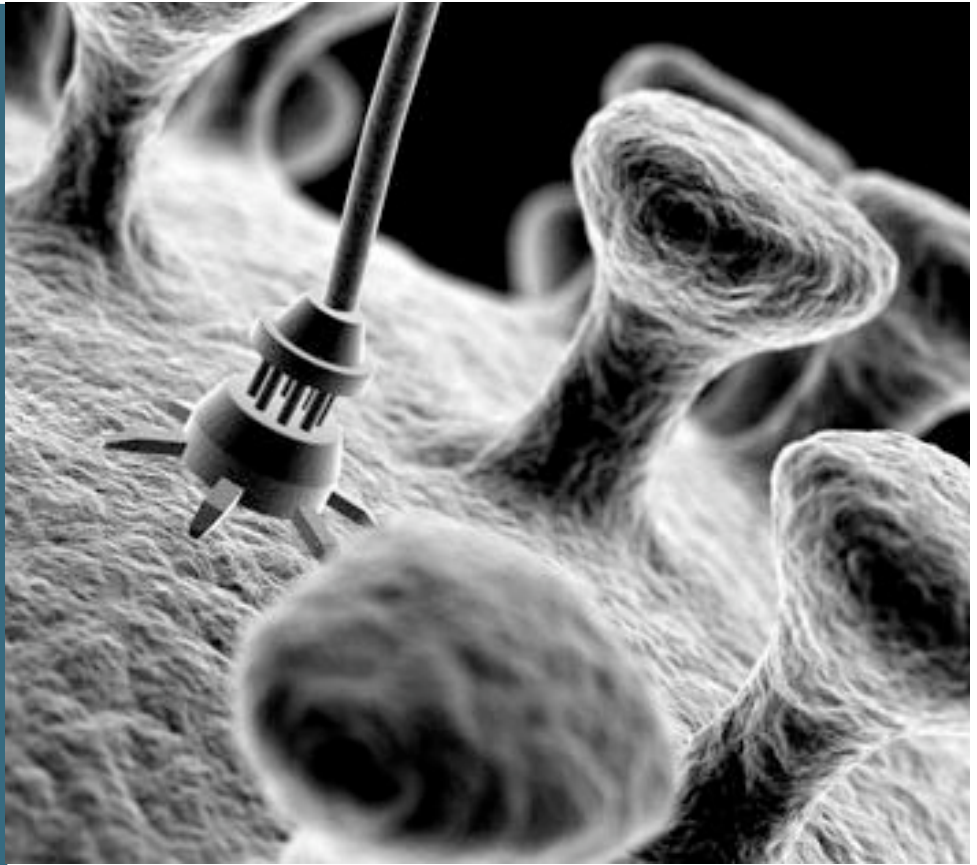


BOLETÍN TÉCNICO

**PITRA**

PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA  
DEL TRANSPORTE

Vol 2. Nº 17. Mayo 2011



## Aplicaciones generales de la nanotecnología en el campo de la construcción

**Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo**  
Laboratorio Nacional de Materiales y  
Modelos Estructurales  
Universidad de Costa Rica

Como parte del programa de investigación del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) y el programa de cooperación de transferencia de tecnología y prestación de servicios en el sector público del LANOTEC (ITCR), recientemente se impartió una charla dictada por el investigador y ganador del premio nacional de tecnología, MSc. Juan Chaves Noguera, en la que exponía sobre los logros alcanzados en Costa Rica en el campo de la nanotecnología, los aportes en áreas de relevancia para la ciencia, así como los avances en medicina e innovaciones tecnológicas, entre otros.

A la mención del término nanotecnología, la primera idea que

vino a mi mente, fueron los textos de ciencia ficción en donde, en un contexto futurista, se describían artefactos "nanotecnológicos" como una tecnología al servicio de científicos, quienes desarrollaban diminutos robots que alcanzaban grandes logros en el campo de la ciencia y la medicina. Sin embargo, ese futuro lejano nos ha alcanzado en nuestro tiempo y entorno, en donde investigadores han desarrollado con enorme éxito un proyecto de nanotecnología en el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC) del ITCR, en donde recientemente se logró obtener nanotubos de carbono, consiguiendo de esta manera ubicar a nuestro país al nivel de países de Europa, Asia y Estados Unidos.

### Introducción

Las mejores construcciones dependen directamente de la calidad de los

materiales utilizados, si la nanotecnología tiene la capacidad de elaborar o fabricar materiales nuevos, dispositivos o sistemas, mediante el control y modificación de su estructura a escala nanométrica mejorando sus propiedades físicas y propiedades químicas, las construcciones resultantes tendrán un mejor desempeño con un menor consumo de recursos naturales. La nanotecnología cambiará el empleo de los materiales mediante la generación de nanomateriales, trascendiendo las leyes de la física mecánica tradicional, y por ende la forma de diseñar y construir.(1)

Por tanto las construcciones del futuro tendrán un mejor desempeño siendo mucho más ligeras, de fácil y rápida instalación. Su ligereza y óptimo rendimiento reducirán el empleo de maquinaria pesada, simplificará el transporte, todo ello unido a una significativa reducción de la energía

### Comité editorial del boletín



**2011**

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar  
Coordinador General PITRA, LanammeUCR

Licda. Irene Matamoros Kikut  
Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica, PITRA

Mauricio Bolaños Barrantes  
Diseñador Gráfico. Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica,  
PITRA

necesaria para su fabricación y puesta en obra. (11)

## Innovaciones en el campo de la Construcción Civil

La nanotecnología incursiona en el sector de la construcción con avances tecnológicos desarrollando innovaciones en el campo de la construcción civil tales como hormigones reforzados, cementos de nuevas propiedades, nuevos tratamientos para la corrosión, hormigones conductores de la electricidad, aislantes térmicos y acústicos, entre otros. (15)

Mediante esta tecnología se pueden desarrollar materiales más resistentes que el acero, con sólo una fracción de su peso, empleándose actualmente en la fabricación de aceros y hormigones más resistentes, aportando mejoras en infraestructuras y edificación. (1)

### a. Hormigón

El hormigón es un material de microestructura compleja que debe sus propiedades, en gran parte, al gel silicato cálcico hidratado (C-S-H) presente en la matriz cementicia, el cual es un material nanoestructurado con propiedades modificadas por una red de poros y microfisuras, cuyos tamaños pueden variar desde unos nanómetros hasta milímetros. El conocimiento de su nanoestructura y las fases del gel permitirán ampliar la gama de productos

derivados del cemento con propiedades multifuncionales. (8)

Los nanomateriales se aplican en nuevos hormigones, acortando los tiempos de producción, a través de la modificación y control químico de los procesos de hidratación, además se prevé que la nanotecnología aportará capacidad autolimpiante y biocida mediante la incorporación de fotocatalizadores, reduciendo de este modo las operaciones de mantenimiento en edificaciones. (11)

### b. Edificaciones

El Centro Tecnológico ACCIONA en Madrid desarrolla y aplica materiales de cambio de fase (PCMs), para control de temperatura, con el fin de regular el consumo energético en la climatización de los edificios. Mediante las propiedades físicas intrínsecas de los PCMs, se regula el exceso o falta de calor en los interiores, minimizando las fluctuaciones térmicas y reduciendo el consumo energético. En esta misma línea de edificios eficientes energéticamente se elaboró la síntesis de materiales vía sol-gel, denominados aerogeles (materiales nanoporosos, muy ligeros con una elevada capacidad aislante) los cuales utilizados como sistemas aislantes translúcidos, aportan una mejora en la eficiencia y nuevas posibilidades en el diseño arquitectónico. (11)

Además, mediante el uso de la nanotecnología, se pretende la generación de electricidad en recintos cuyas paredes estén cubiertas con pinturas especiales que realizan la transformación de la luz solar en energía eléctrica, y en este momento se utiliza como un producto antibacteriano para aplicación en hospitales. (16)

### c. Materiales de construcción

Al modificar nanoestructuralmente el acero para armaduras, se puede lograr un material con una resistencia a la corrosión similar a la de los aceros inoxidables, implicando un menor costo y con propiedades mecánicas superiores a los aceros de alta resistencia. (8)

Los nanomateriales sobresalen por sus extraordinarias propiedades mecánicas mostrando un extraordinario comportamiento elástico (módulo de Young) al desarrollar una gran resistencia a la extensión, compresión y doblamiento. Otra característica notable es que bajo condiciones mecánicas extremas, son capaces de absorber la deformación sin romperse.[8] Investigadores de la Northwestern University están trabajando en crear una fibra de alto rendimiento a partir de nanotubos de carbono y un polímero que es muy fuerte y resistente a la falla. (6)

Por su parte científicos de la Universidad de Cambridge desarrollaron, a partir de nanotubos de carbono, un material en forma de cintas de un centímetro de longitud, con una densidad de 1 g/cm<sup>3</sup> (igual al agua) el cual logró soportar un esfuerzo de 9GPa, proveyendo un material cuatro veces más fuerte que el Kevlar. Los investigadores esperan en poco tiempo desarrollar un material que alcance una resistencia de 10GPa, y fabricarlo en longitudes de metros. (5)

### d. Materiales amigables con el ambiente

El uso de nanomateriales permitirá una reducción del uso de los recursos naturales debido a que la cantidad necesaria de materia prima y recursos energéticos, en los procesos de

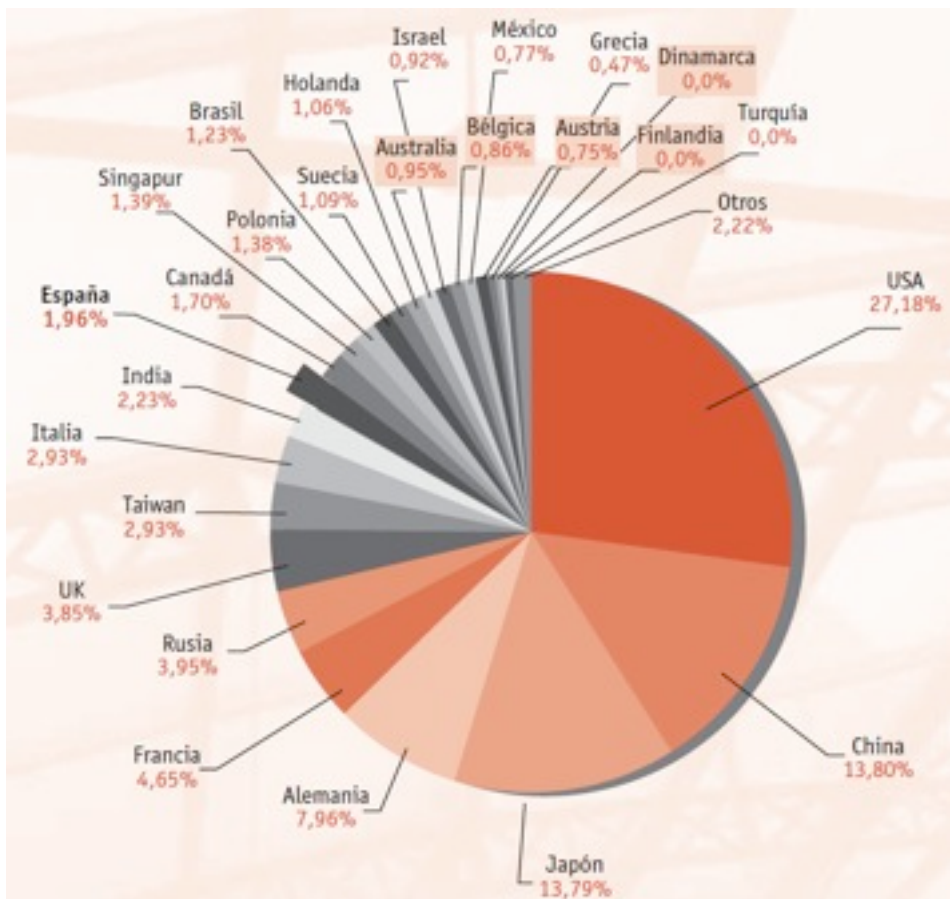


Figura 1

Países con publicaciones referentes a nanotecnología. Tomado de: Nanotecnología en España- Colecciones mi+d [15]

producción será menor, contribuyendo a su vez en la posterior reducción de residuos. (8)

En la actualidad se incluyen nanomateriales o nanopartículas derivados de dióxido de titanio en la fabricación de vidrios, ventanas y azulejos, que permiten limpiar, disolver y eliminar los gases tóxicos que contaminan el aire, al ser expuestos a rayos solares y a la lluvia. Cuando los rayos UV entran en contacto con el dióxido de titanio se produce una reacción catalítica que transforma las moléculas contaminantes y óxidos de nitrógeno en partículas inocuas, las cuales son causantes de problemas pulmonares y del efecto invernadero. (3, 8)

Por su parte la empresa Skanska está desarrollando muros de hormigón y otros materiales catalíticos pintados con dióxido de titanio, que puede tener una alta tasa de reactividad al ser expuestos a rayos de luz ultravioleta, de modo que descompongan los gases expulsados por los vehículos en túneles, además de aceras que limpian el aire. (3)

## Innovaciones en el campo de la Construcción Vial

La aplicación de la nanotecnología en las carreteras también es un campo en auge, el artículo "Small Science Will Bring Big Changes To Roads" (La ciencia pequeña traerá cambios grandes a los caminos) publicado por Better Roads, plantea la posibilidad de reparar de forma automática, grietas y agujeros en el pavimento o en el hormigón, de igual manera permitirá que las barreras de contención se autorreparen al ser dañadas producto de un choque, así como fabricar señales de tráfico que se limpian a sí mismas. (10, 12)

### a. Seguridad vial

La tecnología ultra pequeña podría contribuir a mejorar la seguridad de las carreteras, permitiendo detectar a los conductores que hayan bebido, al colocar en sensores de etanol convencionales trocitos de óxido de zinc de 15 nanómetros de diámetro, los cuales aumentan considerablemente la sensibilidad de los sensores mediante esta nueva estructura microscópica. La resistencia del óxido de zinc a la electricidad cambia al ser expuesto al etanol en un proceso llamado adsorción. (2)

## Que es la nanotecnología?

En ciencia y tecnología "nano" quiere decir  $10^{-9}$ , es decir, una milmillonésima parte (0,000000001). Un nanómetro (nm) es, por tanto, la milmillonésima parte de un metro, lo que equivale a un tamaño diez mil veces más delgado que el diámetro de un cabello humano.

El término fue utilizado por primera vez en 1971 por Norio Taniguchi, refiriéndose a la técnica aplicada en la maquinaria de ultra-precisión. Pero el verdadero nacimiento sucede con la invención del microscopio de efecto túnel en 1981 por Binnig y Rohrer.

Está dedicado al control y manipulación de la materia a una escala menor que un micrómetro, es decir, a nivel de átomos y moléculas (nanomateriales). Por tanto es el conjunto de técnicas y ciencias dedicadas al estudio, manipulación y obtención de manera controlada, de materiales, sustancias y dispositivos de dimensiones nanométricas, con el objetivo de influir en sus propiedades estructurales, eléctricas, térmicas, magnéticas y ópticas, fabricando tecnología en miniatura.

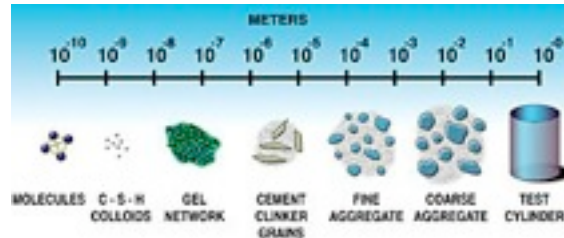
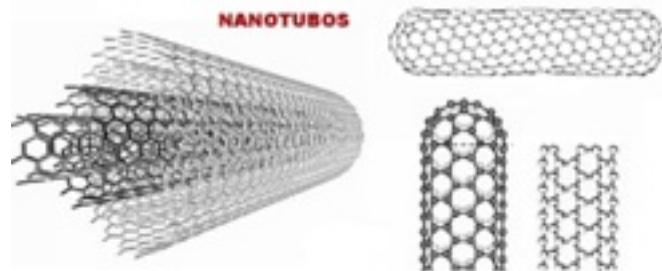


Figura de "La revolución de la nanotecnología en la construcción"[12]

## Nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono son hasta cien veces más fuertes que el acero pesando seis veces menos y tienen gran potencial como aditivos para incrementar la resistencia de materiales compuestos. Se componen de una o varias láminas de grafito u otro material enrolladas sobre sí mismas, tienen un diámetro de unos nanómetros y su longitud puede ser de hasta un milímetro concediéndole una relación longitud-anchura tremendamente alta. Existen nanotubos monocapa (un sólo tubo) y multicapa (varios tubos metidos uno dentro de otro). Los nanotubos de una sola capa se llaman single wall nanotubes (SWNTS) y los de varias capas, multiple wall nanotubes (MWNT).



Por su parte BMW trabaja en la aplicación de la nanotecnología a la industria del automóvil, con el objetivo de aumentar la seguridad del conductor en los nuevos modelos. Se están desarrollando parabrisas con componentes a nanoescala que permiten aumentar o disminuir el índice de luz y de radiación térmica. Retrovisores que reducen hasta un 80% el reflejo de la luz de otros vehículos, al producir mediante nanopartículas, un efecto electroquímico que oscurece el espejo como respuesta a la incidencia lumínica. (4)

Se han desarrollado polímeros integrantes de barreras protectoras en las carreteras que reparan sus propios desperfectos causados por la colisión de vehículos. Se producen



## Figura 2

Retrovisor antideslumbramiento, con gel electrocrómico que se oscurecen en función de la cantidad de radiación que reciben. Tomado de "Nanopinturas La grandeza de lo pequeño"

nanopinturas que se utilizan sobre superficies metálicas para aumentar la protección frente a la corrosión. (1) Así como tecnologías visuales que permiten pantallas mejores, más ligeras, finas y flexibles (2)

#### b. Transportes

Investigadores de la Universidad de Minnesota Duluth y del Harbin Institute of Technology han desarrollado un pavimento para carreteras que contiene redes de nanosensores incrustados en las carreteras con propiedades piezorresistivas, de manera que proporcionen información en tiempo real del estado del tráfico y ayudar al manejo de la congestión y los incidentes, o para detectar y advertir a los conductores acerca de un rápido cambio de las condiciones ambientales. (7)

En la Universidad de Minnesota Duluth la inserción de nanosensores en el pavimento vislumbra un gran potencial para el uso de control del tráfico, así como en la detección del flujo de tráfico, la medición de pesaje en movimiento y detección de la velocidad del vehículo. (13)

#### c. Carreteras

En la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign se ha desarrollado un material estructural polimérico con la capacidad de reparar las grietas autónomamente. La reparación se lleva a cabo mediante la incorporación de un agente reparador microencapsulado y un detonador químico catalizador dentro de una matriz epóxica, ambos de tamaño nanométrico. Al producirse la grieta, provoca la ruptura de las microcápsulas incorporadas en la matriz, liberando el agente reparador en el plano de la grieta, a través de la acción capilar. La polimerización del agente reparador se activa por el contacto con el catalizador integrado, sellando ambas caras de la grieta. (7)

Se sigue un proceso similar para la reparación del concreto, en el cual

nanofibras huecas de tamaño micrométrico, se encuentran rellenas con sellador de grietas en la matriz del concreto. Cuando el hormigón se agrieta, las fibras también se rompen provocando por tanto la liberación del sellador. (7)

En el Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Universidad de Minnesota Duluth se investiga en la inserción en nanosensores en el pavimento para investigar los procesos que contribuyen al deterioro y agrietamiento. El compuesto de cemento se llena de nanotubos de carbono cuyas propiedades piezorresistivas permiten la detección de tensiones mecánicas inducidas por el flujo de tráfico. [13] Los datos muestran una respuesta sensible y estable a la repetición de las cargas de compresión y cargas impulsivas. Estos datos permitirán crear bases de datos para que los investigadores los utilicen para extender la vida útil de los pavimentos. (13)

#### d. Agregado Mineral-Suelos

La empresa mexicana Turborroof ha desarrollado una tecnología que mejora el desempeño de mezcla asfáltica, mediante empleo de nanotecnología logra transformar la superficie polar de los agregados, modificando dicha superficie en no-polar por lo que puede enlazarse al 95% de la composición no-polar del asfalto. Este cambio incrementa entre 35-45% la fuerza de compresión y aumenta la flexibilidad en los pavimentos asfálticos. (14)

De igual manera la nanotecnología causa la reacción de las partículas de suelo (polvo de tierra) confiriéndole propiedades hidrofóbicas, lo cual puede solventar problemas de suelos expansivos cuando hay presencia de partículas de arcilla. (14)

#### e. Puentes

La nanotecnología incursiona como un campo de alta tecnología en la inspección y monitoreo de la

condición de la estructura de los puentes, proporcionando mediciones cuantitativas de las condiciones existentes, mucho antes de una evaluación visual, así como información de aspectos que simplemente no se puede evaluar durante una inspección visual. Sensores nanométricos podrían controlar las vibraciones y las cargas, lo que permite a los investigadores evaluar las debilidades estructurales y las condiciones reales existentes. (9)

Las nuevas tecnologías de hoy en día pueden solucionar el despliegue de recursos que conlleva la evaluación de puentes de todo el inventario nacional de un país, volviendo dicha evaluación eficiente y rápida, solventando el problema de mano de obra disponible para la realización de las evaluaciones, así como la reducción del tiempo de las campañas de evaluación. (9)

Actualmente la Universidad de California-Berkeley está experimentando sobre el puente Golden Gate con una red de sensores, cada uno con un acelerómetro que mide el movimiento producto del tráfico, el viento o cargas sísmicas. (9)

## Futuro de la construcción

Se advierte, en una perspectiva general, que las investigaciones relacionadas con la nanotecnología y la nanociencia avanzan significativamente en el área de la construcción, alrededor del mundo, desarrollando nuevos materiales, modificando y mejorando los existentes y creando una amplia gama de materiales con propiedades asombrosas, tanto que algunos científicos han denominado a este fenómeno como la "nueva revolución industrial", lo que potenciará considerablemente el desarrollo de dicho sector, debido a ello el LanammeUCR, como parte de su compromiso técnico y científico, se ha planteado contribuir en esta área de investigación.

## Referencias Bibliográficas

1. Nanotecnología Impacto En La Construcción, <http://www.buenastareas.com/ensayos/Nanotecnologia-Impacto-En-La-Construccion/217856.html>
2. Usos de la nanotecnología, <http://soblog.lacoctelera.net/post/2009/07/07/usos-la-nanotecnologia>
3. La Nanotecnología en la construcción, [http://constructoresciviles.uc.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=67:esto-lo-debes-saber&catid=43:esto-lo-debes-saber&Itemid=95](http://constructoresciviles.uc.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=67:esto-lo-debes-saber&catid=43:esto-lo-debes-saber&Itemid=95)
4. Nanotecnología en el futuro del automóvil, <http://distribuidoraelite.net/es/the-news/66-nanotecnologia-en-el-futuro-del-automovil.html>
5. Cambridge Making Carbon Nanotubes Ribbons, <http://nextbigfuture.com/2009/01/cambridge-making-carbon-nanotubes.html>
6. Carbon nanotube polymer stronger, <http://nextbigfuture.com/2010/12/carbon-nanotube-polymer-stronger-than.html>
7. Nanotech Hits the Roads, <http://radio-weblogs.com/0105910/2004/08/04.html>
8. Internet Electronic Journal, Nanociencia et Moletrónica, Noviembre 2007, Vol. 5, [http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx/5nr2/11EspanaNanotecnologia korrigiert bis 1111.pdf](http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx/5nr2/11EspanaNanotecnologia%20korrigiert%20bis%201111.pdf)
9. Get smart, New technology bringing new standards to measuring bridge conditions, May 01, 2010. [www.betterroads.com/road-science/](http://www.betterroads.com/road-science/)
10. Better Roads, Small Science Will Bring Big Changes To Roads.
11. Nanotecnología y nuevos materiales, materiales que cambiarán la calidad de vida en el futuro. <http://www.accionainfraestructuras.es/innovacion/nanotecnologia.aspx>
12. La revolución de la nanotecnología en la construcción <http://www.construcgeek.com/blog/nanotecnologia-en-la-construccion#ixzz1EhVuLxEI>
13. A self-sensing carbon nanotube/cement composite for traffic monitoring, <http://iopscience.iop.org/0957-4484/20/44/445501/>
14. Pavimentando el camino hacia la Nanotecnología, <http://www.turboroof.com/descarga/zycosoil-asfaltos.pdf>
15. Nanotecnología en España- Colecciones mi+d, <http://t3innovacion.larioja.org/uploads/media/MadridNanotecnologia.pdf>
16. Nanotecnología y su potencial aplicación en suelos, <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/11AM26.htm>

## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

### Coordinador General:

Ing. Luis Guillermo Loría, PhD.

### Subcoordinador:

Ing. Fabián Elizondo, MBA.

### Unidades:

#### Unidad de Auditoría Técnica

Coordinadora: Ing. Jenny Chaverri, MScE.

#### Unidad de Investigación

Coordinador: Ing. Fabián Elizondo, MBA.

#### Unidad de Evaluación de la Red Vial

Coordinador: Ing. Roy Barrantes

#### Unidad de Gestión Municipal

Coordinador: Ing. Jaime Allen, MSc.

#### Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica

Coordinadora: Licda. Irene Matamoros

#### Unidad de Desarrollo de Especificaciones Técnicas

Coordinador: Ing. Jorge Arturo Castro

#### Unidad de Puentes

Coordinador: Ing. Rolando Castillo, PhD.

Ing. Guillermo Santana, PhD.