



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

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

**15
Años**



Demanda Internacional de Construcción de Obras Subterráneas

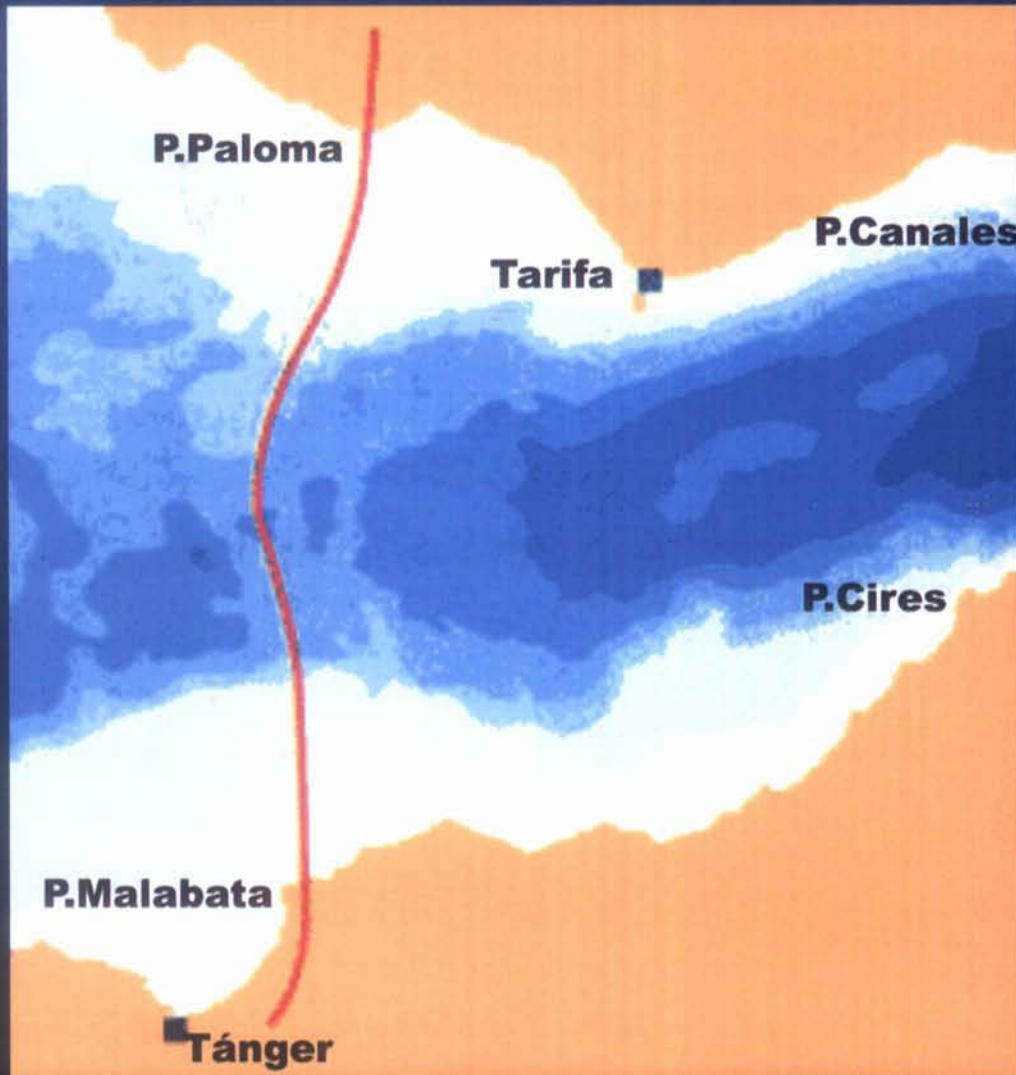
- Los Organismos Internacionales y los Estados se verán obligados a promover, durante el Siglo XXI, el desarrollo y la realización de megaproyectos que permitan establecer conexiones rápidas y seguras entre las distintas áreas geográficas del Planeta, entre Continentes y entre países geográficamente 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, han sido infranqueables.
- 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 constructivos más seguros y eficaces.

- El desarrollo de nuevos métodos constructivos necesitará de nuevos avances tecnológicos para el diseño de:
 - Nuevas Tuneladoras
 - Maquinaria Auxiliar
 - Nuevos Materiales de Construcción
 - Nuevos Sistemas de Seguridad
- Será necesario impulsar nuevos avances tecnológicos en los campos de la :
 - Automática
 - Robótica
 - Fabricación de materiales compuestos más ligeros y resistentes
 - Mecatrónica
 - Nanotecnología

- La Industria de la Construcción de Obras Subterráneas y la Ingeniería necesaria para implantarla, conocerá un gran auge en todo el Mundo a lo largo del siglo XXI.
- Se harán realidad proyectos muy importantes como:
 - El Enlace Fijo España-Marruecos (Europa-África) 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-Turín.
 - La Conexión Italia-Austria a través del Túnel de Brenner
 - La Unión Interemisférica USA-RUSIA, bajo el Estrecho de Bering.
 - La Autopista Euro-Asiática.
 - El Enlace Japón-Corea del Sur, entre otros.

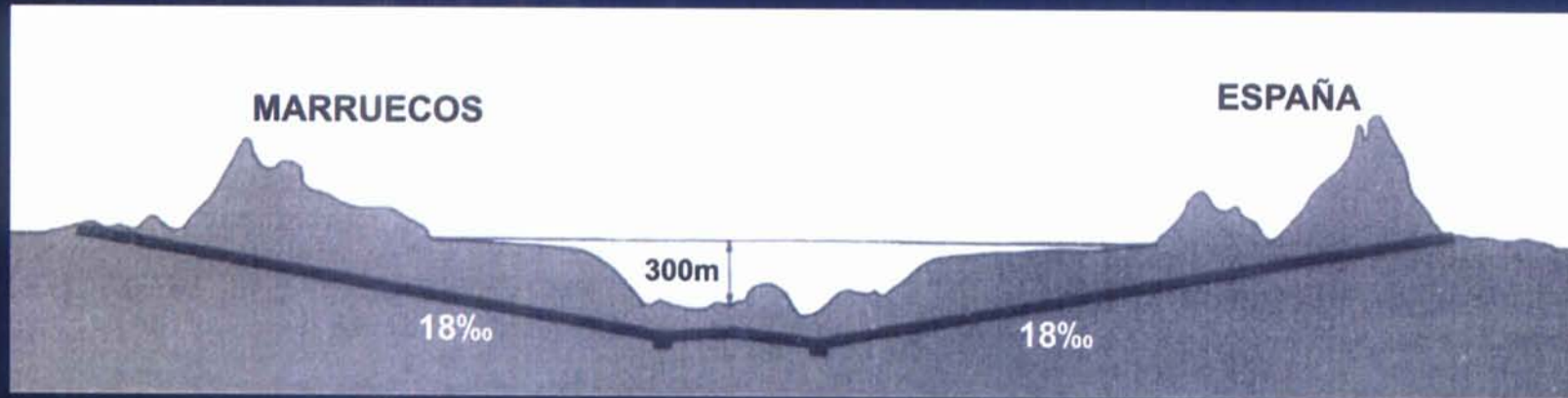
TRAZADO DEL TÚNEL



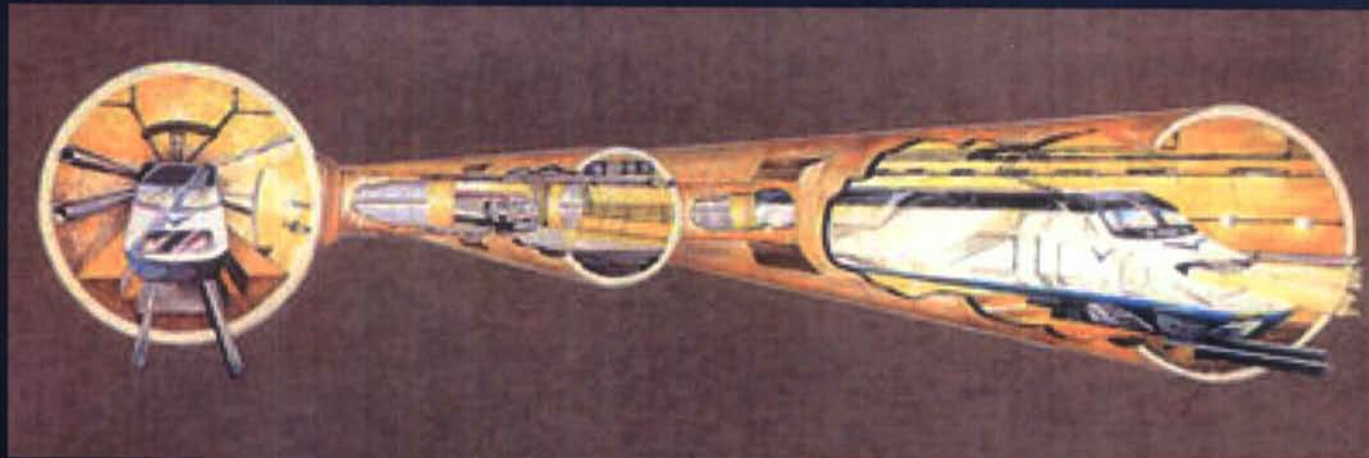
DATOS TÉCNICOS PRINCIPALES DEL PROYECTO

- 2 Tubos de unos 39 Km.; 28 Km. submarinos de 7,50m de diámetro, separados unos 60 m y unidos mediante galerías transversales de 3 m de diámetro cada 340 m.
- 1 Galería central de servicio y de seguridad de 4,80 m de diámetro.
- 2 Pozos de ventilación
- 2 Estaciones terminales en las bocas de los túneles.
- Recubrimiento de roca bajo el Estrecho: 100 m.
- Recubrimiento de agua: 300m.

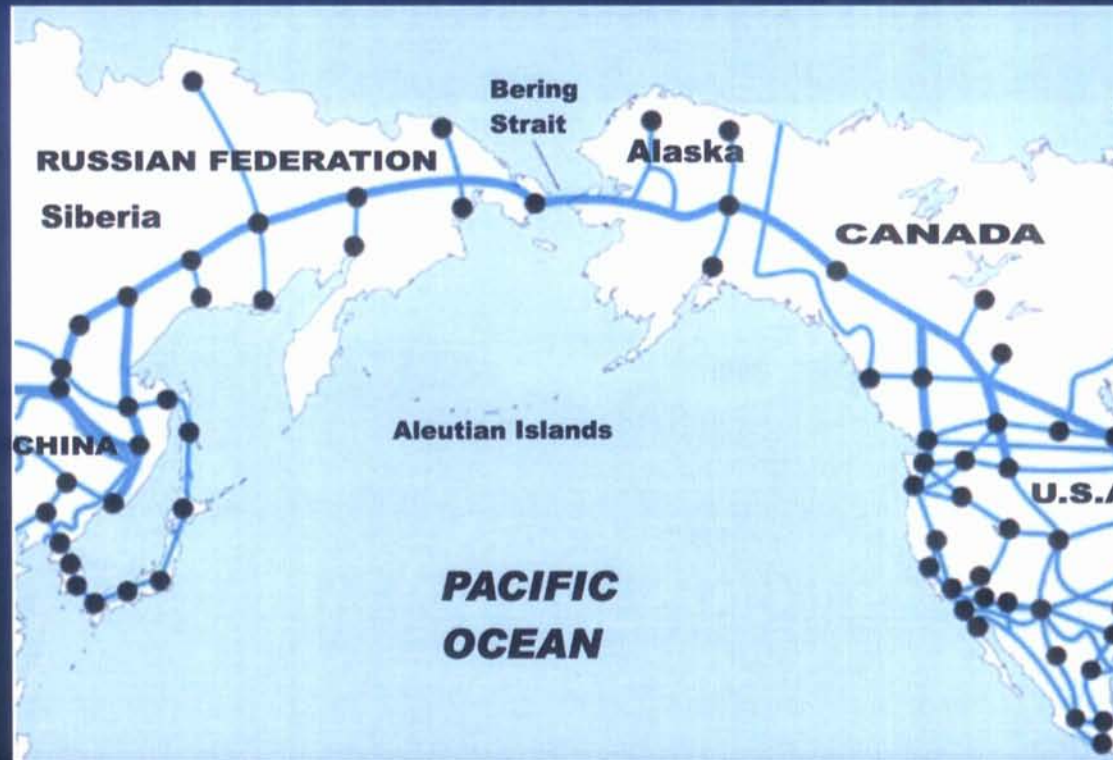
PERFIL LONGITUDINAL



SOLUCIÓN FERROVIARIA



CONEXIÓN DE LAS REDES FERROVIARIAS DE AMÉRICA Y ASIA ATRAVÉS DEL ESTRECHO DE BERING



PRINCIPALES DATOS DEL PROYECTO

- **OBJETIVO:** Conectar el sistema ferroviario del norte de E.U y la red ferroviaria del Norte de Canadá con la red ferroviaria de Rusia.
En un futuro el paso bajo el Estrecho de Bering, permitiría alcanzar la frontera China-Corea, desde el Norte de América, en 3 días y las de Europa en 7 días.
- Estimaciones iniciales de coste: más de 15.000 M.\$

- La Construcción de Obras Subterráneas experimentará, en las próximas décadas y durante el siglo XXI, un importante auge en todo el mundo.
- La Unión Europea ha establecido proyectos prioritarios, en el ámbito de la Infraestructura del Transporte, para conseguir, en el horizonte de 2030, la vertebración territorial comunitaria mediante la realización de:
 - La Red Trans-Europea de Carreteras (TREN).
 - Las Redes Trans-Europeas de Transporte (TEN-T), que consta de 30 proyectos prioritarios, entre los que se incluyen 10 corredores transfronterizos con una inversión prevista de 225×10^3 millones de euros hasta 2020.
 - La Red integrada de transporte (TINA).

Red de Transporte Trans-Europea (Proyecto TEN-T)

DATOS PRINCIPALES

- Consta de 30 proyectos prioritarios con una inversión total prevista de 225.000 M. de € hasta 2020.
- El objetivo es extender la Red Europea de transportes a los nuevos miembros comunitarios, reduciendo la congestión, incrementando la accesibilidad y promoviendo la intermodalidad.
- La inversión de los proyectos TENT-T permitirá una reducción de la congestión en las carreteras del 14% y un ahorro en el tráfico internacional estimado en 8000 M. de €/año.

EJE FERROVIARIO DE ALTA VELOCIDAD DEL SUR-OESTE DE EUROPA



PROYECTO 3.-

- Lisboa-Madrid (2010)
- Oporto-Lisboa (2013)
- Aveiro-Salamanca (2015)
- Madrid-Barcelona (2005)
- Barcelona-Figueras Perpiñan (2008)
- Madrid-Vitoria-Irún-Hendaya (2010)

EJE MULTIMODAL PORTUGAL/ESPAÑA, RESTO DE EUROPA



PROYECTO 8.-

- Conexión ferroviaria España-Portugal; Eje la Coruña-Lisboa-Sines (2010)
- Conexión ferroviaria España-Portugal; Eje Lisboa-Valladolid (2010)
- Autopista Lisboa-Valladolid (2010)
- Autopista La Coruña-Lisboa (2003)
- Autopista Sevilla-Lisboa (2001)

CONEXIONES FERROVIARIAS CON FRANCIA



PROYECTO 16.-

- Eje ferroviario por mercancías Sines-Algeciras-Madrid-París.
Inversión prevista 5000 M€; horizonte de ejecución 2020.
- Dentro de este proyecto se incluye el nuevo eje ferroviario de Alta Capacidad, a través de los Pirineos, tercera penetración por la parte central, Zaragoza-Somport, con la construcción del túnel de Vignemale (42 Km.).
- Eje ferroviario Sines-Badajoz (2010).
- Eje ferroviario Algeciras-Bobadilla (2010).

LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD INTEROPERABLE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA



PROYECTO 19.-

- Madrid –Andalucía (2010)
- Eje Norte-Este (2010)
- Eje Madrid-Levante y Mediterráneo (2010)
- Eje Norte, corredor Norte-Oeste, incluyendo el tramo Vigo-Oporto (2010)
- Conexión en Extremadura (2010)

- Los Países Europeos que deberán construir un mayor número de túneles en los próximos años, hasta el año 2020, son:
 - España: 567 Km.
 - Noruega: 481 Km.
 - Islandia: 109 Km.
 - Suecia: 63 Km.
 - Escandinavia-Dinamarca: 58 Km.
- Se estima también que, en el ámbito europeo, deberán ser reacondicionados y adaptados a las nuevas normativas unos 512 túneles actualmente en servicio con longitudes superiores a los 500m.
- En el ámbito europeo la construcción subterránea representa una actividad vital desde el punto de vista social y económico en la que se involucra una amplia gama de industrias y servicios, dando empleo a más de 14 millones de personas y contribuyendo con un 11% al producto interior bruto.

Necesidad de una Innovación Tecnológica

- La Realización de los Grandes Proyectos Internacionales representa un reto formidable que exige una innovación tecnológica importante en los próximos años.
- Europa se encuentra frente al reto de ser competitiva en el mercado internacional y por tanto también en el de la construcción de túneles.
- El Plan Estratégico Europeo fija una serie de objetivos, a corto, medio y largo plazo para responder a este reto.

Las Nuevas Tecnologías

- La Construcción de las grandes obras subterráneas previstas para el siglo XXI, necesitará de la aplicación de **NUEVAS TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN** que las haga realizables técnica y económicamente, con el necesario nivel de seguridad y el mínimo impacto al Medio Ambiente.
- Para conseguirlo será necesario el desarrollo de las nuevas tecnologías emergentes:
 - A. La fabricación de Materiales Compuestos
 - B. El desarrollo de la Mecatrónica
 - C. El impulso decidido a la Nanotecnología

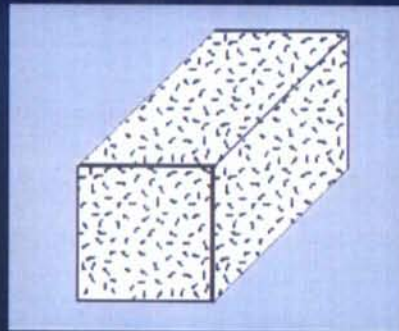
A) Los Materiales Compuestos **(Composites) I**

- La Ingeniería de nuevos materiales experimentará un auge espectacular a lo largo del siglo XXI.
- Un material compuesto esta constituido por un material matriz, generalmente plásticos, como: poliesteres no saturados, resinas epoxy, resinas fenólicas, a la que se agregan aditivos y fibras de: polipropileno, vidrio, carbono, materiales cerámicos...(hasta 14 tipos de fibra).
- Estos nuevos materiales compuestos ofrecerán mayores prestaciones que los materiales tradicionales a la resistencia al fuego, una mayor durabilidad a los ataques físico-químicos, una mayor resistencia estructural, una mayor resistencia a la corrosión y al desgaste con una importante reducción de peso.

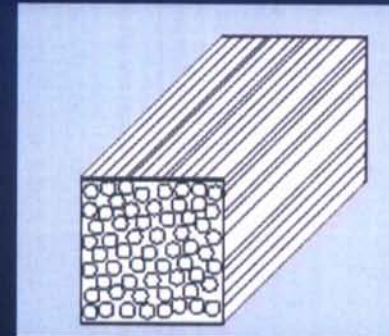
- Se puede conseguir una gran variedad de materiales compuestos, combinando una amplia diversidad de plásticos, con diferentes aditivos y fibras.

1.-Materiales Compuestos Reforzados con fibras

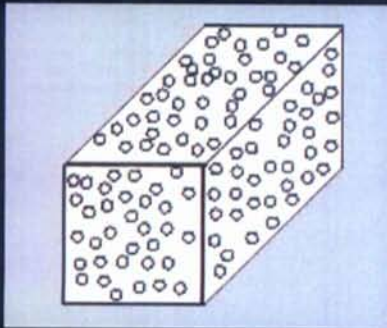
a) Fibras cortas dispuestas al azar



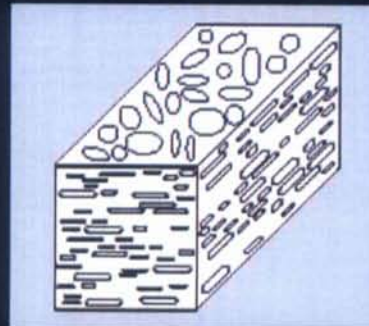
b) Fibras largas continuas



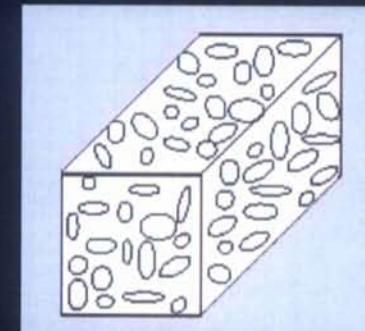
2.-Materiales Compuestos Reforzados con Partículas



3.-Materiales Compuestos Reforzados con Escamas Planas



4.-Materiales Compuestos Reforzados con Rellenos

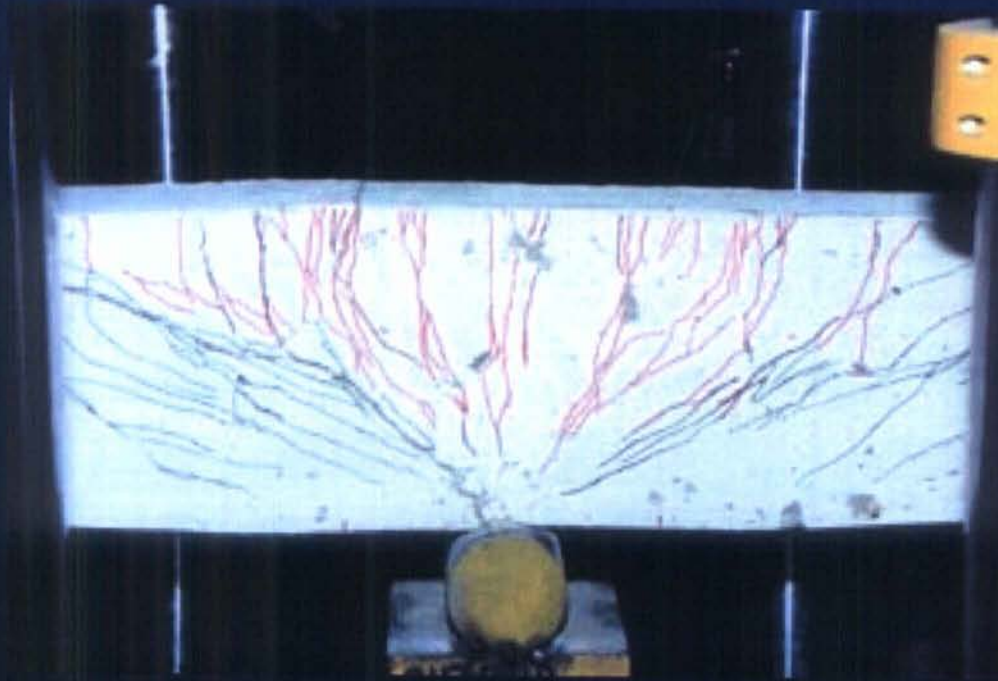


A) Los Materiales Compuestos (Composites) II

- La Construcción de Obras Subterráneas utilizará, en los años venideros, los materiales compuestos de un modo creciente. Estos materiales, además de ser tanto o más resistentes estructuralmente que el acero y mucho más resistentes a la corrosión y al desgaste, serán también mucho más ligeros. Por estas razones la utilización de acero se verá paulatinamente disminuida en beneficio de los materiales compuestos.



- Se utilizarán hormigones poliméricos más ligeros y resistentes y de características prefijadas, utilizando en su fabricación componentes como: resinas y otros polímeros, cemento y fibras de acero y/o carbono.
- Se fabricarán hormigones proyectados con las características de : densidad, porosidad, resistencias a la compresión y flexotracción y tenacidad, propias de un hormigón de revestimiento definitivo de alta resistencia.



B) La Mecatrónica I

TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LA MECATRÓNICA

Es la Nueva Ingeniería; 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 Micro-Electrónica.
- La Computación.
- La Inteligencia Artificial.
- Los Sistemas de Control.

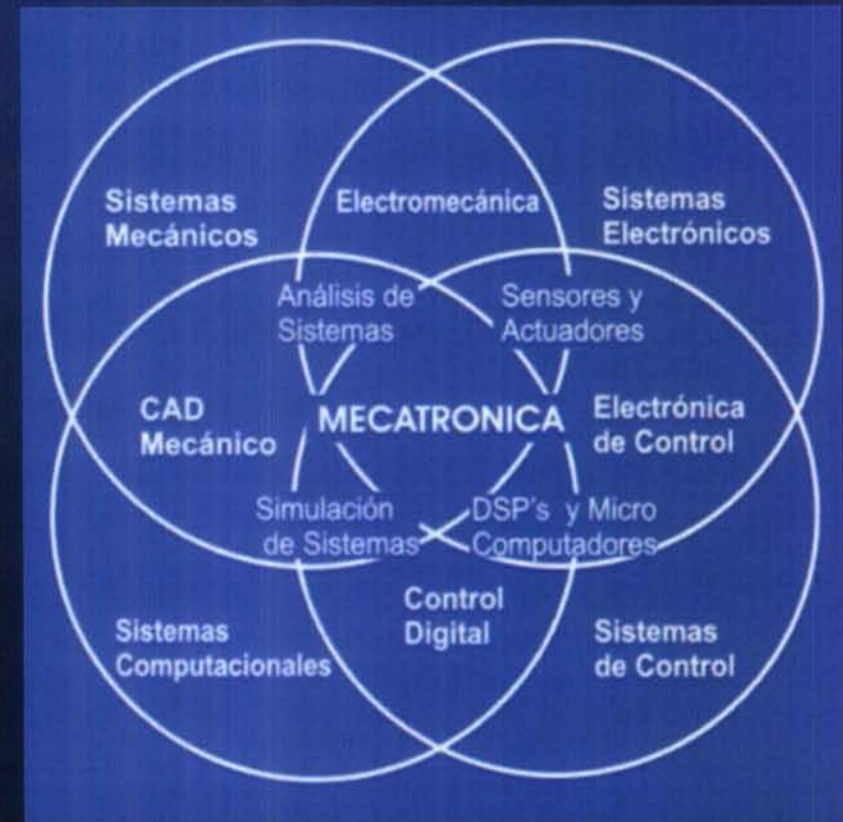
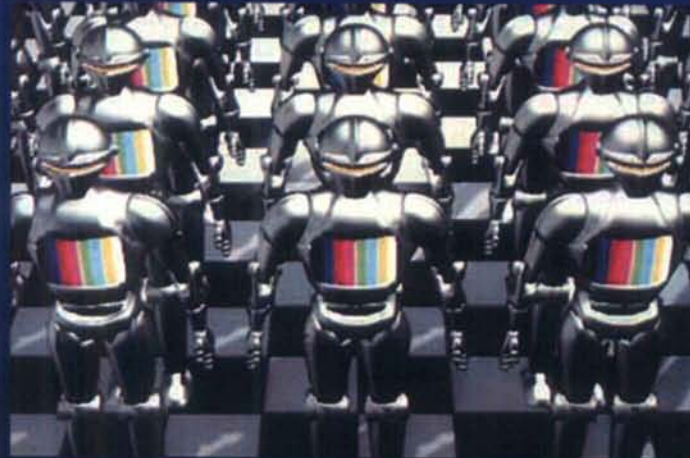


Diagrama de Venn

Mecatrónica II

El desarrollo de la Mecatrónica permitirá fabricar:

- “Máquinas Inteligentes”, robots, capaces de procesar información y de adquirir experiencia para su funcionamiento.



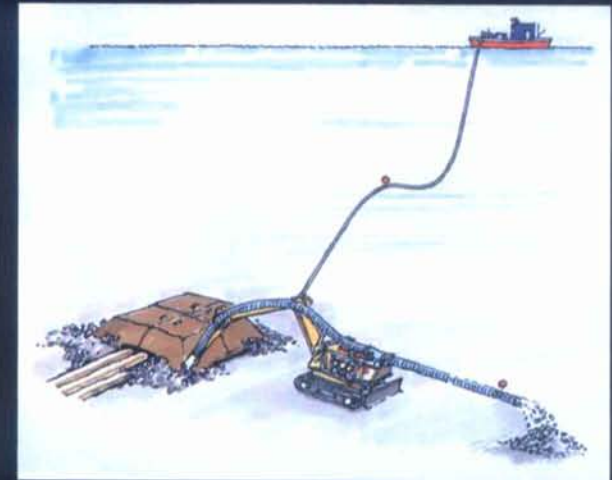
- Estructuras inteligentes que incorporaran sensores y microsensores incrustados en ellas, que tendrán la capacidad de informar de su funcionamiento y de su estado de conservación, así como de adaptarse a las sollicitaciones exteriores a las que se ven sometidas (Ejemplo: revestimientos Inteligentes).
- Mecanismos de alta precisión controlados por dispositivos electrónicos reprogramables y adaptables para funcionar en diferentes condiciones.

Mecatrónica III

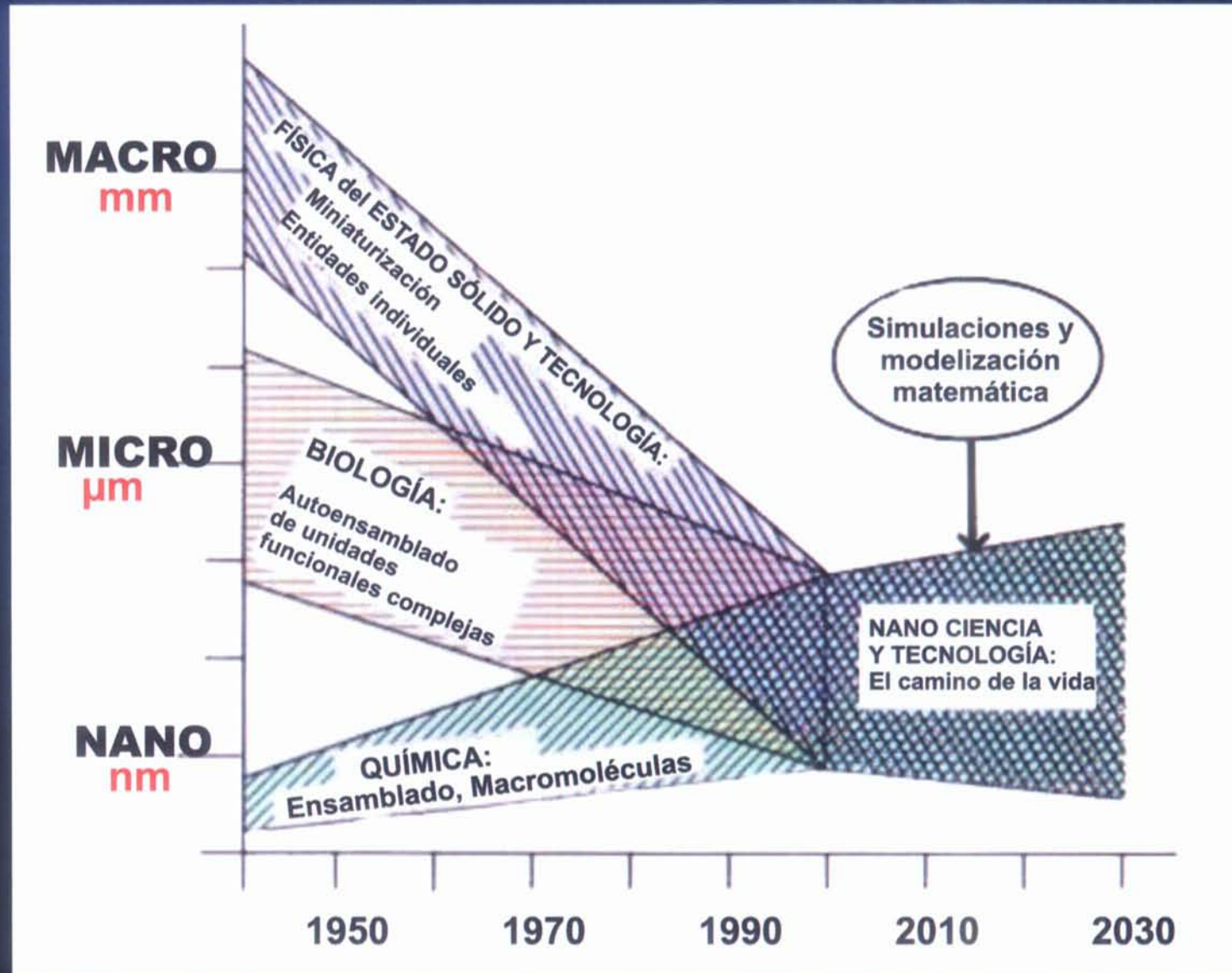
La utilización de estos nuevos elementos producirá importante beneficios como:

- Disponer de máquinas y sistemas
 - Más pequeñas
 - Menos pesadas
 - Menos costosas
 - Más autónomas
 - Con más y mayores prestaciones y rendimientos
 - Más inteligentes

- Hacer un uso óptimo de: máquinas, sistemas de control y de materiales.
- Reducción del consumo energético
- Máquinas automatizadas y robotizadas con control remoto y con un mayor nivel de seguridad.
- Mayor eficacia de los sistemas de control, que aportará mayores niveles de seguridad.



C) La Nanotecnología I



Nano Ciencia y Tecnología. El Camino de la Naturaleza

- La nanotecnología engloba aquellos campos de la ciencia y la tecnología en los que se estudia, se obtiene y/o manipula, de manera controlada, materiales, sustancias y dispositivos de dimensiones atómicas(entre 10^{-9}m y 10^{-7}m).
- En la nanotecnología se involucran ciencias como: la física, la química, la ingeniería, la robótica, la biología, la medicina y el medio ambiente.
- La nanotecnología manipula la materia, los átomos uno a uno, formando compuestos moleculares de propiedades desconocidas hasta ahora, y que revolucionarán la economía, los sistemas de producción y el nivel de vida en un futuro próximo.
- Ya se esta hablando de la tercera revolución industrial en el siglo XXI. Se ha conseguido construir máquinas con, tan solo, unos centenares de átomos.
Se han fabricado ya circuitos de, apenas, unos átomos de anchura.
- A escala nanométrica las propiedades de los materiales cambian, confirmándose que estas dependen del tamaño de la materia.

Nanotecnología II-Los Nanomateriales

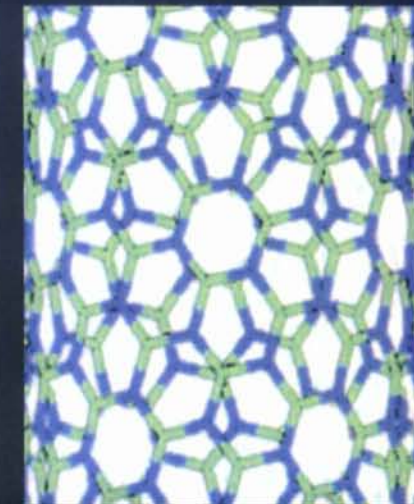
- La nanotecnología seca permitirá (2020) fabricar materiales moleculares con propiedades y funciones preestablecidas, diseñadas a medida y con propiedades distintas a las de sus constituyentes.
- Los nanotubos de carbono puro son uno de los componentes principales de estos metamateriales. Los nanotubos poseen un módulo de elasticidad 6 veces superior al acero y su resistencia a la tracción es 10 veces superior a las fibras más resistentes conocidas y con una rigidez similar al diamante.
- Los nanotubos de carbono tienen la capacidad de autocicatrizarse y, por tanto, de quedar casi libres de defectos.

Un Nanotubo consiste en un mallado de átomos de carbono dentro de un cilindro formando una superficie continua.



El enlace químico que tiene el carbono en su estructura da a los nanotubos su extraordinaria resistencia y conductividad

Nanotubo de carbono



Estructura Compuesta por nanotubos de carbono

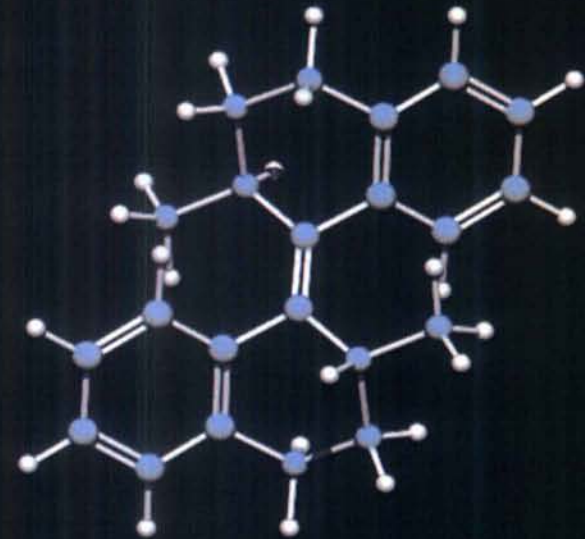
- Actualmente se fabrican bombillas con filamentos de nanotubos de carbono con un ahorro energético muy importante (Las bombillas actuales pierden el 80% de la energía en calor).
- Los nanomateriales tendrán un menor peso, una mayor resistencia mecánica y serán más inalterables. A lo largo del siglo XXI irán reemplazando paulatinamente a los metales en la industria de la construcción.

Se construirán dispositivos nanoelectrónicos, nanosistemas, nuevos cementos y pinturas especiales.

Los nanomateriales se producirán masivamente con unos costes de producción muy bajo y muy fáciles de transportar y distribuir. Su utilización propiciará un menor consumo energético.

Nanotecnología III-Las Nanomáquinas

- La nanotecnología permitirá la construcción de nanomáquinas, nanorobots y miniordenadores, inteligentes.
- Los nanorobots podrán tener la capacidad de autoreproducirse, de cambiar y de autodestruirse. No tendrán conciencia pero serán inteligentes. Los miniordenadores cuánticos que los gobiernen serán hasta 1000 veces más potentes que los actuales; sus chips tendrán una capacidad de memoria equivalente al cerebro humano (1 billon de bits).

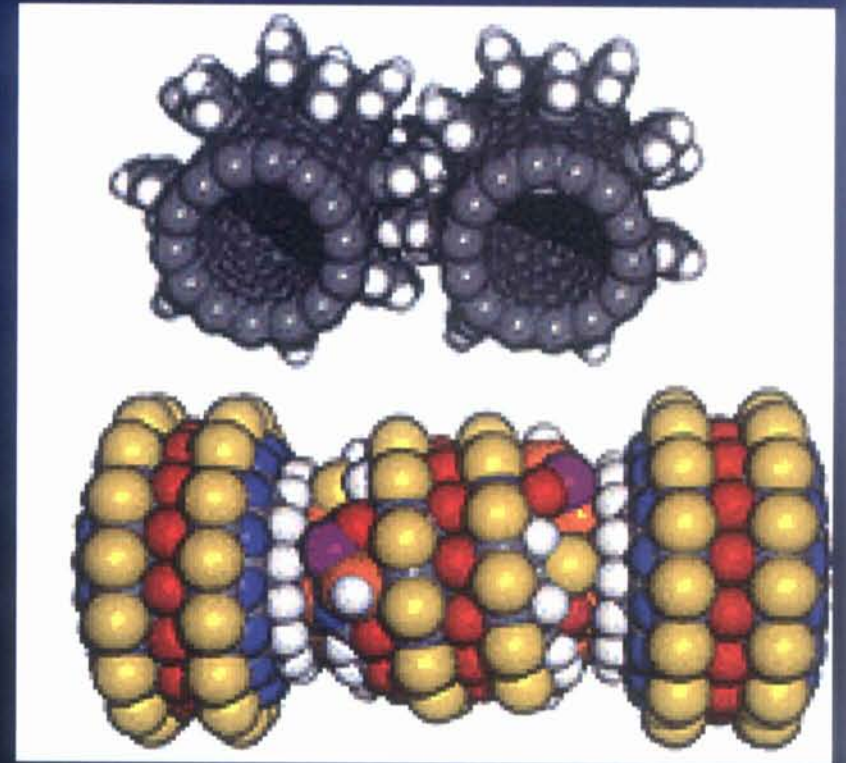


Motor Molecular

- Esta capacidad de memoria les permitirá tomar decisiones que les ayudarán a salir airoso en situaciones complicadas, que requieran tomar decisiones comprometidas.

Esta toma de decisiones la harán utilizando unas reglas preestablecidas y unos códigos muy complejos.

- Las nanomáquinas serán una realidad, previsiblemente, en el horizonte de 2025.



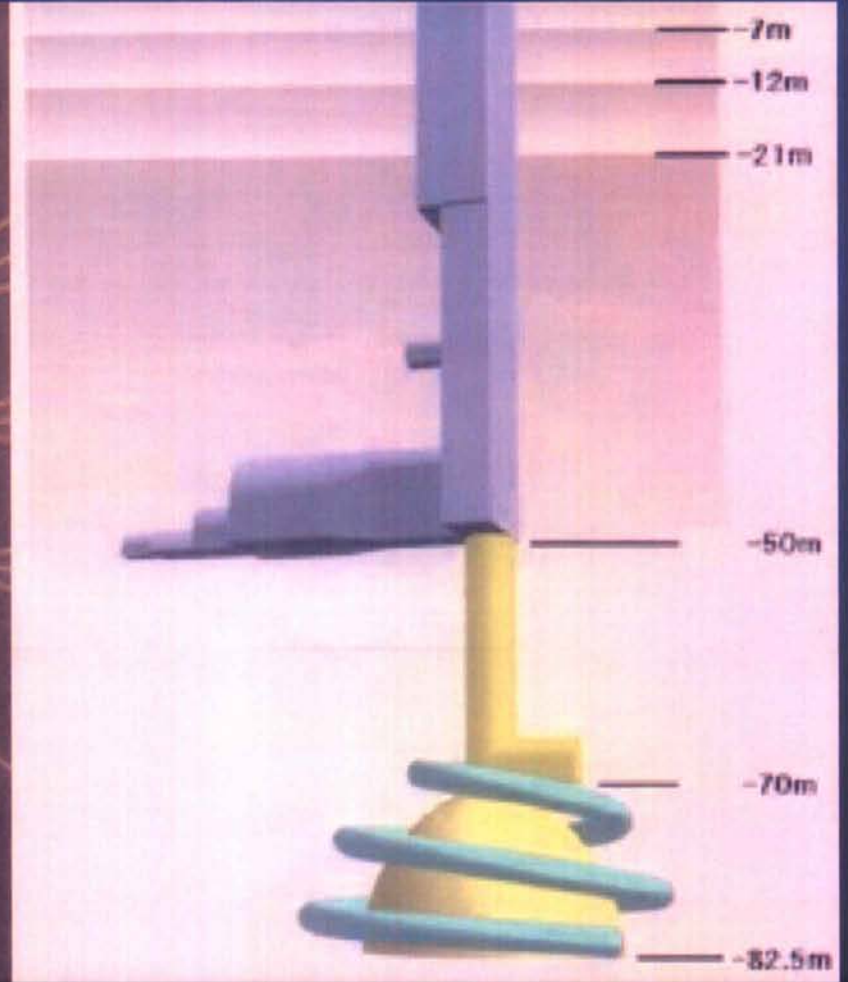
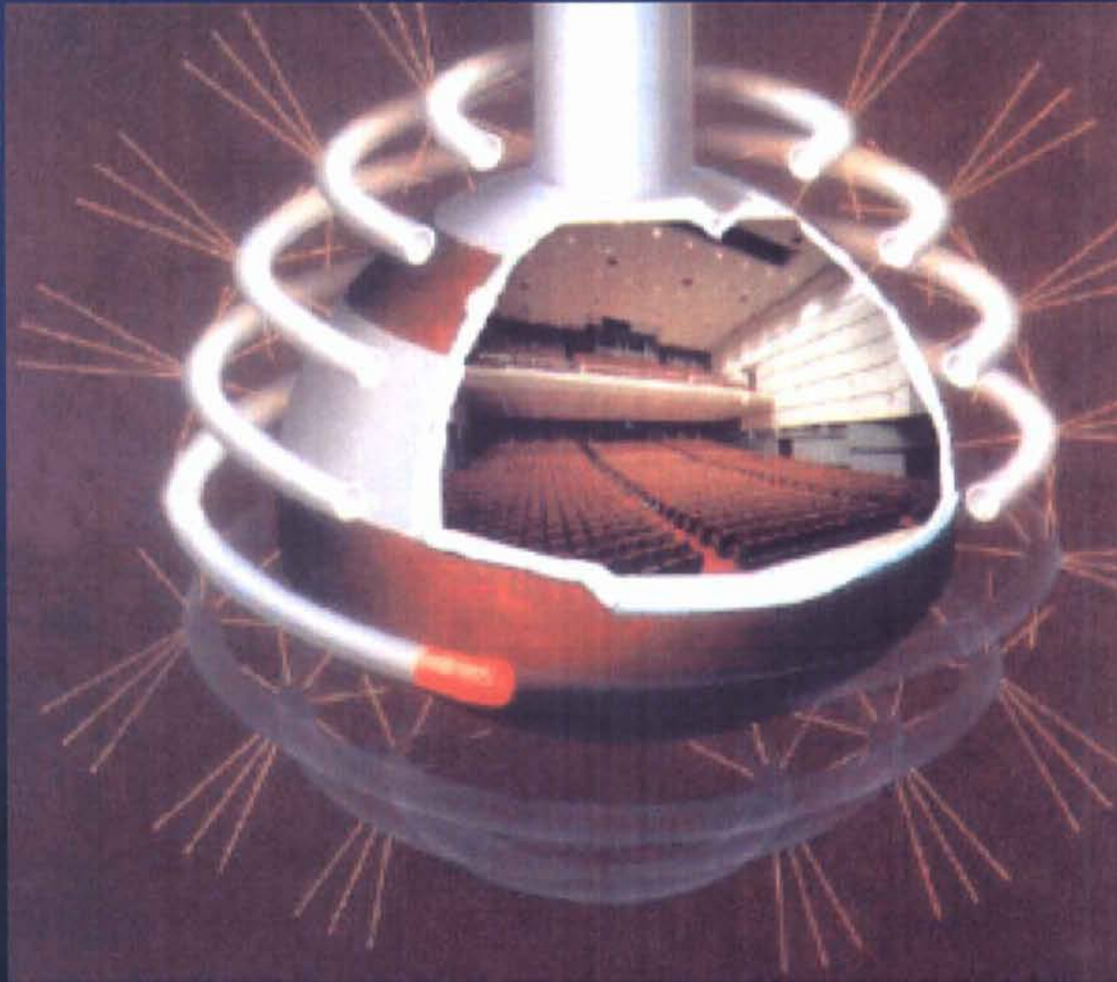
Nano Engranajes

Plan Estratégico de la Comisión Europea, horizonte 2030

Horizonte	Objetivo	Innovación requerida
2030	Ausencia de operarios 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 la condiciones geológicas (“terreno transparente”).	Métodos y equipamientos innovadores de exploración geológica.
	Avance tecnológico en el corte de rocas.	Nuevas tecnologías de corte (ejemplo Tecnología láser).
2010	Sistemas inteligentes de revestimiento.	Revestimiento con mecanismo 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.

Futuras Tendencias en las Obras Subterráneas

- Las tendencias, a lo largo del siglo XXI, en el proyecto y la construcción de obras subterráneas, vendrán marcadas por la consecución de los siguientes objetivos:
 - Seguridad
 - Economía
 - Afección mínima al entorno natural
 - Ampliación del ámbito de construcción de las obras subterráneas



Construcción de auditorio subterráneo en el subsuelo de un hotel, Japón

FASE DE PROYECTO

1.- REDUCCIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES GEOLÓGICAS

- 1.1.- Incremento y mejora de la investigación geológica y geotécnica hasta un 3% del presupuesto de construcción; en casos de mucha complejidad puede llegar hasta el 10%.
- 1.2.- Mejor conocimiento estructural de suelos y rocas.
- 1.3.- Mejor utilización de los datos geológicos y geotécnicos.
- 1.4.- Mejor modelización del macizo rocoso y de los modelos de cálculo.
- 1.5.- Aplicación a los proyectos de la Ingeniería de la decisión y el análisis de riesgos.

2.- INCREMENTO DE LA SEGURIDAD

La Seguridad, durante la construcción y la explotación de las obras subterráneas, será siempre un objetivo preferente, que tiene que ser abordada ya durante la fase de proyecto; de modo que quede garantizado un nivel de seguridad adecuado.

La idoneidad del diseño y el dimensionamiento de los sistemas de seguridad, deberá verificarse mediante programas de evaluación de riesgos para diversos escenarios.

2.1.- Seguridad estructural de la obra subterránea.

2.1.1- Instrumentación y Auscultación.

2.2.- Seguridad Pasiva

- Nuevos materiales resistentes al fuego y al ataque físico-químico.
 - Desarrollo y utilización de materiales compuestos utilizando fibras de polipropileno, de vidrio, de carbono y de materiales cerámicos en tratamientos superficiales.
- Las máquinas se construirán de acuerdo a las condiciones en las que van a trabajar: ambientes potencialmente explosivos, con materiales más resistentes, menos pesados, ignífugos, que proporcionan un mayor aislamiento térmico y más resistentes al calor.

2.3.- Seguridad Activa

- **Sistemas de evacuación eficaces y fiables que permitan la auto-evacuación de las personas, incluso de las de movilidad reducida y un fácil acceso de los equipos de rescate.**

2.3.1- Instalaciones eficaces y fiables

- **Equipos de ventilación más eficientes, de menor consumo energético, con niveles de resistencia al calor suficientes para mantenerse en funcionamiento el tiempo necesario.**

- Ampliación de la ventilación longitudinal a túneles más largos desde un único punto de aspiración de aire fresco.

La tecnología Japonesa actual permite ventilar tramos de hasta 18Km.

- Utilización de programas informáticos inteligentes, expertos en el manejo de situaciones de incertidumbre (modelos fuzzy logic, neuronal) para gestionar los sistemas de ventilación.
- Desarrollar técnicas de acantonamiento de humos y gases, mediante cortinas de agua y/o aire u otras técnicas.

2.3.2- Iluminación

- Utilización de luminarias de mayor rendimiento con mayores niveles de iluminación y menores consumos energéticos.
- Mayores niveles de luminancia con la utilización de revestimientos no porosos, más lisos, más resistentes al ataque físico-químico, de tonalidades claras y fáciles de limpiar.
- Lámparas con filamentos de fibra de carbono.
- Superficies de rodadura fáciles de limpiar y que no contengan betunes.

2.3.3- Control integrado de instalaciones

- Centro de control principal y único que centralice y gestione, mediante un sistema informático inteligente, toda la información suministrada por los equipos de control y por los diferentes sensores instalados en las instalaciones de señalización, ventilación, iluminación, drenajes, comunicaciones, detección automática de incidentes, de incendios, control de tráfico.....

2.4.- Utilización de Nuevos Materiales I

Tipo de Material	
Compuestos, Composites (FRP)	Matriz: metálica o de materiales plásticos (resinas epoxy, fenólicas, poliésteres no saturados). Aditivos y fibras (acero, vidrio, carbono); Altas resistencias, propiedades especiales.
Materiales Cerámicos	Muy resistentes a la corrosión y a elevadas temperaturas.
Nuevos Hormigones	Hormigones poliméricos (CP); Más resistentes y ligeros; Mayor resistencia al fuego; Resinas/polímeros + cemento+fibras.
	Hormigones reforzados con fibra (FRC). Mayor resistencia a la rotura. Fabricación adecuada a las sollicitaciones que tiene que soportar.

Utilización de Nuevos Materiales II

Tipo de Material	
Nuevos Hormigones	Hormigones Autocompactantes (SCC). No necesitan vibrado; mayor durabilidad y mejor acabado superficial.
	Nuevos hormigones proyectados; Mayores resistencias, más densos, menos poroso, mayor durabilidad, cemento sin yeso, más económicos y ecológicos.
Revestimientos Inteligentes	Objetivo de la U.E. para 2010; Reacción de acuerdo a las solicitudes. Objetivo de la U.E. para 2020: Incorporación de minisensores que permiten conocer como trabajan y el grado de deterioro en tiempo real.
Nanomateriales Nanocompuestos	Horizonte 2020; sustitución de las fibras por partículas de tamaño inferior a una micra e, incluso de tamaño molecular, ($10^{-9}m$). Mayores resistencias, mayor durabilidad, menor peso, más económicos, fabricación con propiedades determinadas, posibilidad de autoregenerarse.

2.5.- Impacto sobre el Medio Ambiente

- Una más completa y minuciosa evaluación de las modificaciones sobre el entorno.
- Consideración especial a la vulneración de los niveles freáticos, a la calidad de las aguas subterráneas y a la contaminación atmosférica.
- Consideración especial a las afecciones en superficie, principalmente en entornos urbanos.
- Restituir, en la medida de lo posible, las condiciones iniciales del entorno natural.

- No utilización de productos y materiales potencialmente contaminantes.
- Mejores técnicas y materiales para la impermeabilización.
- Captación, canalización y tratamiento de las aguas, evitando la contaminación de estas dentro del recinto subterráneo y el contacto con el revestimiento.
- Eliminación de la contaminación ambiental donde ésta se produzca.
- Reutilización, en la medida de lo posible, de los materiales excavados para hormigones, rellenos...
- No utilización de productos y materiales potencialmente contaminantes.

FASE DE CONSTRUCCIÓN

1.1.- Reducción de las incertidumbres geológicas

- Realizar campañas geotécnicas complementarias desde superficie y desde el interior de la obra subterránea; ensayos adicionales, geofísica desde el frente de excavación.
- Auscultación y retroanálisis sistemáticos para adaptar el proyecto a las condiciones reales.

1.2.- Nuevo Perfil de Técnicos y Operarios

- Equipos técnicos interdisciplinarios y altamente especializados, además de en las disciplinas tradicionales, en robótica, automatismos, control remoto, ingeniería de nuevos materiales, seguridad, medio ambiente, sistemas de gestión de calidad, sistemas de comunicaciones, electrónica, gestión de incertidumbre.
- Operarios especializados con conocimientos y habilidades para manejar, conservar y reparar la maquinaria y los equipos que incorporen los nuevos avances tecnológicos. Deberán tener conocimiento de : mecánica, electricidad, electrónica e informática.



1.3.-Maquinaria

La maquinaria para la construcción de Obras Subterráneas va a experimentar, a lo largo del siglo XXI, una transformación espectacular y tendrá una importancia decisiva para enfrentarse con éxito a los retos tecnológicos que plantean los nuevos proyectos intercontinentales en estudio.



- **Innovaciones en la Maquinaria**

- La automatización y la robotización total; el plan estratégico de la U.E fija el horizonte de 2030.
- La operación por control remoto.
- Nuevos materiales más resistentes, durables, ligeros y económicos como componentes de las nuevas máquinas.
- Útiles de corte más robustos, eficaces y más resistentes al desgaste.



- Control, en tiempo real, del funcionamiento de las máquinas.
- Utilización de la tecnología “water jet” evolucionada.
- Cabezas de corte inteligentes; tuneladoras con dispositivos en la cabeza de corte, capaces de detectar cambios de dureza en la roca, modificando automáticamente el empuje y el par.
- Utilización de discos de corte vibratorios u oscilantes de menor diámetro.

La U.E fija para 2010 la mejora de la tecnología de corte de rocas.



- Tuneladoras más versátiles y polivalente; más eficientes y fiables y de funcionamiento con mayores niveles de seguridad y con diseños mejorados en relación con los escudos mixtos multimodales actuales.

La U.E fija para 2020 el objetivo de desarrollar una Tuneladora Universal.

- Tuneladoras y máquinas de diseño modular, capaces de realizar excavaciones ascendentes, descendentes y en espiral y perforaciones oblicuas o perpendiculares a la perforación principal.
- Cabezales de perforación de configuración geométrica adaptable a las necesidades: circular, rectangular, anteojo horizontal y vertical, policircular secantes...



- Tuneladoras de grandes diámetros >15m.
- El gran impulso innovador que experimentará la maquinaria de excavación de rocas y suelos, y en particular las tuneladoras, se realizará como consecuencia de la aplicación en su construcción de la Mecatrónica y de la Nanotecnología, presumiblemente bien entrado el presente siglo.

(La Mecatrónica 2010? Y la Nanotecnología 2025?)



1.4.- Excavación con Perforación y Voladura

- Explosivos de manipulación más segura.
- Mejor utilización de la energía del explosivo.
- Reducir los costes de los detonadores electrónicos que permita su uso habitual.
- Mejorar la ejecución de las voladuras perimetrales.
- Perfeccionar los modelos de predicción de vibraciones y de posibles daños.
- Reducir los tiempos de carga de los explosivos, utilizando emulsiones bombeables.
- Mejorar los rendimientos de perforación y su control.
- Desarrollar boca y útiles de perforación de mayor duración, más ligeros y de mayores rendimientos.



1.5.- Otros Métodos de Excavación

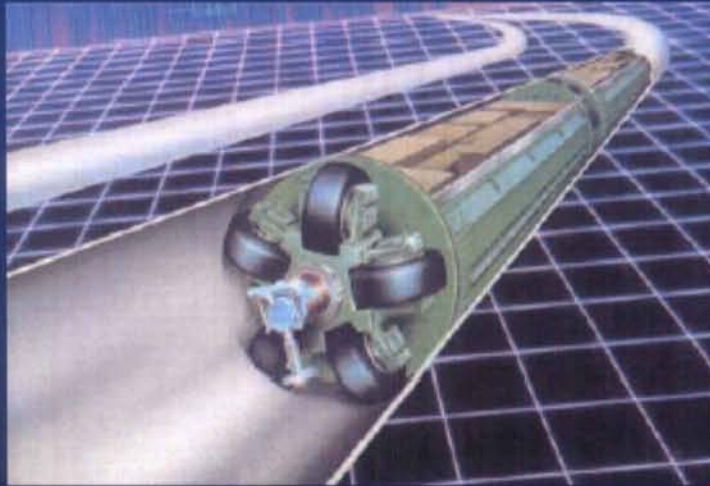
- Utilización más eficaz de la energía hidráulica; cañón de agua.
- Excavación mediante ultrasonidos.
- Desarrollo y utilización de la tecnología de rayo láser de materia, capaz de emitir un haz constante de ondas de materia, mil veces más pequeño que un rayo de luz.
- Energía térmica mediante chorro de llama combinado con partículas abrasivas.
- Rayo de electrones.
- Técnicas de ablandamiento previo de la roca con productos químicos.
- La U.E ha fijado para 2020 el desarrollo de alguna tecnología nueva para la fragmentación de macizos rocosos (tecnología láser).

1.6.- Otros Objetivos importantes de la Innovación Tecnológica aplicada a la construcción subterránea.

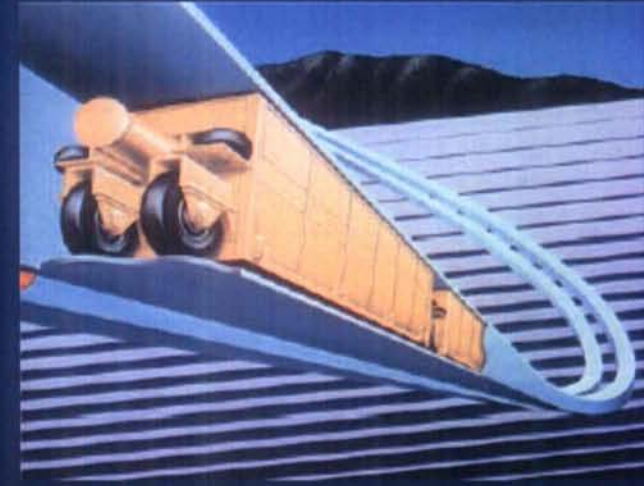
- Desarrollar técnicas de visualización del terreno por delante del frente.
- Desarrollar posicionamientos de precisión por satélite (GPS).
- Control de las actividades subterráneas. Utilización masiva de sensores y microsensores robustos y económicos, instalados en máquinas, en elementos estructurales, en revestimientos y en puntos sensibles del proceso y de los sistemas de comunicación, que permita la automatización la robotización y la localización de posibles fallos.



- Nuevos Métodos de extracción de escombros, menos contaminantes y seguros.



a) Cápsula Circular



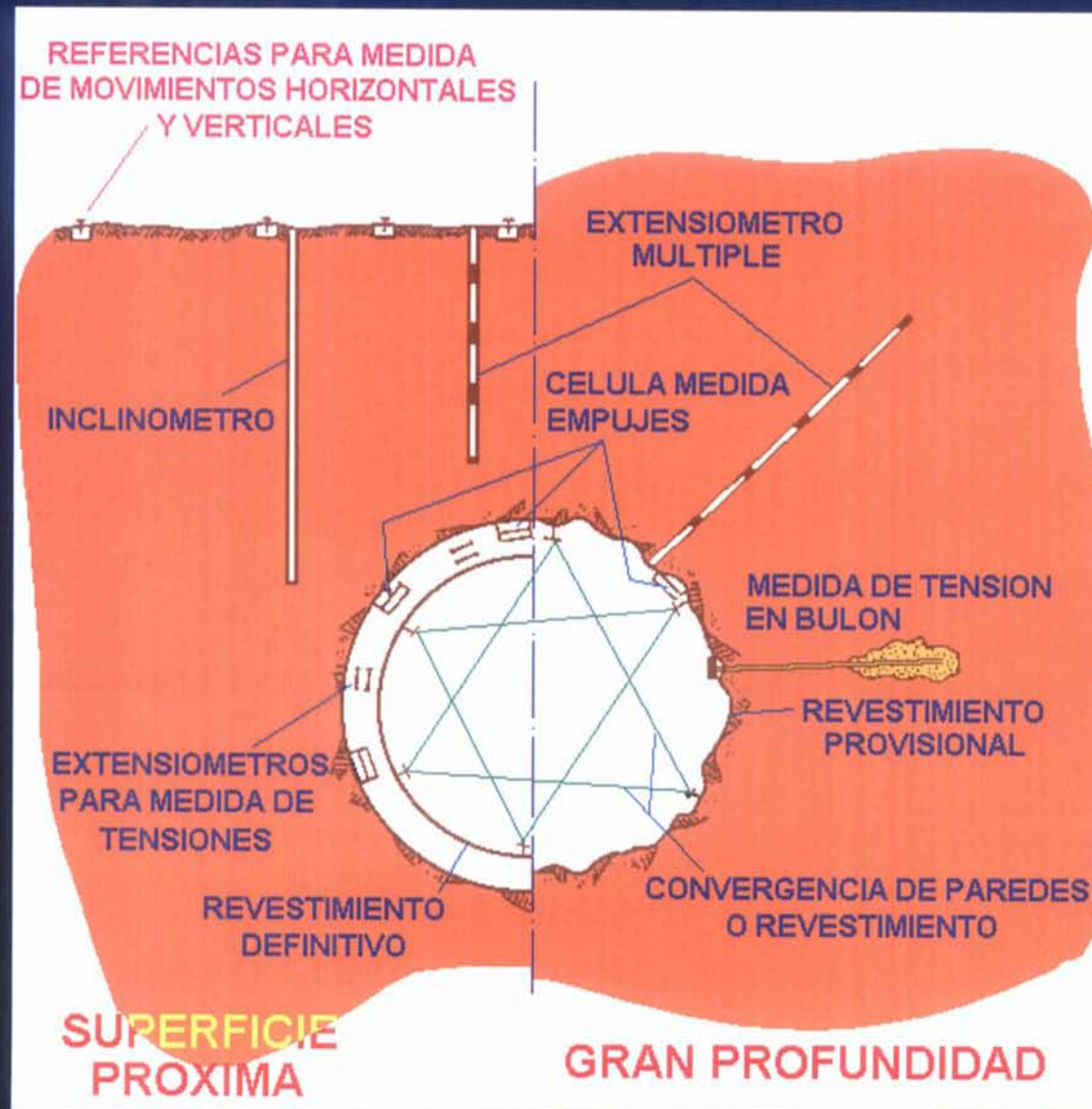
b) Cápsula Rectangular

Sistema de encapsulado neumático

c) Cinta Transportadora



- Instrumentación y Auscultación de la obra subterránea en tiempo real, más completa y fiable con la utilización de microsensores adheridos a las estructuras.



1.7.- Beneficios para la Industria de la Construcción de Obras Subterráneas que aportarán las nuevas tecnologías.

1. Incremento decisivo de la seguridad durante su construcción y su explotación.
2. Menores costes de excavación
 - Menos mano de obra y más especializada.
 - Incremento de los rendimientos de las distintas actividades mediante:
 - La automatización, robotización y el control del proceso constructivo (2030 U.E.).
 - La utilización de tuneladoras inteligentes de trabajo continuo.
 - El uso de herramientas de corte más duras y tenaces y mas resistentes al desgaste con la utilización de nuevos materiales (2010 U.E.).

3. Mayores rendimientos de excavación en rocas duras y abrasivas; se podrán superar en los próximos años los 100m/día.
4. Tuneladoras más potentes, con mayores diámetros, más versátiles y polivalentes, menos pesadas, costosas y seguras y capaces de obtener avances mayores con un menor consumo de energía, con el objetivo de conseguir una “Tuneladora Universal” capaz de trabajar eficazmente en terrenos de características muy diversas (2020 U.E.).
5. Revestimientos menos costosos y eficaces.
 - Métodos más eficientes de colocación.
 - Utilización de nuevos materiales de mayores prestaciones con menores espesores y menos pesados.
 - Incorporación de los nuevos hormigones proyectados como revestimiento definitivo.
 - Utilización de revestimientos “inteligentes” (2010 U.E.).



6. Menores costes de ejecución, similares a los de las obras en superficie (2030 U.E.).
7. Mejor calidad de la obra ejecutada y mayor durabilidad.
 - En particular, mejor calidad de los revestimientos definitivos, más resistentes estructuralmente, al fuego y a los ataques físico-químicos.
 - Mejor acabado superficial, menos poroso.
 - Superficies más lisas de colores claros e impermeables, con una menor absorción lumínica y de limpieza más fácil.
8. Posibilidad de acometer proyectos que, por su dificultad técnica, hasta ahora han sido inabordables.



Conclusiones

En el presente siglo XXI, se acometerá en el mundo la construcción de importantes proyectos de ingeniería que permitirán mejorar las conexiones terrestres, por ferrocarril y carretera, entre Países, Continentes e incluso entre Hemisferios.

Gran parte de estos proyectos exigirán la construcción de largos túneles a través de importantes accidentes geográficos, Estrechos y grandes cadenas montañosas.

Proyectos como el Enlace Fijo España-Marruecos con la construcción del túnel ferroviario de unos 39Km, 28Km de los cuales discurren bajo el Estrecho de Gibraltar, suponen un gran reto tecnológico, no solo en su construcción si no también en su explotación, para mantener los niveles de seguridad necesarios.

Estos retos tecnológicos que se plantean, serán superados por un gran esfuerzo de innovación tecnológica, que se producirá en el siglo XXI, lo que está dando en llamar la tercera Revolución Industrial, de la mano de las tecnologías emergentes como: la Tecnología de los nuevos materiales compuestos, la Mecatrónica y la Nanotecnología, cuyos primeros frutos aparecerán en la presente década, con un desarrollo considerable hacia el final del primer cuarto de siglo (2025).

Agradecimientos

Agradecimiento, por la ayuda prestada en la redacción y preparación del presente trabajo, a los Técnicos y Personal de GEOCONSULT: Paco Megía, José González del Tanago, Manuel Arlandi, Fernando Gómez, Luis de la Peña, Alberto Mozas, Ramón Páramo, Francisco Cornejo, Luis Carlos Toledo, Gema Gálvez y Mónica Hortelano.

