

# **NANOTECNOLOXÍA: O MUNDO MÁIS ALÓ DOS LÍMITES MICROSCÓPICOS**

**JOSÉ RIVAS REY**

## **Apertura do curso académico da Real Academia Galega de Ciencias RAGC 2024. Santiago de Compostela, 31 de xaneiro de 2024**

Boas Tardes. Sr. Presidente da RAGC, Sra. Alcadesa do Concello de Santiago de Compostela, Sr. Conselleiro de Sanidade, Sra. Presidenta do Consello da Cultura Galega, Sr. Reitor da Universidade da Coruña, Sra. Vicerreitora de Política Científica da Universidade de Santiago de Compostela, Sra. Directora da Axencia Galega de Innovación, autoridades, académicas e académicos, amigos e amigas, moitas grazas pola vosa presenza.

Permítanme comezar o meu discurso cunhas palabras de agradecemento á Academia por darme a oportunidade e honra de pronunciar hoxe, nun día tan especial, a conferencia inaugural do curso da Academia.

### **RESUMO**

A nanociencia e a nanotecnoloxía son disciplinas científicas que investigan e manipulan a materia a unha escala extremadamente pequena: a escala nanométrica, que é mil millóns de veces máis pequena que un metro. A esta escala, as propiedades da materia difiren significativamente das súas contrapartes a maior escala, ofrecendo así a oportunidade de deseñar e controlar materiais con propiedades únicas e revolucionarias.

Esta lección examina o desenvolvemento e o progreso da nanociencia e da nanotecnoloxía dende os seus inicios ata a actualidade, centrándose na manipulación e comprensión da materia a nivel molecular. A nanociencia atópase na intersección da ciencia e da enxeñaría convencionais coa mecánica cuántica e os procesos fundamentais da vida. Por outra banda, a nanotecnoloxía céntrase na aplicación deste coñecemento para crear materiais, máquinas e dispositivos que transformarán a nosa forma de vivir e traballar.

As partes posteriores desta lección mostrarán exemplos do desenvolvemento de materiais intelixentes, sensores, aplicacións biolóxicas e biomédicas, así como tecnoloxías electrónicas avanzadas. Tamén se presentarán destacadas aplicacións empresariais que confirman a relación entre a nanotecnoloxía e a sociedade.

Non obstante, a pesar dos notables avances realizados, a nanociencia e a nanotecnoloxía suscitan retos éticos e preocupacións sobre o seu impacto na saúde humana e no medio ambiente. Por iso, é fundamental non esquecer estes aspectos mentres exploramos as grandes posibilidades que estas disciplinas ofrecen para transformar o noso mundo de maneiras inimaxinables. Nesta emocionante viaxe ao infinitesimal, a nanociencia e a nanotecnoloxía xorden como ferramentas clave para impulsar a innovación e dar forma ao futuro da tecnoloxía e da ciencia.

En resumo, esta lección ofrece información sobre como a nanociencia e a nanotecnoloxía están a superar os límites microscópicos, abrindo novas oportunidades na ciencia e a tecnoloxía do século XXI.

## O MUNDO A NANOESCALA

A nanotecnoloxía é unha verdadeira revolución científica e tecnolóxica debido á súa pequena escala operativa, medida en nanómetros, que corresponde á milmillonésima parte dun metro. Esta disciplina innovadora lémbra-nos as famosas palabras de Neil Armstrong cando deu os seus primeiros pasos na Lúa en 1969: "Un pequeno paso para o home, un salto de xigante para a humanidade". En esencia, a nanotecnoloxía tradúcese na capacidade de manipular e controlar a materia a escala nanométrica, o que supón un avance xigantesco no panorama científico e tecnolóxico actual.

A nanociencia explora os principios que rexen as moléculas e estruturas no rango de tamaño de 1 a 100 nanómetros, coñecidas como nanoestruturas. Por outra banda, a nanotecnoloxía ocúpase de aplicar estas nanoestruturas na fabricación de dispositivos a nanoescala. Non obstante, o verdadeiramente revolucionario neste campo é que a nanoescala non é simplemente "pequena", senón que abre a porta a un mundo extraordinario de "pequenez".

A esta escala, as propiedades dos materiais están nun punto de converxencia entre as propiedades macroscópicas coñecidas, como a condutividade eléctrica e a dureza, e os enigmas inherentes ao mundo atómico e molecular, como a dualidade onda-corpúsculo e a mecánica cuántica. Un exemplo concreto é que as leis eléctricas clásicas, como a lei de Ohm, non necesariamente se aplican directamente aos compoñentes a nanoescala.

O nanómetro é o punto onde os pequenos dispositivos creados pola enxeñería humana se atopan coas moléculas máis grandes que caracterizan a bioloxía. A nanociencia afonda neste termo medio, explorando as propiedades emerxentes que se manifestan na fronteira entre o atómico e o macroscópico.

A nanotecnoloxía é un campo moi diverso que abrangue unha ampla gama de propiedades, incluíndo aspectos químicos, físicos, cuánticos e mecánicos, todos a escala nanométrica.

### A importancia da nanotecnoloxía

O termo "nano" xurdiu como un concepto con enorme potencial que captou a atención mundial. Este pequeno prefixo desatou todo tipo de especulacións sobre a súa influencia na ciencia, a economía, as relacións internacionais e a nosa vida cotiá. Algúns ven como unha solución universal, mentres que outros ven como unha ameaza potencial, especialmente en contextos como a guerra biolóxica.

A nanotecnoloxía é un sector en constante crecemento que xa abarca un mercado de varios miles de millóns de euros. As empresas de alta tecnoloxía investiron moito en investigación e desenvolvemento de nanodispositivos, e non faltan novas empresas que entraron na escena dos nanodispositivos. A atención mediática é innegable, con múltiples premios e recoñecementos concedidos aos pioneiros da nanoinvestigación.

As innovacións en nanotecnoloxía transformaron os produtos comerciais, pasando de materiais novos e máis eficientes a tratamentos médicos de vangarda. A nanotecnoloxía pasou de ser unha visión futurista a unha realidade presente que está a revolucionar diversos ámbitos da sociedade. Aínda que hai opinións diversas, tanto expertos como críticos coinciden en que a nanotecnoloxía non se limita a pequenos robots e supón un avance significativo no campo da ciencia.

## **A IMPORTANCIA DO TAMAÑO NO MUNDO DA CIENCIA E DA TECNOLOXÍA**

### **O fascinante mundo do pequeno**

Se imaxinamos un cubo de ouro duns 100 centímetros e o dividimos en oito cubos máis pequenos, cada un de 50 centímetros de lado. As propiedades destes cubos máis pequenos son as mesmas que o cubo orixinal: dourados, condutores da electricidade, etc. Ao descompoñerse aínda máis en cubos máis pequenos, chegamos á nanoescala, onde cambian as propiedades dos materiais. A esta escala, a cor, o punto de fusión e as propiedades físicas e químicas son diferentes das propiedades a maior escala.

A nanofabricación é o proceso de reducir o tamaño dun material a nanoescala, e pódese facer de dúas formas: de arriba abaixo, comezando cun material grande e facéndoo máis pequeno, ou de abaixo cara arriba, comezando por átomos individuais e construíndo nanoestruturas. . A nanotecnoloxía non é un campo novo; de feito, utilizábase na antigüidade na creación de vidreiras e esmaltes cerámicos.

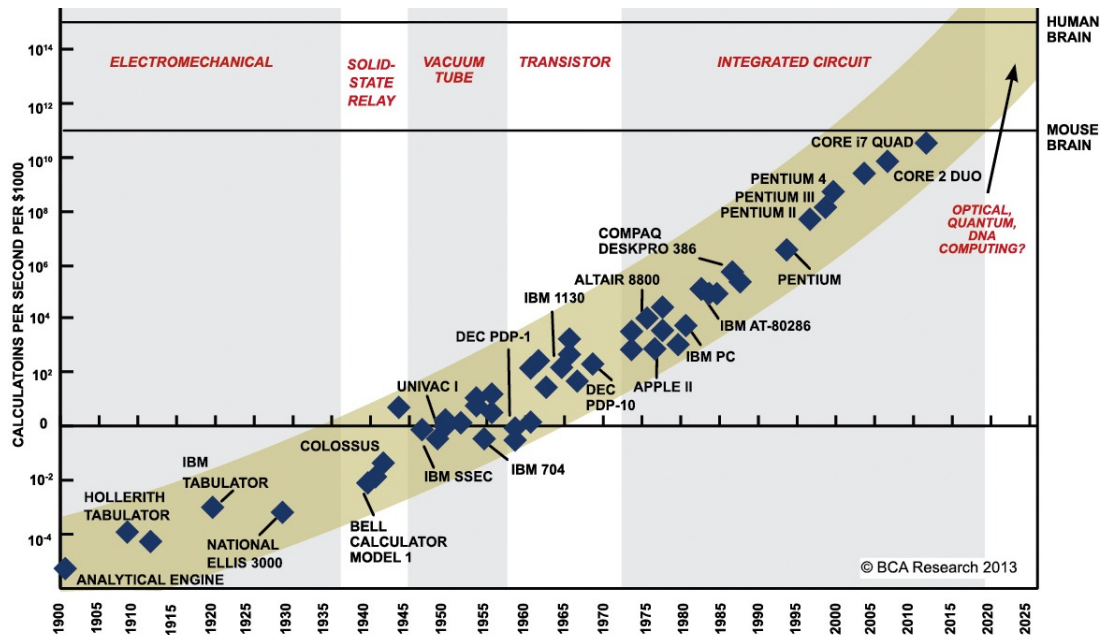
Na nanoescala, as propiedades dependentes do tamaño non se manteñen cando volvemos a unha escala maior. Por exemplo, podemos ver unha cor vermella nas nanopartículas de ouro dispersas, pero se as xuntamos, vólvense douradas. Para comprender estes fenómenos, científicos de diversas disciplinas, como químicos, físicos e enxeñeiros, traballan xuntos no campo da nanotecnoloxía. A nanotecnoloxía é interdisciplinar e require coñecementos diversos para desenvolverse, o que provocou unha colaboración multidisciplinar entre científicos e enxeñeiros de todos os sectores en novas instalacións de nanoinvestigación.

### **"A Lei de Moore" e o seu impacto na nanotecnoloxía**

A nanociencia e a nanotecnoloxía levan a explorar un mundo extraordinariamente pequeno e desafiante. Traballar a unha escala nanométrica infinitesimalmente pequena non é tarefa fácil.

Dende unha perspectiva científica, comprender a nanoescala é esencial para desvelar a estrutura da materia e como as propiedades dos materiais reflicten a súa composición atómica, formas e tamaños. Desde a perspectiva tecnolóxica, as propiedades únicas a esta escala ofrecen oportunidades increíbles que doutro xeito serían inalcanzables.

Un fito tecnolóxico notable do século XX foi a electrónica de silicio, que deu lugar ao microchip e ás súas revolucionarias aplicacións en informática, comunicacións, electrónica de consumo e medicina. Despois de máis de 50 anos, Gordon Moore, cofundador de Intel Corporation, escribiu un artigo para a revista Electronics en 1965 no que predicía que o número de transistores nun microchip duplicaríase aproximadamente cada dous anos. Moore deuse conta de que a miniaturización dos transistores permitiría un maior número de transistores nun só chip, o que á súa vez aumentaría a potencia de procesamento dos ordenadores.



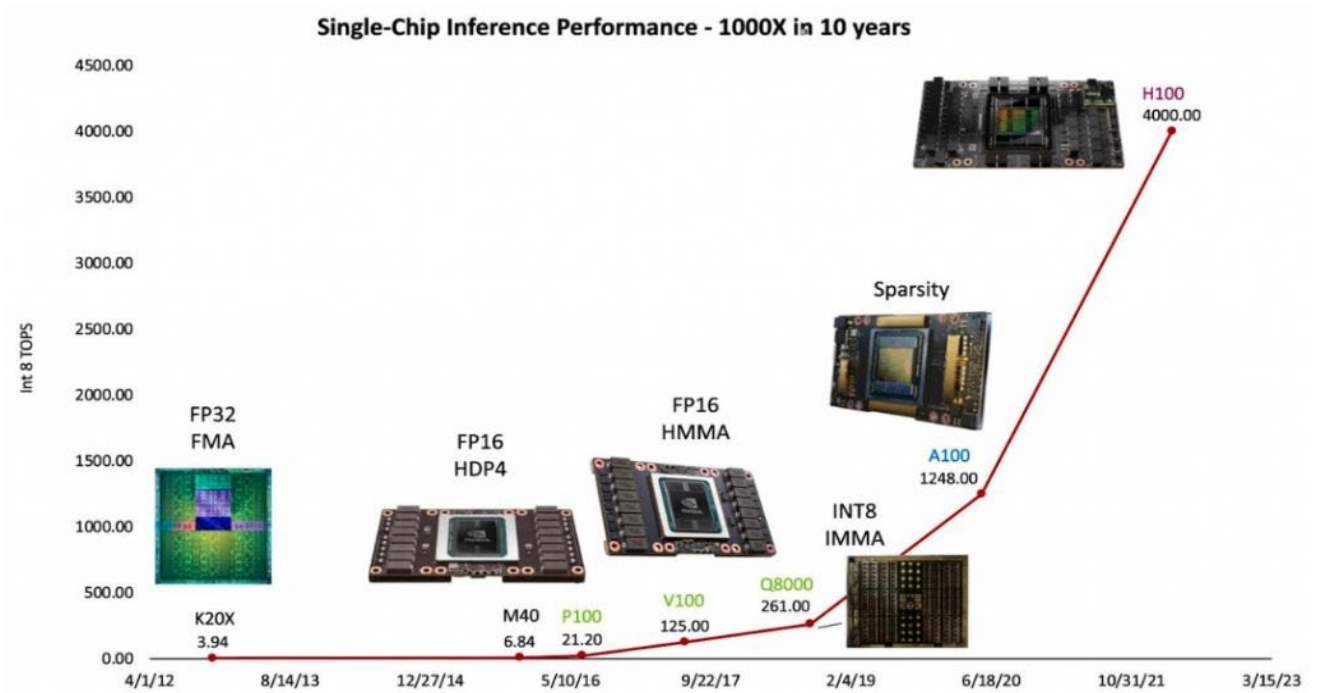
Fonte: Ray Kurzweil, "A singularity near: When humans transcend Biology", p. 67, The Viking Press, 2006. Os datos entre 2000 e 2012 representan instimacións da BCA

A Lei de Moore mantivo a súa precisión ao longo dos anos, aínda que algúns expertos auguraron que podería alcanzar os seus límites debido ás restricións á miniaturización dos compoñentes electrónicos. Porén, a súa influencia na tecnoloxía dixital foi profunda, impulsando o aumento exponencial da potencia de procesamento dos ordenadores e a creación de dispositivos avanzados como ordenadores persoais e dispositivos móbiles.

Como exemplo do impacto podemos citar a rápida evolución dos teléfonos móbiles que seguiu a Lei de Moore, cunha mellora constante na potencia de procesamento. As esixencias da Lei de Moore tamén lle permitiron prever a creación de novos produtos e servizos, como os servizos na nube que permiten o acceso a datos e aplicacións a través de Internet. Tamén impulsou o desenvolvemento de aplicacións da intelixencia artificial, como asistentes de voz e chatbots, cun impacto significativo na economía global e na creación de emprego en todo o mundo.

Non obstante, a Lei de Moore tamén tivo efectos negativos sobre o medio ambiente debido á constante actualización dos dispositivos e á rápida obsolescencia dos produtos electrónicos, o que provocou a acumulación de residuos electrónicos mal xestionados e problemas ambientais e de saúde pública.

En definitiva, a pesar das súas inexactitudes, a Lei de Moore tivo unha influencia crucial no desenvolvemento da tecnoloxía dixital, impulsando avances na potencia de procesamento e tendo un impacto significativo na economía global. Recentemente, xurdiu a "Lei de Huang" porque a "Lei de Moore" xa non reflicte adecuadamente o rápido avance das GPU, especialmente na intelixencia artificial. Esta nova lei, que leva o nome de Jensen Huang de NVIDIA, foi formulada en 2018 por Tekla S. Perry de IEEE Spectrum tras unha conferencia de Jensen Huang. Foi creado debido á desaceleración da redución da litografía a medida que os fabricantes de semicondutores se achegan aos límites físicos do silicio, esenciais para os principios de Gordon Moore. "A Lei de Huang" describe o progreso acelerado das unidades de procesamento gráfico, especialmente en intelixencia artificial, superando con creces a "Lei de Moore" como referencia para medir esta velocidade de desenvolvemento. Entre 2012 e 2022, o rendemento dos chips NVIDIA para intelixencia artificial aumentou un factor de 1.000.



¿La “ley de Huang” reemplazó de la “ley de Moore”? Editor PDM. 5 de octubre de 2023

<https://pdm.com.co/la-ley-de-huang-reemplazo-de-la-ley-de-moore/>

É fundamental destacar que o avance dos procesos litográficos non é a única explicación desta aceleración. Bill Dally, alto executivo de NVIDIA, destacou recentemente (setembro de 2023) nunha conferencia a importancia crucial da innovación microarquitectónica para impulsar os avances das GPU para a intelixencia artificial. Xa non abonda con depender só da mellora da litografía e da calidade dos transistores; a arquitectura do chip debe ser perfeccionada ou se estancará.

Non obstante, Dally é cauteloso e non garante que a capacidade da GPU volva aumentar 1.000 veces antes de 2032. É importante lembrar que nin a "Lei de Huang" nin a "Lei de Moore" son realmente leis, senón predicións razoables e fiables que nos permitan ter boas follas de ruta para o desenvolvemento destes dispositivos,

## FERRAMENTAS AVANZADAS PARA A MEDICIÓN E FABRICACIÓN DE NANOESTRUTURAS

O premio Nobel de Física (1965), Richard Feynman, foi o primeiro en referirse ás posibilidades da nanociencia e da nanotecnoloxía no famoso discurso que pronunciou en Caltech (California Institute of Technology) o 29 de decembro de 1959 baixo o título “Hai moito sitio ao fondo” que o converteu nunha figura emblemática do século XX e estimulou o interese doutros científicos pola nanotecnoloxía.

Na década de 1980, preguntámonos por que non se avanzou nestes temas antes. A razón era sinxela: Non tiñamos as ferramentas necesarias para traballar a nanoescala e eramos incapaces de manipular e ver átomos e moléculas.

## Medición de nanoestructuras

### Scanning Probe Instruments

As primeiras ferramentas que impulsaron a revolución da nanociencia foron "instrumentos de sondas de varrido". Estes instrumentos inspiráronse na idea desenvolvida nos laboratorios da IBM de Zúric na década de 1980 por Rohrer e Binnig.



*Rohrer e Binnig cun microscopio de efecto túnel (STM)*

En 1981, Heinrich Rohrer e Gerd Benning desenvolveron o microscopio de efecto túnel (STM) nos laboratorios de IBM en Zúric, Suíza, e gañaron o Premio Nobel de Física en 1986. Na microscopía de efecto túnel, mídese a corrente eléctrica entre a punta de varrido e a superficie, o que permite avaliar a xeometría local ou as características da condución eléctrica. A partir dese momento, os científicos contaron coas primeiras ferramentas para observar, medir e manipular a materia a nivel nanométrico.

### A espectroscopia

A espectroscopia consiste en iluminar unha mostra con luz dunha determinada frecuencia e estudar como reacciona o material, ben absorbendo ou dispersando a luz, ou outras propiedades. É unha técnica máis antiga e ampla que a microscopía con sonda de varrido e proporciona información adicional valiosa.

### A electroquímica

A electroquímica utilízase na creación e estudo de nanoestructuras. Mide directamente a composición dos átomos na superficie dun material e utiliza técnicas avanzadas, incluídas algunhas cunha sonda de varrido, para construír e analizar nanoestructuras.

## ...e a microscopía electrónica

Mesmo antes de escanear as técnicas de sonda de varrido, xa tiñamos métodos para detectar nanoestruturas individuais. Por exemplo, a microscopía electrónica (TEM) podía mostrar átomos individuais, pero ás veces era necesario manipular as mostras para obter imaxes claras. Non obstante, o TEM só pode revelar a estrutura física e non as forzas, como os campos magnéticos ou eléctricos. A pesar diso, a microscopía electrónica segue sendo moi utilizada para analizar e comprender as nanoestruturas.

## Fabricación de nanoestruturas

A fabricación de nanoestruturas implica a creación de materiais a escala nanométrica, que son dimensións no rango de 1 a 100 nanómetros. Estas nanoestruturas poden ter propiedades únicas e diversas aplicacións en campos como a electrónica, a medicina e a enerxía. A continuación móstranse algunhas técnicas comúns de fabricación de nanoestruturas:



*Técnicas de nanofabricación na sala limpa do INL*

## Litografía a nanoescala

A palabra "litografía" orixinouse na fabricación de obxectos de pedra. Unha litografía é unha imaxe tallada nunha pedra, que se entinta e se prensa sobre papel. Este método utilízase na litografía a pequena escala, como a fabricación de chips de ordenador mediante litografía óptica ou de raios X, onde se crea unha máscara mestra e a luz pasa por ela para producir as estruturas do chip, de forma similar a unha serigrafía.

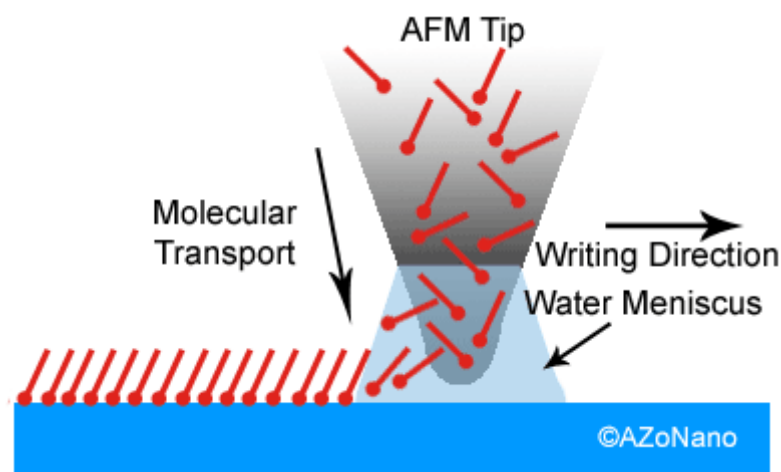
Non obstante, na litografía a nanoescala, a luz visible non é efectiva debido á súa lonxitude de onda. Polo tanto, son necesarios novos enfoques para seguir o ritmo da Lei de Moore a nanoescala.



## Dip Pen Nanolithography

### (Nanolitografía con pluma de inmersión)

A creación de estruturas en superficies semellantes á escritura cunha pluma estilográfica a escala nano conséguese mediante un nanopen. As puntas AFM, ideais para iso, utilízanse na nanolitografía de pluma de inmersión (DPN), que toma o seu nome das plumas de inmersión do século XIX. En DPN, unha "tinta" (átomos ou moléculas) almacénase na punta da sondamóvese sobre a superficie para formar liñas e patróns, seguindo o principio derivado do discurso de Feynman.



*Diagrama esquemático que mostra como funciona a "Dip Pen Nanolithography"*

*Fonte: Dip Pen Nanolithography – A Modern Nanolithographic Technique Combining The Atomic Force Microscope With Old Fashioned Ink Pen Writing*

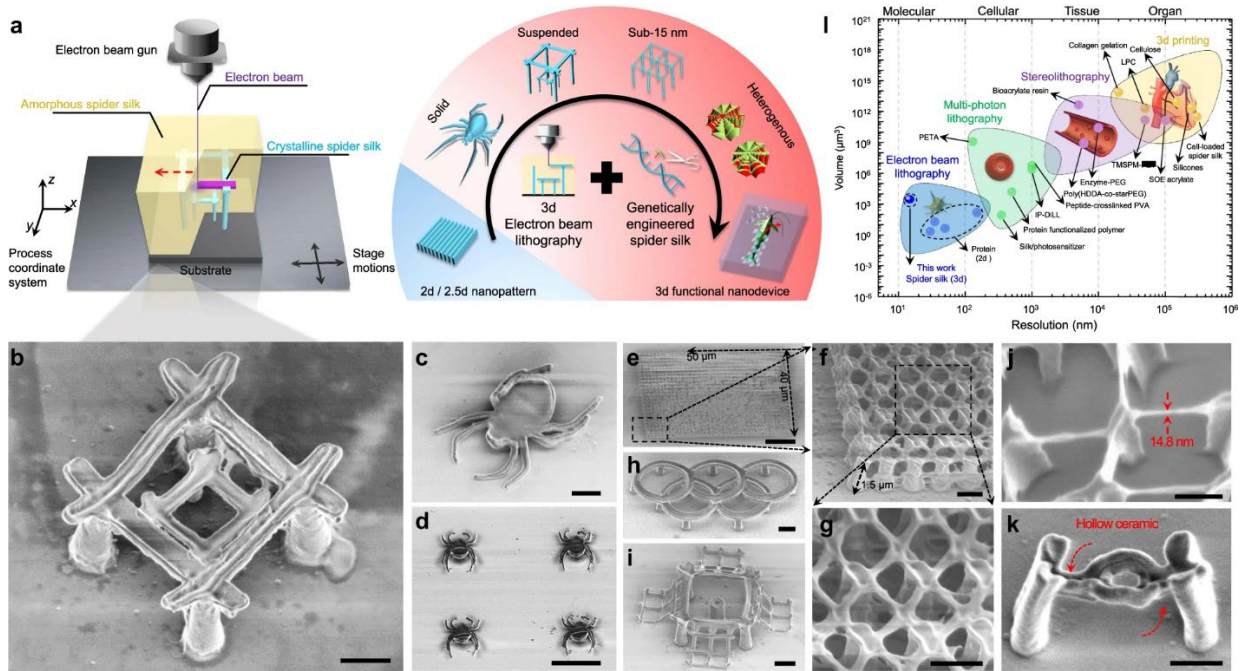
<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1746>

## E-beam Lithography

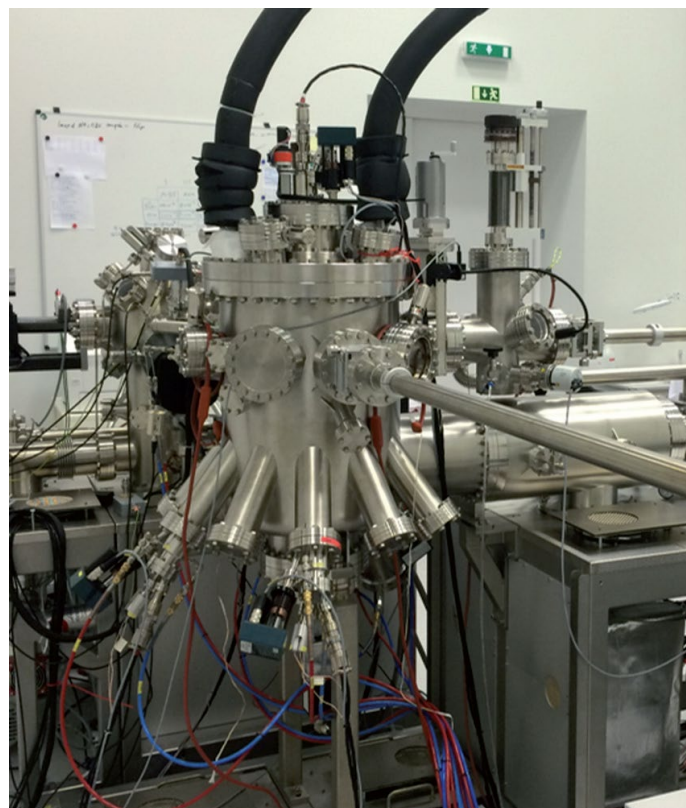
### (Litografía por feixe de electróns (EBL))

A litografía con feixe de electróns é vista como unha solución para manter o progreso tecnolóxico seguindo a Lei de Moore a medida que os compoñentes fanse cada vez máis pequenos. Esta técnica utiliza un feixe de electróns para expor unha película fotosensible e crear patróns a nanoescala na superficie do substrato.





Litografia de feixe de electr3ons tridimensional (EBL 3D) que utiliza prote3nas de seda de aranha recombinantes como material de resistencia. Fonte: 3D electron-beam writing at sub-15 nm resolution using spider silk as a resist; Nature Communications volume 12, Article number: 5133 (2021) : <https://www.nature.com/articles/s41467-021-25470-1>



Omicron EVO 50: Equipo de crecemento epitaxial de feixe molecular (MBE) do INL

### **Deposición física de vapor (PVD)**

Sputtering: utilízase un gas ionizado para liberar átomos ou moléculas dun material fonte (obxectivo) que se deposita sobre un substrato, formando unha capa fina.

### **Deposición química de vapor (CVD)**

CVD térmica: os precursores químicos descompoñen térmicamente para depositar unha fina capa sobre o substrato.

Plasma CVD: utiliza plasma para activar precursores químicos e depositar películas finas con maior precisión e control.

### **Autoensamblaxe**

Autoensamblaxe molecular: baséase na capacidade de certas moléculas de organizarse espontaneamente en patróns específicos, aproveitando as forzas intermoleculares.

### **Litografía de nanoimpresión**

Usa un molde para imprimir patróns nanoestruturados nunha capa fina sobre un substrato, de xeito similar á impresión en relevo.

### **Nanofabricación baseada en técnicas top-down**

Fresado ou gravado nanométrico: Úsase para eliminar material e dar forma a nanoestruturas nun substrato mediante técnicas de gravado.

### **Nanofabricación baseada en técnicas bottom-up**

Síntese química: Permite a autoorganización e o crecemento controlado de nanoestruturas a partir de átomos ou moléculas.

### **Electrospinning**

Utiliza un campo eléctrico para estirar e depositar fibras ultrafinas de polímeros, cerámicas ou metais.

### **Impresión 3D a escala nanométrica**

Utiliza técnicas de impresión 3D para construír estruturas a nanoescala, ofrecendo un enfoque versátil e personalizado.

### **Litografía de nanoimpresión (NIL)**

Usa un molde para presionar un patrón nunha película resistente, transferindo así o patrón ao substrato.

Estas técnicas de fabricación de nanoestruturas, así como outras non abordadas aquí, posibilitan a produción de materiais avanzados con propiedades únicas, promovendo avances significativos en distintos campos tecnolóxicos e científicos.

## **UN GRAN CENTRO INTERNACIONAL DE NANOTECNOLOXÍA**

A nanociencia e a nanotecnoloxía son temas destacados nas institucións de investigación de todo o mundo. En Europa e noutros países establecéronse centros de nanociencia, principalmente en universidades. Aínda que poderíamos escoller entre moitos centros de investigación de todo o mundo, centrarémonos no INL (Laboratorio Internacional Ibérico de Nanotecnoloxía) de Braga, Portugal. Este centro é o primeiro centro de nanotecnoloxía e nanociencia financiado con fondos públicos entre España e Portugal que realmente opera a nivel internacional.

### **The International Iberian Nanotechnology Laboratory – INL**

Na primeira década dos anos 2000 ao 2010, destacou a construción de grandes infraestruturas e alianzas entre estados. O Laboratorio Internacional Ibérico de Nanotecnoloxía (INL) en Braga, do que tiven a honra de ser o primeiro director de 2005 a 2014, é um bo exemplo diso. Establecido no Cume Hispano-Luso de Évora en 2005 por acordo entre os gobernos de Portugal e España, comezou as operacións científicas en 2010.

A infraestrutura do centro ofrece un entorno de investigación de alta tecnoloxía para o persoal e usuarios do INL. Esténdese nunha área de 47.000 m<sup>2</sup>, con 26.000 m<sup>2</sup> de edificacións. Isto inclúe 7.500 m<sup>2</sup> de espazo de laboratorio, con laboratorios de alta precisión, unha sala limpa cunha área de 1.200 m<sup>2</sup>, un auditorio e outras áreas públicas de máis de 4.800 m<sup>2</sup>.

O INL é un centro de excelencia que traballa con instalacións científicas de última xeración en 22.000 metros cadrados construídos. Inclúe unha sala limpa para micro e nanofabricación e laboratorios especializados en microscopía electrónica, sonda local, espectroscopía e caracterización de superficies, así como microfabricación por feixe de ions.

As actividades de Investigación e Tecnoloxía céntranse en seis áreas temáticas: Computación Avanzada e Materiais, Enerxía Limpa, Alimentos para o Futuro, Tecnoloxía Sanitaria Personalizada e Precisa, Nanosistemas Dixitais Intelixentes e Medio Ambiente Sostible. Estas áreas de investigación complétanse entre si e proporcionan unha base para as interaccións interdisciplinares entre os investigadores do INL. O completo laboratorio de nanotecnoloxía permite liderar investigacións do máis alto nivel internacional.

O INL conta cun sistema de xestión da calidade e a súa estratexia implícase cun compromiso coa excelencia operativa e a mellora continua para ofrecer resultados de valor excepcional, reforzando a sustentabilidade do INL mediante a posta en valor do seu coñecemento crítico.



*Corredor interior da sala limpa do INL.*

*Máis detalles: Laboratorio Ibérico Internacional de Nanotecnología (INL).  
La gran ciencia de lo diminuto. José Rivas. Revista Española de Física,  
Vol 34, No 1 , pp 49-56, (2020)*

## OS GRANDES LOGROS DA NANOTECNOLOXÍA

A nanotecnoloxía deu lugar a unha serie de innovacións significativas en diversos campos. Unha das grandes innovacións da nanotecnoloxía é a capacidade de manipular e deseñar materiais a nivel nanométrico, o que provocou avances notables en:

1.- **Electrónica e informática:** A nanotecnoloxía permitiu a creación e integración de transistores e compoñentes electrónicos a escala nanométrica. Isto levou á fabricación de chips máis pequenos e de maior rendemento, contribuíndo ao desenvolvemento de dispositivos electrónicos máis potentes e eficientes, como teléfonos intelixentes, tabletas e ordenadores.

2.- **Medicina e saúde:** a nanotecnoloxía aplicouse na fabricación de nanopartículas e sistemas de administración de fármacos para tratamentos médicos máis precisos e eficaces. Tamén se desenvolveron nanosensores para a detección precoz de enfermidades e nanorobots para a administración de tratamentos no interior do organismo.

3.- **Enerxía:** a nanotecnoloxía impulsou avances na captación e almacenamento de enerxía. Os materiais nanoestruturados utilízanse en baterías máis eficientes e na fabricación de paneis solares altamente eficaces. Ademais, aplicouse a nanotecnoloxía no desenvolvemento de materiais supercondutores e sistemas avanzados de almacenamento de enerxía.

4.- **Materiais avanzados:** Os nanomateriais, como os nanotubos de carbono e os nanocompostos, posúen propiedades únicas que os fan máis resistentes e lixeiros. Estes materiais utilízanse na fabricación de compoñentes aeroespaciais, automóviles, equipos deportivos e produtos resistentes aos impactos.

5.- **Medio ambiente:** aplicouse a nanotecnoloxía na descontaminación de augas e depuración do aire. Os nanomateriais utilízanse para eliminar contaminantes e microorganismos nocivos, contribuíndo á mellora da calidade da auga e do aire.

Estas son só algunhas das áreas nas que a nanotecnoloxía tivo un impacto significativo e o seu potencial de innovación segue sendo prometedor nun amplo abano de campos, dende a electrónica ata a medicina, a enerxía e o medio ambiente.

## NANOTECNOLOXÍA AQUÍ E AGORA

A nanotecnoloxía presenta un potencial emocionante e converteuse nunha aposta popular para impulsar a innovación e a prosperidade económica. Espérase un crecemento significativo na industria en todo o mundo na próxima década, estimado en varios billóns de euros.

Na investigación en nanotecnoloxía, hai tres tipos de organizacións: laboratorios de investigación (universidades, institutos nacionais e internacionais), grandes corporacións (como Merck, IBM, Dow, Kraft, 3M e Agilent) e empresas emerxentes formadas por profesionais que buscan achegar ideas ao público creando produtos innovadores que nazan no laboratorio e cheguen ao mercado transformados

As universidades afrontan retos para reter o talento, xa que os principais investigadores adoitan verse tentados polas ofertas do sector privado. A nanotecnoloxía require un profundo coñecemento científico e formación de doutoramento, limitando a dispoñibilidade de persoal cualificado.



A nanotecnoloxía diferénciase, entre outras cousas, da tecnoloxía da información e de Internet na propiedade intelectual defendible e na dificultade de replicar produtos ou procesos. O seu impacto na vida cotiá abarca avances en computadoras ultrarrápidas, diminutas pezas mecánicas e materiais resistentes, con aplicacións notables en diversos ámbitos como a medicina, a enerxía e o medio ambiente.

Aínda que a promesa da nanotecnoloxía permanece no futuro, xa está presente nas nosas vidas a través dos nosos fogares, ordenadores, xogos e corpos. A era da nanotecnoloxía está aquí.

### ... E POR FIN A CONVERXENCIA DAS NOVAS TECNOLOXÍAS

E, por último, a converxencia de novas tecnociencias, como a nanotecnoloxía, a biotecnoloxía, as tecnoloxías da información e a intelixencia artificial e as ciencias cognitivas **Nano-Bio-Info-Cogno (NBIC)**, están a cambiar rapidamente a sociedade. Estas disciplinas están conectadas en logros como biosensores, biochips, bioenxeñaría, redes neuronais e nanomedicina. Moitos científicos ven isto como o preludio de grandes cambios económicos, tecnolóxicos e sociais a gran escala.

En tempos de crise global, a converxencia das tecnociencias preséntase como unha alternativa prometedora para promover un desenvolvemento social sostible, baseado na innovación e solucións de alto valor. A converxencia NBIC ten un enorme potencial científico e os países e industrias líderes en ciencia, tecnoloxía e innovación están a investir en investigación nestas áreas.

Non obstante, é esencial abordar coidadosamente as implicacións éticas e sociais destas tecnoloxías. O seu desenvolvemento debe ser ético e responsable, priorizando o beneficio para a humanidade e evitando impactos negativos sobre a sociedade e o medio ambiente.

Ademais, a converxencia das tecnociencias fomenta un enfoque máis colaborativo e holístico para resolver problemas complexos. A interacción entre expertos de diferentes campos pode xerar descubrimentos transformadores.

En definitiva, a converxencia das novas tecnociencias ofrece un panorama apaixonante cheo de oportunidades. Manter o diálogo continuo e garantir a transparencia son fundamentais para que estes avances beneficien á sociedade, respectando os principios éticos que guían o noso progreso.



*Ética en las tecnologías disruptivas:*

<https://impulso06.com/etica-en-las-tecnologias-disruptivas/>

## **UNHA ÚLTIMA REFLEXIÓN**

...Os países que priorizan o investimento en ciencia, tecnoloxía, innovación e cultura están a aumentar o seu benestar social e a súa calidade de vida. Este compromiso de país non só impulsa o progreso, senón que promove un desenvolvemento sostible e de calidade, creando igualdade de oportunidades para todos os cidadáns.

**En Santiago de Compostela, a 31 de xaneiro de 2024**