1.- FASE DE PROYECTO 8

3.1.1.- Investigación Geológica-Geotécnica 8

3.1.2.- Ensayos de Laboratorio 11

3.1.3.- Mecánica de Rocas 11

3.1.3.1.- Caracterización del macizo rocoso 12

3.1.3.2.- Modelización del macizo rocoso 13

3.1.3.3.- La incertidumbre en los datos 14

3.1.3.4.- Otras Áreas críticas que es necesario desarrollar. 14

3.1.4.- Ingeniería de Proyectos 15

3.1.4.1.- Bases de datos Inteligentes 16

3.1.4.2.- Modelización y Cálculo 16

3.1.4.3.- Ingeniería de Decisión. Análisis de Riesgos 19

3.1.4.4.- Seguridad 21

3.1.4.5.- Instrumentación y Auscultación 25

3.1.4.6.- Utilización de Nuevos Materiales 26

3.1.4.7.- Impacto sobre el Medio Ambiente 31

3.2.- FASE DE CONSTRUCCIÓN 32

3.2.1.- Conocimiento del terreno 33

3.2.2.- Capacidades de técnicos y operarios 34

3.2.3.- Maquinaria 35

3.2.4.- Revestimientos 41

3.2.5.- Excavación con Perforación y Voladura 43

3.2.6.- Otros Métodos de Excavación 44

3.2.7.- Otros objetivos de importancia en la Innovación Tecnológica aplicada a la construcción subterránea. 45

3.2.8.- Instrumentación 48

4.- CONCLUSIONES 49

5.- AGRADECIMIENTOS 50

6.- BIBLIOGRAFÍA 51

1. INTRODUCCIÓN

Los Organismos Internacionales y los Estados se verán obligados a promover, durante el siglo XXI, el desarrollo y la realización de megaproyectos que permitan establecer conexiones rápidas y seguras entre las distintas áreas geográficas del planeta, entre Continentes y entre países geográficamente alejados, para favorecer la movilidad de las personas y el intercambio de todo tipo de mercancías.

La construcción de estas grandes vías de comunicación, exigirá atravesar importantes barreras naturales como: Estrechos y cadenas montañosas que, durante milenios, no se han pensado ni podido franquear. En muchos casos el modo más seguro y económico de remover estas barreras geográficas, será la realización de importantes obras subterráneas que exigirá el desarrollo de nuevos métodos de construcción más seguros y eficaces. Este desarrollo necesitará de nuevos avances tecnológicos, para el diseño de máquinas tuneladoras, maquinaria auxiliar, nuevos materiales de construcción y nuevos sistemas de seguridad, en los campos de la Automática, la Robótica, la Nanotecnología, la utilización de Materiales Compuestos más ligeros y resistentes, y la Mecatrónica (Figura 1).

Ésta última, es la nueva ingeniería, que comienza en Japón en los años 80 con la fabricación de los primeros robots. Integra diferentes campos de la ingeniería como:

- La Mecánica de Precisión
- La Electrónica y la Micro-Electrónica
- La Computación
- La Inteligencia Artificial
- Los Sistemas de Control

El desarrollo de la Mecatrónica permitirá fabricar

- Máquinas inteligentes, robots capaces de procesar información y de adquirir experiencia para su funcionamiento.
- Estructuras inteligentes, que tendrán la capacidad de informar de su funcionamiento y de su estado de conservación, asi como de adaptarse a las solicitaciones a las que se encuentren sometidas.
- Mecanismos de alta precisión controlados por dispositivos electrónicos reprogamables y adaptables para funcionar en diferentes condiciones

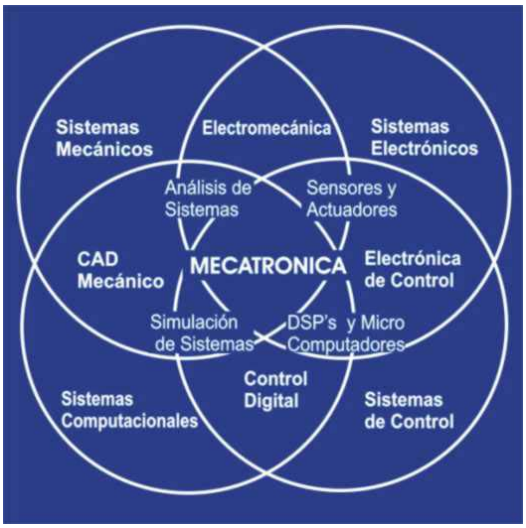

Figura nº 1: Tecnologías relacionadas con la mecatrónica (Diaframa de Venn)

La Industria de la Construcción de Obras Subterráneas y la Ingeniería necesaria para implantarla, conocerá una gran auge en todo el Mundo a lo largo del siglo XXI, en el que se harán realidad proyectos muy importantes como: El Enlace fijo España-Marruecos con la construcción del túnel de Gibraltar, el Paso Central de los Pirineos con la construcción del Túnel ferroviario de Vignemale, la conexión Transalpina Lyon-Turin, la conexión Italia-Austria por el paso de Brenner, la Unión Interhemisférica, USA-Rusia, bajo el estrecho de Bering, la Autopista Euro-Asiática y el Enlace Japón-Corea del Sur, entre otros.

Este auge de las obras subterráneas, se verá acrecentado por la demanda de soluciones a la problemática que plantea el tráfico de las grandes ciudades, el uso creciente del espacio subterráneo en el medio urbano y la realización de conexiones rápidas interurbanas.

2. EL FUTURO DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS

2.1. DEMANDA CRECIENTE DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS.

A escala mundial son varias las demandas actuales que el desarrollo de las naciones plantea a los Organismos Nacionales y Supranacionales, en relación con la movilidad de los ciudadanos y el transporte de todo tipo de productos manufacturados y mercancías dentro de sus propios territorios y a través de otros países de su área económica de influencia.

El proceso continuo del desarrollo integral de los pueblos: social, cultural y económico exigen la desaparición de las barreras existentes entre ellos, mediante el desarrollo necesario de comunicaciones que permitan incrementar las relaciones entre los ciudadanos del mundo.

El establecimiento de nuevos lazos de comunicación exigirá, en un futuro más o menos cercano, de menor a mayor escala, la realización de uniones fijas entre territorios nacionales próximos, continentes y hemisferios.

En el momento presente se está empezando a hablar, y en algunos casos con estudios preliminares ya realizados; de megaproyectos como: El Enlace fijo España-Marruecos con el túnel de Gibraltar, el Proyecto Ferroviario Europeo de Alta Velocidad de Conexión Transalpina Lyon-Turín, el Proyecto de Autopista Euro-Asiática, el enlace fijo entre Japón y Corea del Sur, el enlace Interhemisférico Estados Unidos-Rusia a través del Estrecho de Bering.

Estos proyectos, en un pasado muy reciente, solo han tenido cabida en algunas mentes clarividentes dotadas de grandes dosis de imaginación y de creatividad.

Pues bien, estos megaproyectos han comenzado a pasar de estas mentes privilegiadas, a ser consideradas por algunos Gobiernos como respuestas válidas a las demandas de desarrollo que sus respectivos países van exigir en un próximo futuro.

Otro tipo de proyectos menos fantásticos será necesario realizar también para conseguir la adecuada vertebración territorial de los distintos países y la movilidad que demandan las grandes ciudades.

Para hacer frente a estos retos deberá acometerse, en los próximos años, la construcción de un número importante de túneles y obras subterráneas en todo el Mundo.

En el ámbito de la Unión Europea, la política de Infraestructura del Transporte, en la que se incluyen los proyectos más importantes como: ***La Red Trans-Europea de Carreteras (TREN) y las Redes Trans-Europeas de Transporte, (TEN-T)***, implican la construcción de unos 2100 Km. de túneles hasta el horizonte temporal de año 2030 y los países Europeos que mayor número de túneles construirán en los próximos 20 años son:

- España : 567 Km.
- Noruega: 481 Km.
- Islandia: 109 Km.
- Suecia: 63 Km.
- Escandinavia-Dinamarca: ~58 Km.

Algunos de los megaproyectos anteriormente enumerados, actualmente en fase de estudio de viabilidad exigirán, en los próximos 40-50 años, multimillonarias inversiones y largos plazos de ejecución que, en algún caso, superarán los 50 años.

La demanda creciente de espacio subterráneo, principalmente en las grandes ciudades, implicará también la construcción de túneles, recintos subterráneos y cavernas (Fig. nº 2).

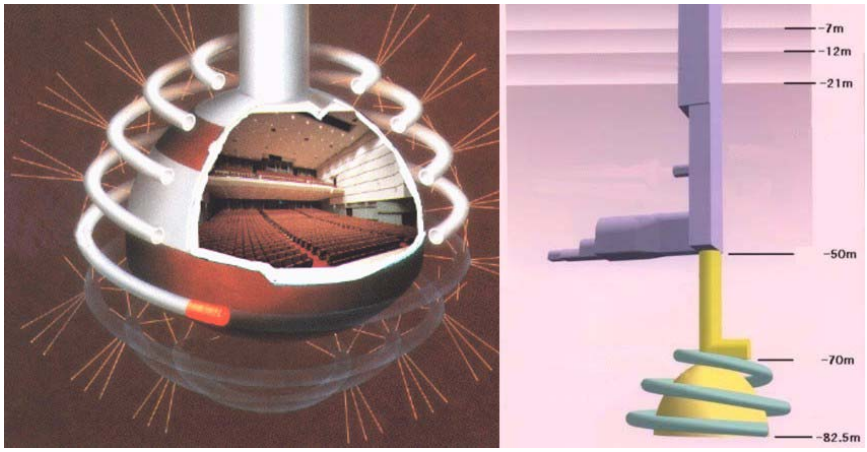

Figura nº 2: Construcción de auditorio subterráneo en el subsuelo de un hotel, Japón

Esta demanda de espacio subterráneo urbano, viene motivada por varias razones entre las que destacan

- La escasez de suelo urbano.
- El alto valor económico del suelo urbano.
- Motivos medioambientales: ruidos, vibraciones, impacto ambiental.

- Motivos de seguridad en caso de accidente o sabotaje.
- La protección de la superficie de riesgos y/o molestias de determinados tipos de actividades.
- El almacenamientos de materiales menos deseables.
- De un modo creciente, diversos equipamientos urbanos como: instalaciones deportivas, galerías comerciales, aparcamientos, zonas de recreo, auditorios, centros de transformación eléctrica, centros de comunicaciones, centros de control, instalaciones de grandes edificios (energía, iluminación, aire acondicionado ...), zonas de almacenamiento, zonas de seguridad etc:, serán ubicados en el futuro en el subsuelo de las grandes ciudades.

Por otra parte se estima que, de los túneles actualmente en servicio en la U.E., unos 512 túneles, con longitudes superiores a los 500 m, deberán ser reacondicionados y adaptados a las nuevas normativas antes de 2010.

En definitiva, la construcción de obras subterráneas experimentará, en la próximas décadas y durante el siglo XXI, un importante auge en todo el mundo.

Por lo que se refiere a la Unión Europea, la construcción subterránea representa una actividad vital desde el punto de vista social y económico, ya que involucra, en su actividad, una amplia gama de industrias y servicios como: fabricantes de vehículos y repuestos, empresas de comunicación y energía; compañías de seguros y de alquiler, organismos de investigación, etc.

La construcción subterránea, junto con las industrias y los servicios involucrados indicados anteriormente, dan empleo a más de 14 millones de personas en Europa y contribuyen con un 11% al producto interior bruto europeo.

2.2. BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRÁNEA

La construcción subterránea es necesaria y beneficiosa principalmente por las razones siguientes:

1. Permite realizar conexiones fijas y más fiables, entre continentes y entre países, salvando accidentes geográficos como: cadenas montañosas (Fig. nº 3A), estrechos (Fig. nº 3B), ríos, lagos etc.

(A) **(B)**

Figura nº 3: (A) Autopista alpina de Grosslockner (Austria); (B) Foto aérea del Estrecho de Gibraltar

2. Acorta los tiempos de transporte y reduce los costes de mano de obra y consumo de carburantes.

3. Genera espacios subterráneos para equipamientos urbanos más económicos y seguros.

4. Ayuda a combatir eficazmente la congestión de tráfico, en especial en las grandes ciudades.

5. Produce un impacto medioambiental menor que las obras a cielo abierto.

6. Reduce la contaminación, principalmente, en las zonas urbanas. Necesidad de una innovación tecnológica

La construcción subterránea mundial se mueve en un medio internacional muy competitivo.

La construcción subterránea europea tiene, a nivel internacional, unos competidores formidables como: Japón, Estados Unidos, Corea, Canadá, y Australia entre otros.

Estos países están invirtiendo en programas de Investigación e Innovación Tecnológica que les permite desempeñar el papel de líderes en el mundo.

Algunos de estos países, como Japón y Corea, han aprovechado la experiencia europea en la construcción de túneles, especialmente en los últimos 40 años. Ahora se encuentran, en muchos aspectos, tecnológicamente más avanzados que Europa.

En este contexto Europa se encuentra frente al reto de ser competitiva en el mercado internacional frente a estos países, en todos los campos y por tanto, en la construcción subterránea.

Esto exige de la U.E. una coordinación de esfuerzos en recursos humanos y en recursos financieros que permitan desarrollar programas de Innovación Tecnológica a corto medio y largo plazo ***(Tabla nº 1)***.

Horizonte	Objetivo	Innovación requerida
2030	Ausencia de operararios dentro del túnel durante la construcción.	Trabajo de construcción totalmente automatizado controlado por control remoto.
	Coste similar de las infraestructuras subterráneas y a cielo abierto.	Optimización del proceso de excavación, eliminación completa del comportamiento imprevisto del terreno.
	Conocimiento completo del comportamiento de los servicios públicos subterráneos.	Sistemas inteligentes durante todo el ciclo de vida.
2020	Tuneladora Universal.	Tuneladoras capaces de trabajar en cualquier terreno sin paradas.
	Completo conocimiento de las condiciones geológicas (“terreno transparente”).	Métodos y equipamientos innovadores de exploración geológica.
	Avance tecnológico en el corte de rocas.	Nuevas tecnologías de corte (ej. Tecnología láser).
2010	Sistemas inteligentes de revestimiento.	Revestimiento con mecanismos de autocorrección en dependencia de las acciones del terreno.
	Coste satisfactorio de los túneles de gran diámetro.	Tuneladoras para túneles de gran sección. Mejora de la tecnología de corte.
	Equipos “inteligentes” capaces de auto-aprender.	Equipos capaces de realizar modificaciones automáticas a partir de los datos acumulados durante la construcción.

Tabla nº 1: Plan Estratégico de la Comisión Europea, horizonte 2030

3. FUTURAS TENDENCIAS EN LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS

3.1. FASE DE PROYECTO

El proceso seguido, desde que se percibe la necesidad de construir una obra subterránea determinada hasta que ésta se construye, es largo y laborioso debiendo seguir un desarrollo lógico de las diferentes etapas, desde la etapa inicial de los estudios de prefactibilidad, pasando por las etapas intermedias de realización de los estudios geotécnicos necesarios, de los estudios medioambientales, y de la redacción de un anteproyecto, hasta la etapa final de la elaboración del proyecto constructivo.

Nos referiremos, ahora, a las futuras tendencias que seguirá el desarrollo técnico en la diferentes etapas del proceso y que tienen como objeto la adecuada caracterización de los terrenos, su previsible comportamiento, la identificación de los principales factores generadores de incertidumbre geológica, el adecuado tratamiento e integración de los datos obtenidos en el diseño, así como el impacto ambiental y la seguridad de la obra subterránea proyectada.

3.1.1 Investigación Geológica-Geotécnica

La investigación geológica-geotécnica que se realiza en la etapa de planificación de una obra subterránea debe adecuarse a la complejidad geológica y a las características de cada proyecto; de este modo se reducirán las incertidumbres geotécnicas y por tanto los sobrecostes, los incrementos de plazo y los posibles litigios durante la construcción.

La tendencia en los años venideros en relación con la investigación geológica y geotécnica pasará por los siguientes hitos:

1. **Se incrementará el número de sondeos mecánicos realizados**, llegando la longitud total perforada hasta alcanzar ratios máximos de 1,5 ml de sondeo/ 1ml de túnel.

   Está bien documentado que, en caso de incertidumbres geológicas importantes, la aplicación de programas especiales de investigación, disminuyen los costes de construcción en una cuantía entre 5 y 10 veces el coste de la investigación adicional realizada, minimizando, además, los retrasos en el plazo de construcción y los potenciales conflictos y reclamaciones.