

NANOTECNOLOGÍA

PARTE 1: SOBRE EL CONTEXTO DE LAS DIMENSIONES NANOMÉTRICAS

Por: Rainer Christoph y Romeo Muñoz

Introducción

Una de las dificultades para la comprensión de las nanotecnologías y nanociencias, o mundo nano, es que estas se dedican al estudio y a la ingeniería a una escala de tamaño con la cual estamos poco familiarizados.

Desde épocas muy tempranas de nuestra evolución estamos acostumbrados a que nuestra vida cotidiana se desarrolla dentro de un mundo con escalas entre milímetros y metros. En recientes décadas nos vemos cada vez más confrontados por la necesidad inmediata de extender nuestros pensamientos a otros rangos de dimensión.

Hoy en día tenemos el conocimiento, sustentado por evidencia experimental y modelos matemáticos congruentes, que en nuestro universo coexisten simultáneamente diferentes mundos intercomunicados, que se desarrollan a escalas de tamaño muy diferentes. Para una comprensión integral, holística, del mundo nano, es pertinente ponerlo en contexto con otros mundos que se desarrollan a diferentes escalas de dimensiones. Esta contribución representa un intento para ello.

El nanómetro

Una de las maneras frecuentemente empleadas para explicar la longitud de un nanómetro, es comparar su tamaño en relación con objetos de tamaños con los cuales estamos familiarizados.

Se compara con el diámetro de una naranja ($\sim 10^{-1}$ m), como este con el diámetro del planeta tierra ($\sim 10^7$ m). La relación entre un nanómetro y el tamaño la naranja, es de 1 a 100 millones ($1:100'000'000$ ó $1:10^8$).

Aunque parezca muy pequeño, un nanómetro es una longitud relativamente grande, abarca los diámetros combinados de unos tres átomos (Ver fig. 1).

Por ejemplo, la longitud de un nanómetro (10^{-9} m) una relación de tamaños tan grande como 1:100 millones es

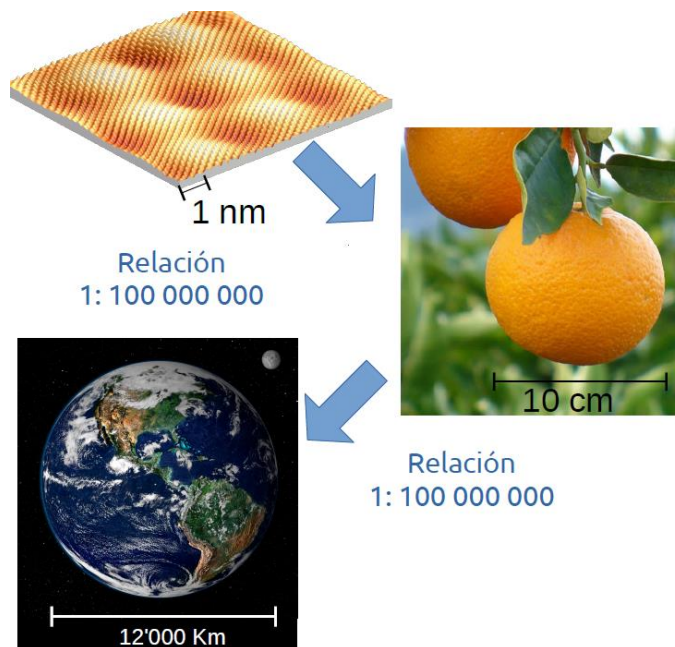


Fig. 1. Ejemplo clásico para visualizar el tamaño de un nanómetro. Arriba: estructura atómica de superficie de grafito (HOPG), medida con resolución sub-nano métrica con microscopía a efecto túnel. La relación de tamaño entre 1 nanómetro y el diámetro de una naranja, es comparable con esta y el diámetro de la tierra.

sin embargo muy común en nuestro universo, tanto en escalas inferiores o superiores a “nuestra” escala. A continuación algunos ejemplos de grandes relaciones de escalas (ver Fig. 2):

Una relación de tamaño similar a 1:100 millones también se encuentra entre

- Los componentes de los núcleos, por ejemplo los quark (~10-18m), y el diámetro de un átomo ($0.3 \cdot 10^{-9}$ m).
- El tamaño de nosotros (~1.7m) y el diámetro del sol (~1.4m).
- El diámetro del sol y la distancia hasta la próxima estrella (~4.2m).
- El diámetro de nuestro sistema planetario interno (1012m) y el diámetro mayor de la vía láctea, nuestra galaxia (~1021m), la cual está compuesta por aproximadamente 100 millones de estrellas.

El hecho que relaciones de tamaño tan grandes como 100 millones de veces se observan en varias manifestaciones muy diferentes de nuestro universo, no sólo demuestra que este abarca espacios inimaginablemente enormes pero también que a su vez se manifiesta en espacios inimaginablemente pequeños.

Nuestro mundo cotidiano, que se desarrolla en espacios definidos por milímetros hasta metros es por lo tanto una manifestación especial del universo, pero no es la única, este consiste en muchos mundos que se desarrollan simultáneamente a la vez.

A continuación se detallan tres ejemplos de estos mundos.

El ejemplo de la biósfera

La biósfera es la suma de todos los ecosistemas, o el espacio que compartimos todos los seres vivos del planeta, y seguramente uno de los espacios del universo que más repercusión directa tiene en nosotros. Se trata de algo único en nuestro sistema planetario, no se observan otras biósferas en los demás planetas y asteroides, y puede visualizarse como una película con vida, que recubre a la tierra con un grosor muy pequeño comparado con el diámetro de este planeta.

Mientras el grosor de la biósfera abarca sólo unos pocos kilómetros, el diámetro de la tierra mide entre 10 y 12 mil kilómetros. En el ejemplo del planeta reducido al tamaño de una naranja, la biosfera representaría una película de recubrimiento con un grosor en el orden del diámetro de un pelo.

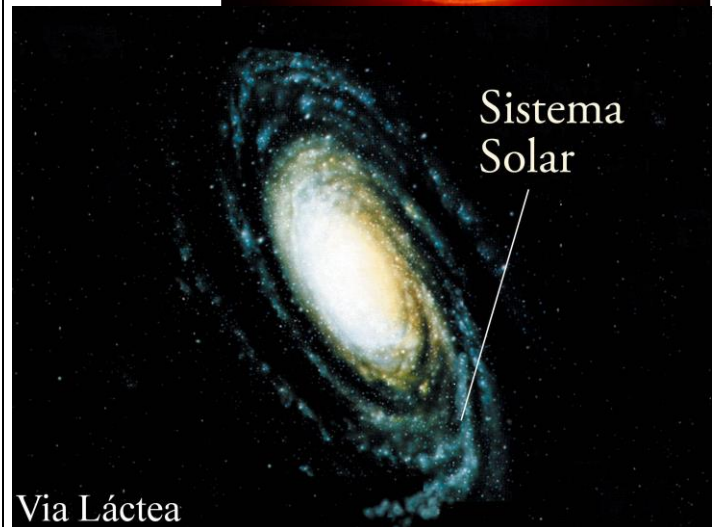
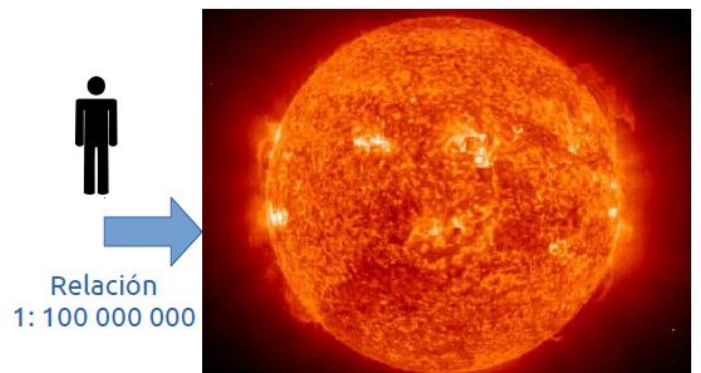
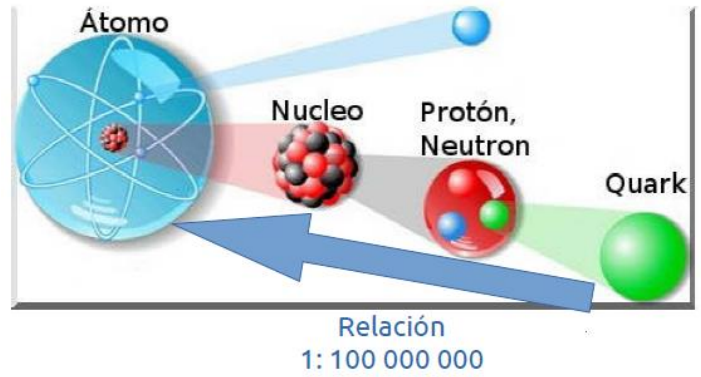


Fig. 2. Ejemplo de algunas relaciones de escala de 1:100 000 000. Arriba: Diferencia de tamaño entre un Quark y un Átomo. Centro: Diferencia entre tamaños de una persona y el sol. Abajo: Relación de tamaño entre el Sistema Solar y la galaxia Vía Láctea. Estos ejemplos nos demuestran que hasta en la partícula más diminuta de polvo existe un gran universo que espera ser descubierto, un universo de escalas nanométricas.

Asumiendo un grosor de biosfera promedio (algo exagerado) de 20 Km, el volumen de la biosfera es sólo una fracción, aproximadamente 0.5 %, del volumen de nuestro planeta. Vista desde esta perspectiva, entendemos que nuestra biosfera se desarrolla en un espacio muy reducido, y nos resulta relativamente fácil comprender que es un mundo sumamente frágil. (Fig. 3).

Sin embargo, la biosfera es a la vez inimaginablemente grande. Abarca prácticamente la totalidad de la superficie terrestre, un área de ~500 millones de kilómetros cuadrados. En ella se encuentran, entre otros, la hidrosfera (unos 1.15 Mio Km³ de agua) y la atmósfera (~ 1.5*10¹⁵ toneladas de aire), así como el *biomantle*, la parte de la litósfera que contiene vida y que se extiende hasta un promedio de unos 6 metros de profundidad.

Se estima que la biósfera en su totalidad está compuesta por un número tan grande como ~1050 átomos individuales, los cuales, sueltos o entrelazados entre sí conforman toda la materia de la biósfera, incluyendo su biomasa, el material constituyente de las células, y a través de estas, el material del cual también estamos formados nosotros. (Fig. 4).

El ejemplo de las células

Todos los seres vivos en nuestra biosfera están constituidos por células. La mayoría de estos microorganismos, con tamaños entre 10 y 100µm (10µm equivalen aproximadamente a 1/10 del grosor de un pelo), viven como unidades individuales, otros están asociados en grandes grupos, conformando los tejidos de los seres pluricelulares.

Para el caso del ser humano, sabemos hoy que su cuerpo está constituido por unos cien mil billones (10¹⁴) de células. Se estima que el 90% de estas células constituyen el microbioma humano, formado por microorganismos unicelulares que a razón de su menor tamaño, que constituyen sólo el 1-3% de la masa corporal. Sólo el 10% restante de células constituyen los tejidos humanos, como la piel, músculos, y los tejidos conectivos y nerviosos. (Fig. 5).

Al contemplar una célula (evidentemente esto no lo logramos ver a simple vista, sino con técnicas de microscopía avanzadas) nos percatamos de que, lejos de ser algo que normalmente podríamos percibir como algo primitivo, se trata de un sistema sumamente complejo, que desarrolla funcionalidades tan diferentes como locomoción, producción de energía, protección y reproducción. (Fig. 6).

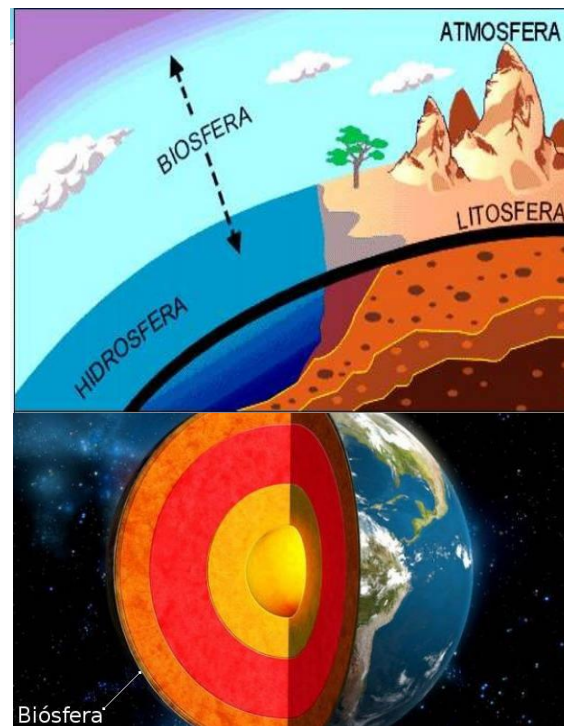


Fig. 3. La biósfera está compuesta por la hidrosfera (Agua), litosfera (Tierra), y atmósfera (Aire); esta constituye la capa más externa de la tierra, y es muy fina comparada con el tamaño total del planeta, es en esta delgada capa donde se desarrolla toda la vida que conocemos, y mucha que desconocemos.

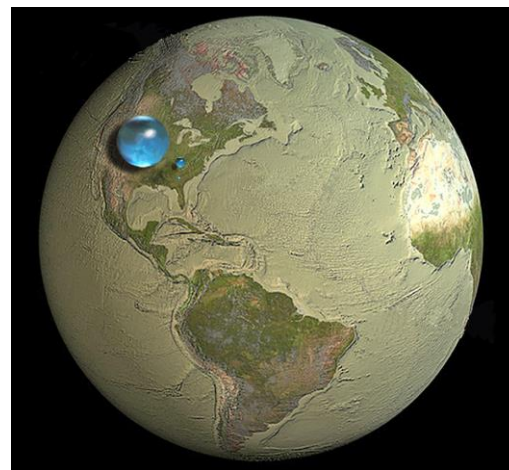


Fig. 4. Ilustración de la cantidad relativa de agua en el planeta tierra. a) Todo el agua del planeta reunido ocupa una esfera de aproximadamente 1380 km de diámetro. b) Toda el agua dulce en suelos, lagos, pantanos y ríos, representa en una esfera de 270 kilómetros de diámetro. c) Esfera de 56 km de diámetro, que contiene toda el agua de ríos y lagos del planeta. (Fuente: USGS).

Gran parte de los componentes estructurales, funcionales y comunicativos de los diferentes sistemas de una célula están conformados por moléculas altamente sofisticadas (las biomoléculas) que pueden abarcar miles, pero también miles de millones, de átomos.

Es curioso percatarse que sólo a muy poca distancia de nuestra percepción óptica que se, limitada a unos 0.1 milímetros de resolución, exista un mundo tan inimaginablemente grande y complejo como el de los microorganismos.

El ejemplo de los átomos

Cada átomo puede ser considerado como un mundo aparte, creado por una fascinante historia.

Algunos átomos como el hidrógeno y el helio (que juntos constituyen aprox. el 98% de todos los átomos del universo) fueron creados en épocas ya muy tempranas de nuestro universo, cuando el descenso de la temperatura permitió la formación de los primeros núcleos constituidos por protones y neutrones, seguida por la aglomeración de electrones alrededor de ellos.

Los demás átomos, de elementos más pesados, nacieron mucho después, unos en el interior de enormes estrellas prehistóricas (el caso para átomos hasta el peso molecular del hierro), o fueron creados mediante enormes explosiones, las supernovas. (Fig. 7).

La estructura de un átomo es extremadamente compleja. Alrededor del 99.9% del volumen total está ocupado por electrones, partículas fundamentales con un tamaño (clásico) de aprox. 10⁻¹⁵ metros, se descubrieron recién en 1896 - hace sólo unos 120 años. Hoy usamos electrones a diario, en todo componente eléctrico o electrónico.

Entendemos la estructura electrónica de los átomos a través de la mecánica cuántica, una disciplina de la física creada hace menos de 100 años, que nos permite calcular posicionamiento y energía de los electrones en función del tiempo, y que ha sido fundamental para llevar a cabo desarrollos tan importantes como la microelectrónica y óptica moderna, entre otros.

El núcleo de los átomos, constituido por protones y neutrones, abarca sólo 1/10 000 parte del volumen del átomo, pero contiene prácticamente toda la masa de este.

Protones y neutrones a su vez contienen partículas de un tamaño 10 000 veces menor: los quark. Estas partículas fundamentales, con dimensiones de aprox. 10⁻¹⁸m, viajan dentro de protones y neutrones a velocidades muy

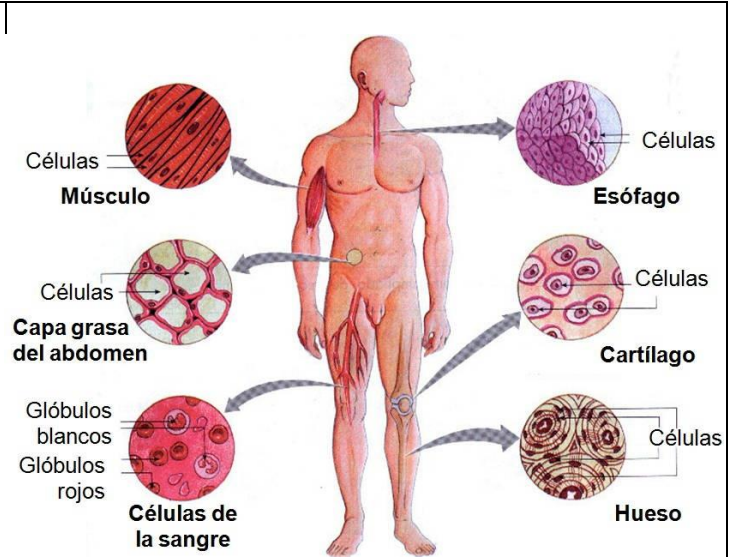


Fig. 5. El cuerpo humano está construido por distintos tipos de células propias que conforman los tejidos, y microorganismos externos necesarios para su supervivencia. Estos últimos son organismos unicelulares que conforman el 90% de la variedad de células distintas del cuerpo, aunque, por su menor tamaño solo representan de 1% a 3% de la masa corporal total.

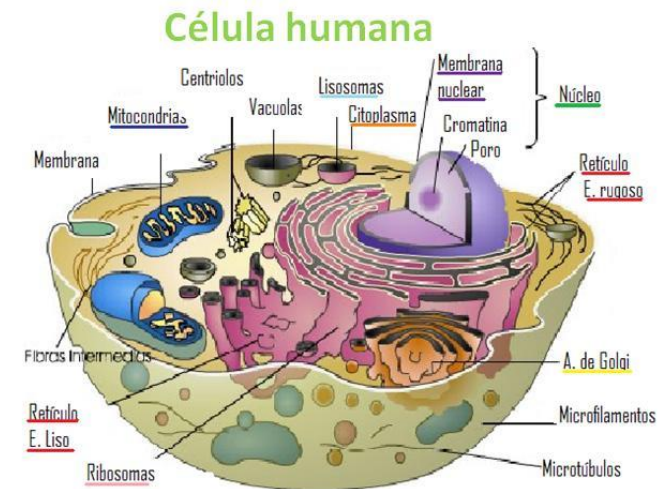


Fig. 6. Las células que componen el cuerpo humano son organismos realmente complejos, los cuales poseen sus propios órganos, consumen energía, realizan una función y producen desechos, podemos comparar a todas las células del cuerpo humano con los habitantes de una ciudad en la cual se alimentan, realizan un trabajo y generan desechos que luego otros trabajadores se encargan de procesar.

cercanas a la velocidad de la luz.

La energía que impide que los quark se salgan de su confinamiento radica en la presencia de otras partículas fundamentales, denominadas gluones.

(Fig. 8)

Resumen

El mundo de las nanotecnologías y nanociencias, se desarrolla dentro de un rango de espacio muy limitado – en el cual por lo menos una de sus dimensiones abarca el orden de 1 a 100 nanómetros.

Sin embargo, este mundo nano es enorme, si tomamos en consideración el tamaño de los átomos que lo conforman. Una nanopartícula, del diámetro de 50 nm puede contener unos 15 millones de átomos individuales.

Este hecho, junto con nuestra capacidad recientemente adquirida de construir objetos mediante el alineamiento controlado de átomos individuales, abre un enorme potencial para el desarrollo de nuevos materiales con propiedades inéditas, así como la construcción de objetos con un grado de complejidad jamás visto.

Para visualizar este último punto en el contexto de objetos con los cuales estamos familiarizados, habría que imaginarse todo lo que arquitectos o ingenieros podrían construir con 15 millones de ladrillos, o piezas de construcción individuales.



Fig. 10. Imágen de edificio "Kontor", Alemania, construido con aprox. 5 millones de ladrillos, da una idea de la complejidad de los objetos que se pueden construir con millones de elementos individuales.

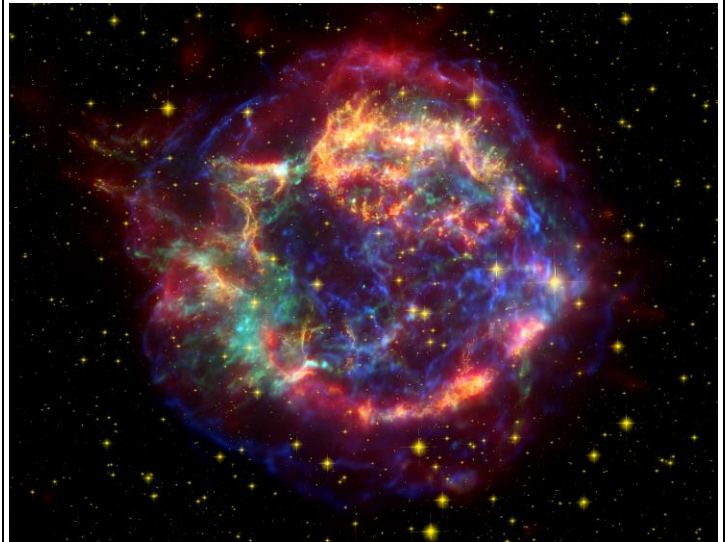


Fig. 7. Casiopeia A, uno de los remanentes de supernova mejor estudiados, ubicados a 11 000 años Luz (1017 km) en la constelación Casiopeia. Los elementos pesados ($>Fe$) se forman durante el proceso de estas enormes explosiones.

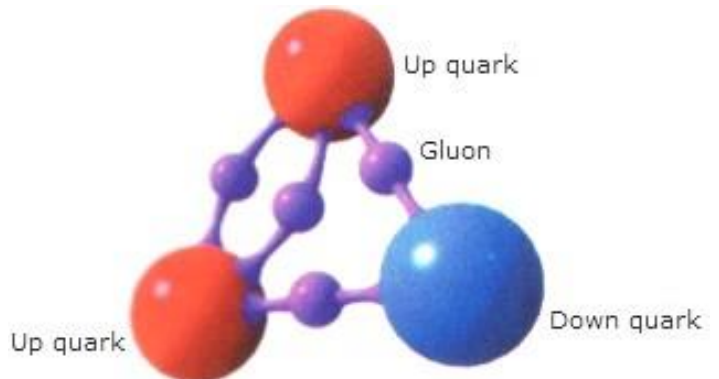


Fig. 8. La teoría que postula la existencia de los gluones y describe su dinámica se denomina cromodinámica cuántica. El nombre hace alusión a "pegamento" (glue), ya que estas partículas son las que "unen" los quarks dentro de los nucleones.

Existen asimismo 8 tipos de gluones, siendo cada uno de ellos una combinación color-anticolor. Los quarks y los gluones forman partículas compuestas con carga de color total neutra es decir blanca.

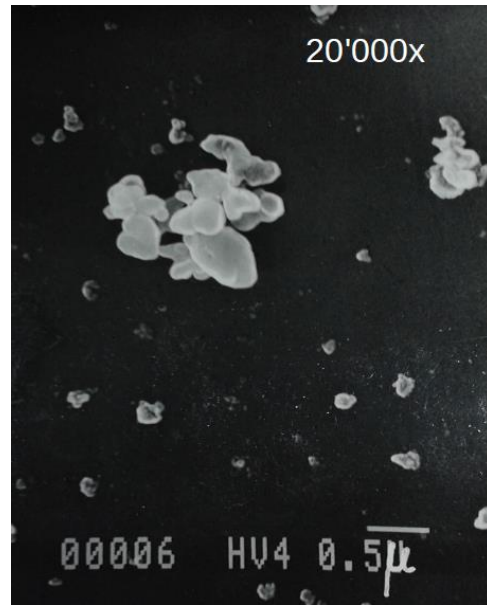


Fig. 10. Imagen de nanopartículas de plata formadas electroquímicamente, tomada con microscopio electrónico de rastreo. Una nanopartícula con dimensiones de 100 nm, como la marcada por la flecha, contiene aproximadamente 15 millones de átomos. Fuente: Tesis R. Christoph, 1983.

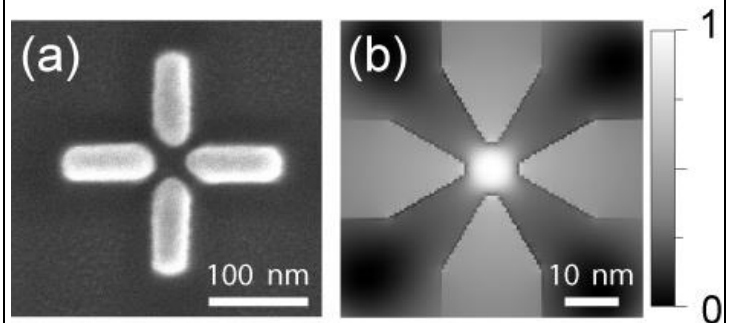


Fig. 11. Ejemplo de objeto nano-estructurado, cuya parte funcional está compuesta por aproximadamente 1000 átomos. Imagen SEM de nano-antenas de tipo Bowtie, cuyo tamaño es aproximadamente 400 veces menor que el diámetro de un pelo. Aplicaciones para este tipo de estructuras se encuentran en campos que exigen altas concentraciones de luz en espacios de dimensiones nanométricas, por ejemplo microscopías ópticas con resolución molecular, foto-polimerización de moléculas individuales, biología y nano-medicina.