

# **Nanotecnología aplicada en hormigones para túneles**

**Dr. Ing. Luis Fernandez Luco**  
**INTECIN – LAME – Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de Buenos Aires**

## ¿Cuándo nace la nanotecnología?

Richard P. Feinman, en una conferencia dictada en el ITCal en 1959 manifestó que **la revolución industrial del futuro iba a estar encabezada por la nanotecnología**

## ¿ A qué llamamos “nanotecnología”??

Según Kim Eric Drexler, en sentido estricto es **“el control de la materia basado en la manipulación, molécula por molécula, de productos y subproductos por medio de sistemas de alta precisión, así como productos y procesos de manufactura molecular”**

En un sentido amplio, se identifica a la nanotecnología como

La Iniciativa Nanotecnológica Nacional (EEUU), define a la nanotecnología como **“la manipulación de la materia con al menos una dimensión del tamaño de entre 1 a 100 nanómetros”**

Nano es un prefijo griego que indica una medida ( $10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$ ), no un objeto; de manera que la nanotecnología se caracteriza por ser un campo esencialmente multidisciplinar, y cohesionado exclusivamente por la escala de la materia con la que trabaja

# ¿Habrá entonces “nano... casi de todo”?

- Nano-electrónica
  - Transistores en la nano escala, donde los efectos cuánticos no son despreciables. Mayor eficiencia y bajo consumo energético
- Nano-electricidad
  - Generación limpia de hidrógeno por acciones biológicas, de bajo impacto. “Pilas biológicas sin metales”
- Nano-biología
  - Comprensión de la vida a una escala apenas superior al tamaño de moléculas
- Nano-óptica
  - Comprensión de la interacción luz-materia en una escala inferior o comparable al límite de difracción clásico

En el ámbito de la construcción civil y de túneles en particular, resulta poco viable la definición de Drexler (manipulación molécula a molécula).

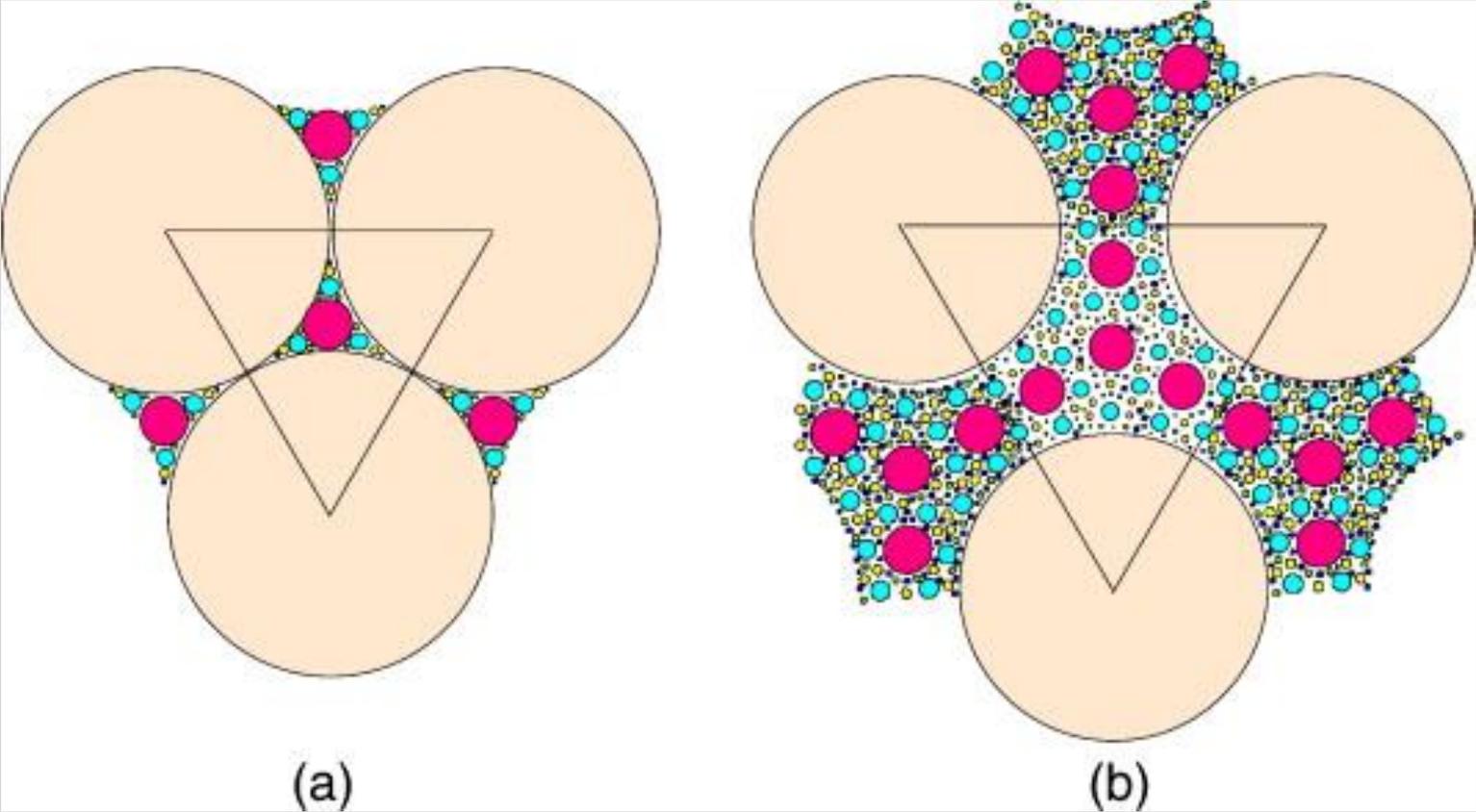


Nos referiremos al uso de partículas pequeñas (**nano y micro partículas**), en una acepción general del término “nanotecnología”

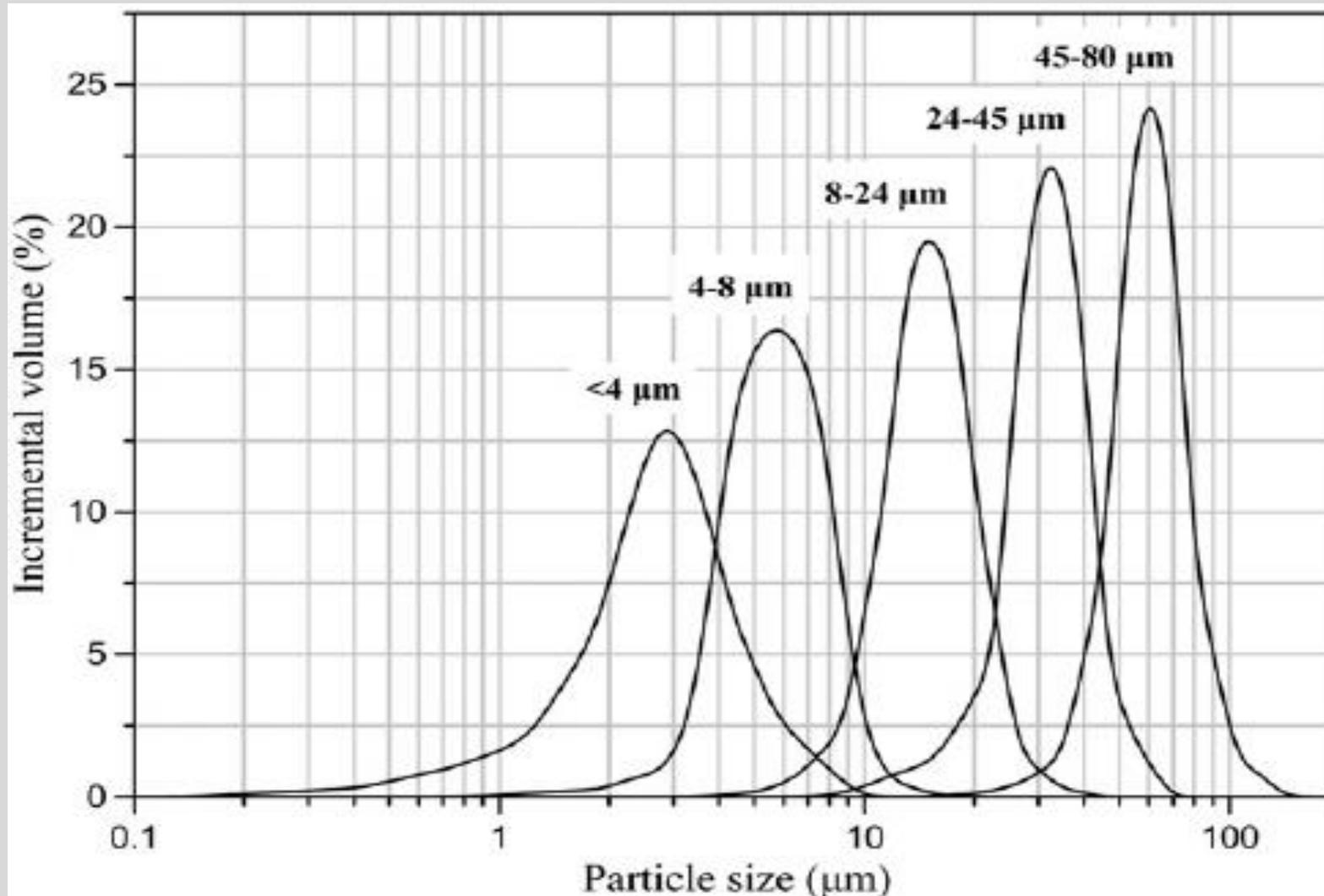
### **¿por qué incluimos ahora a las micropartículas?**

Porque aparece un efecto que se conoce como “**densidad de empaque granular**” o “**densidad de empaque**” (packing density) que se optimiza cuando mezclamos partículas de tamaños diferentes.

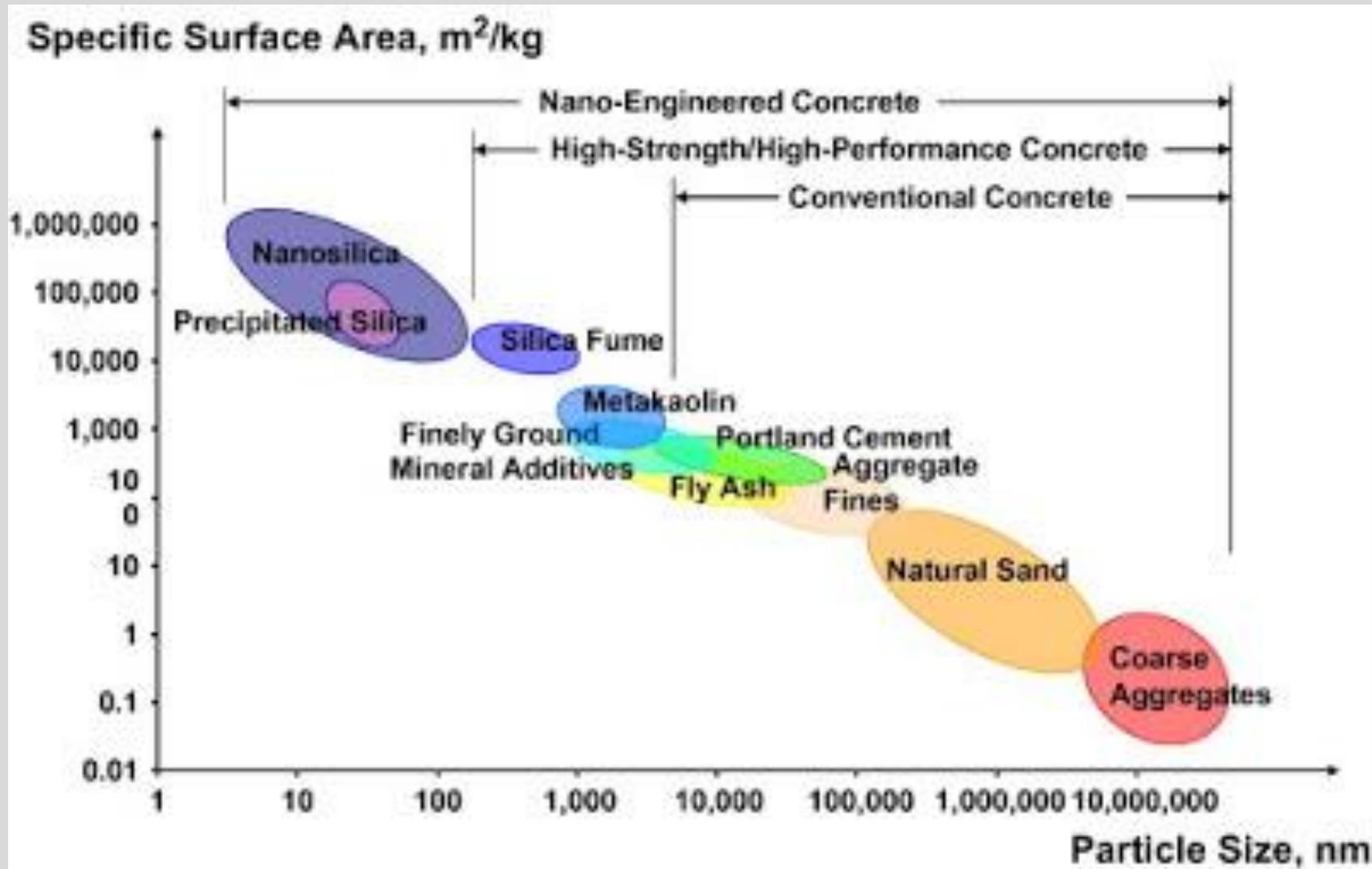
# Densidad de empaque – Efecto de adición de finos



# Distribuciones discontinuas que optimizan la densidad de empaque



# ¿Qué tal si revisamos las escalas de tamaño involucradas en un hormigón estructural?



# ¿Qué aspectos del hormigón se pueden mejorar (optimizar) por medio de la nanotecnología?

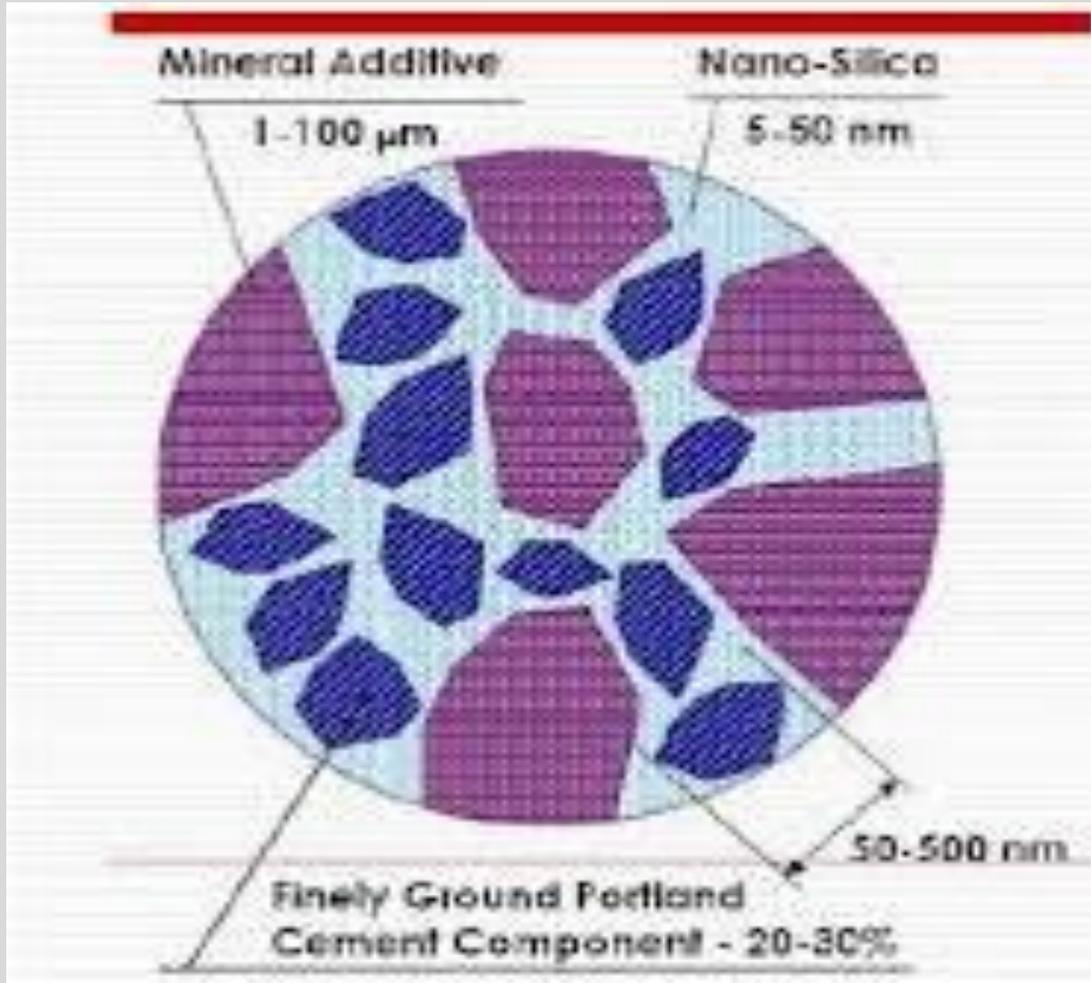
- Materiales componentes del hormigón 
  - Cementos / nanocementos
  - Aditivos / nanoaditivos
- Propiedades mecánicas 
  - Tracción
  - Tenacidad
  - Cambios morfológicos
  - Micro / nanorefuerzos
- Durabilidad 
  - Reducción de la capacidad de transporte (impermeabilidad)
- Mantenimiento 
  - Materiales autoreparables
  - Materiales autolimpiantes

# Nanocementos

- Elaborados a partir de nanoclinker
- Obtenidos por molienda selectiva de Clinker en medio líquido (alcohol) con elementos moledores esféricos de óxido de Zirconio pueden obtenerse partículas con tamaño de aprox. 200 – 300 nm. (dos órdenes de magnitud menores que el tamaño medio actual, de 15000 nm).
  - **Se reduce la temperatura de clinkerización (caso 200°C)**
  - **Mayor reactividad**
  - **Menor espesor de la zona interfacial**

**MAYOR EFICACIA Y MEJORA DE LA SOSTENIBILIDAD DEL CEMENTO**

# Nanocemento multicomponente



Componentes del nano cemento: puzolanas de elevado grado de finura, cemento portland de mayor grado de finura 50-500nm. en una proporción del 20%-30%, nano sílice. Referencia (Sovolev K. et al.2006)

# Nanoadiciones

- Nanosílice
- Sílice coloidal

**Su acción es compleja**

**Tres acciones principales:**

- Atracción de los materiales hidratados que se depositan en sus superficies actuando como **centros de nucleación**;
- Potentes **Catalizadores de las reacciones de hidratación**;
- **Material Ultra Fino de Relleno** de los nano poros que se forman en la pasta de cemento, reduciéndose la porosidad capilar de la pasta de cemento



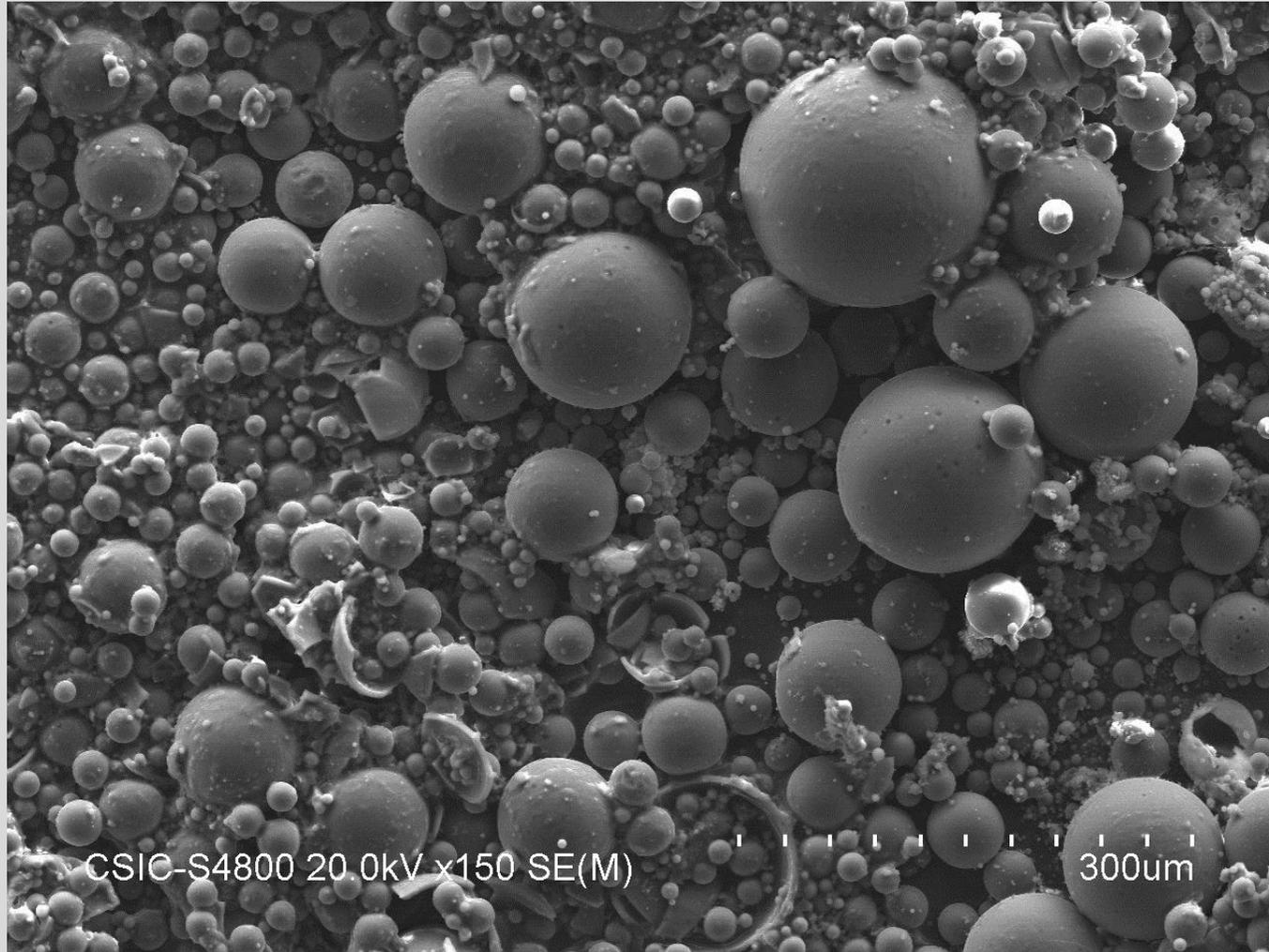


Nanosílice en polvo

Nanosílice coloidal



# Hormigones autoreparables



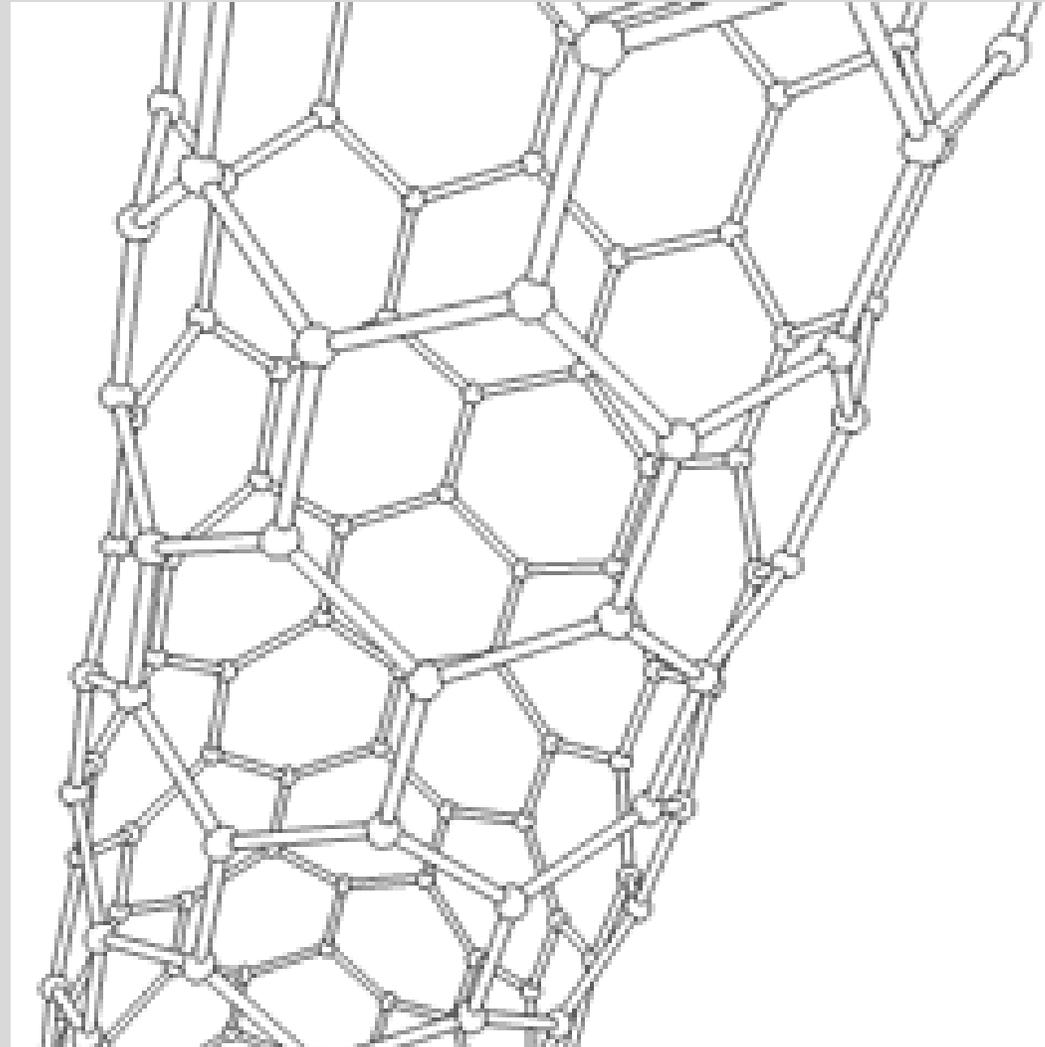
Pequeñas  
cápsulas de  
epoxi que al  
“fisurarse” son  
capaces de  
“reparar” el  
daño

# Hormigones modificados con nanotubos y nanofibras de carbono

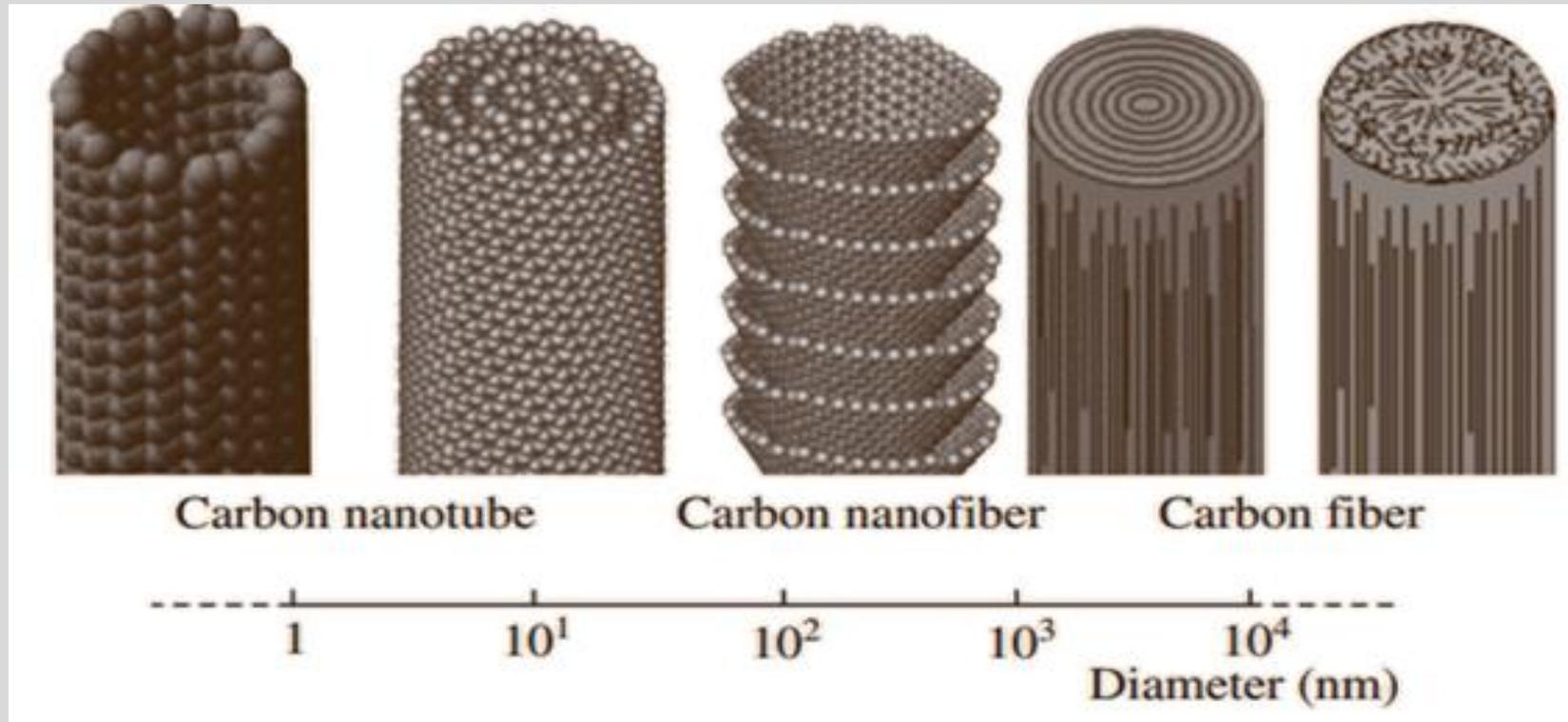
- Nano refuerzo
- Modificación de propiedades eléctricas (Hormigones conductores de la electricidad )
- Mejora de la tenacidad
- Hormigones y morteros que modifican sus propiedades eléctricas con la deformación (autosensing)
- Etc... etc...

**Es esencial la correcta dispersión / alcanzar el límite de percolación**

# Nanotubo de carbono



# Nanotubos y nanofibras de carbono

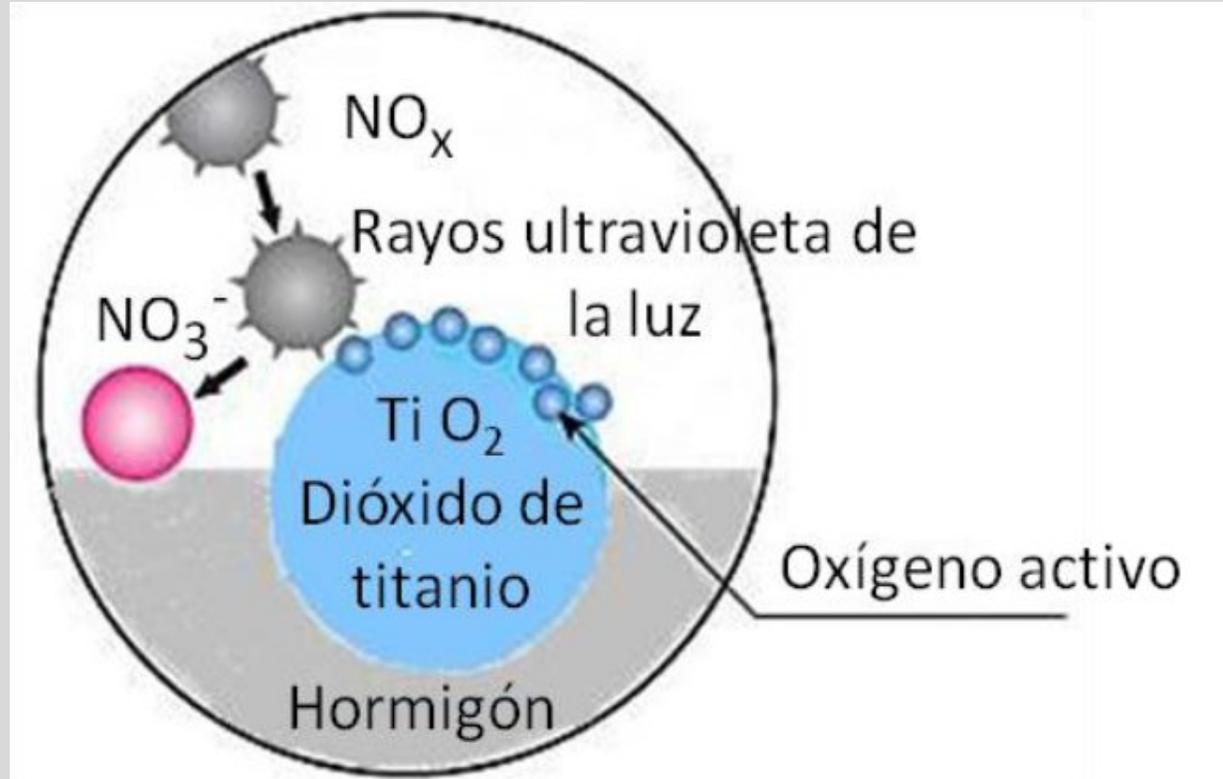


La adición de nanotubos y de nanofibras de carbono convierten los compuestos cementíceos en materiales “inteligentes” capaces de realizar un **auto control en tiempo real (self sensing) del estado tensional y deformacional** de los hormigones sometidos a cargas estáticas, dinámicas y de impacto

# Revestimientos hidrofóbicos



# Revestimientos autolimpiantes fotocatalíticos



**Autolimpieza**

**Mejora de la calidad de aire**

**Reducción de los Nox**

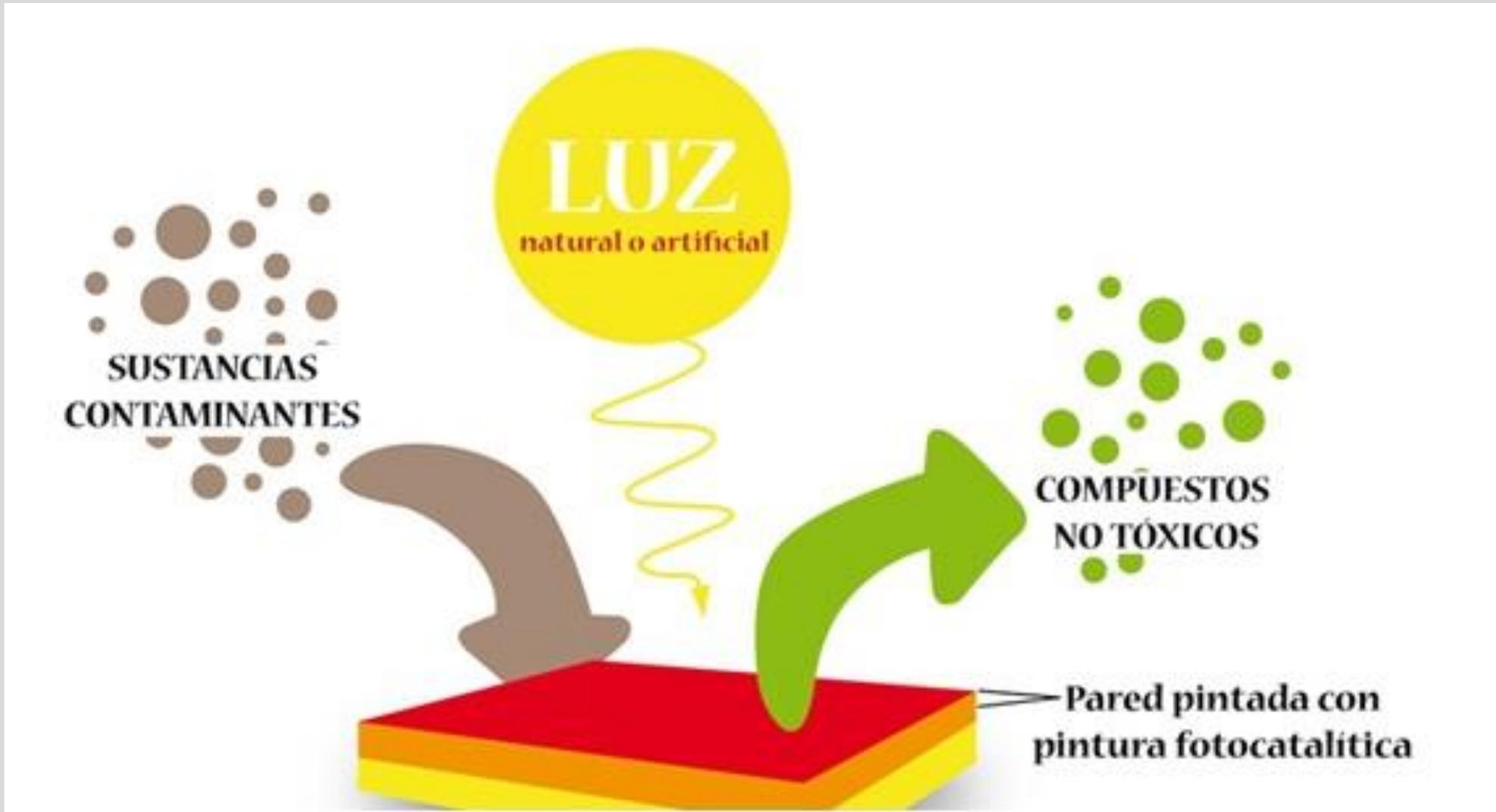
**Mantenimiento de la reflectancia**



**Dives in misericordia**



# Efecto descontaminante de pinturas fotocatalíticas



# Conclusiones

- La era “nano” recién comienza
  - En el presente se dispone (y se emplean) las aplicaciones descritas... pero...
- ¿Podemos imaginar qué aplicaciones se diseñarán en el futuro?

- Aplicaciones genéricas de la tecnología nano... actuales
  - Materiales
  - Sensorización y monitoreo
  - Mantenimiento preventivo
  - Reparación / autoreparación
  - Etc.. Etc.... Etc....

Gracias por su atención