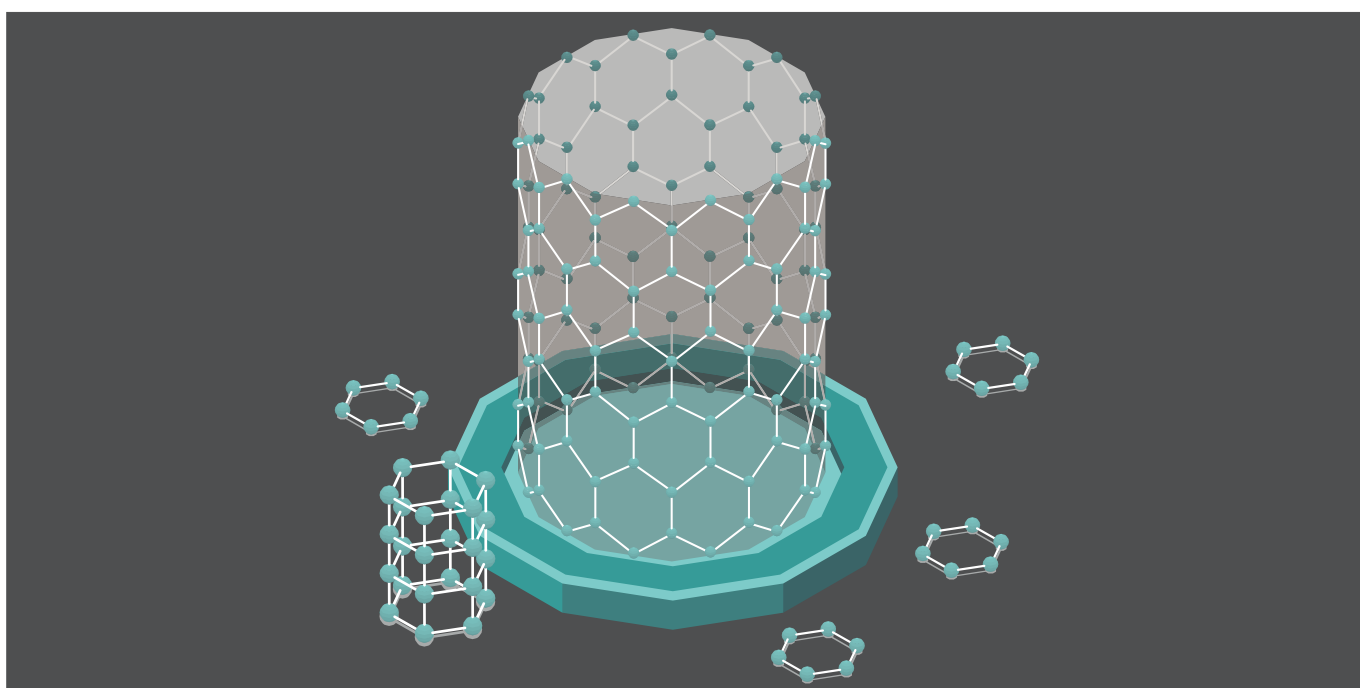


# OS NANOMATERIAIS E AS SÚAS APLICACIÓNS INDUSTRIAIS



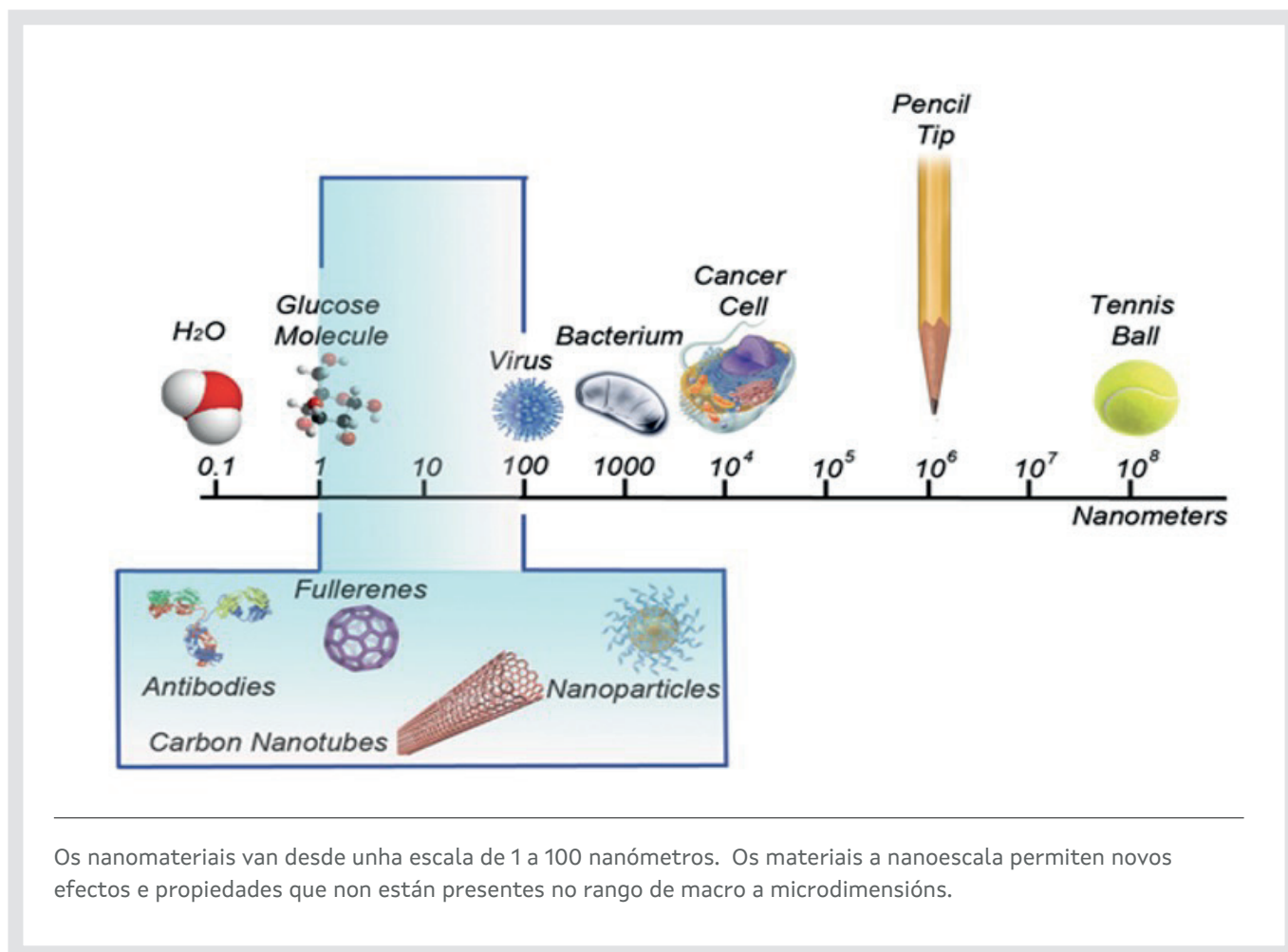
**José Rivas**

NANOMAG, Grupo de Magnetismo e Nanotecnoloxía  
Instituto de Materiais da Universidade de Santiago (IMATUS)  
Departamento de Física Aplicada  
Universidade de Santiago de Compostela



A nanotecnoloxía xerou un grande interese nos últimos anos debido ao enorme potencial e aplicacións que a subxacen a nivel da nanoescala. O ámbito de actuación inclúe, entre outros, a xeración de materiais, as telecomunicacións, a nanoelectrónica, os avances en alimentación e dispositivos médicos innovadores, así como novos sistemas de seguridade ou eficiencia enerxética. Aínda que o impacto real aínda está por chegar, os produtos que utilizan a nanotecnoloxía representan agora un mercado global que non se pode ignorar.

Segundo a National Nanotechnology Initiative, programa do goberno federal dos Estados Unidos para a investigación e o desenvolvemento de ciencia, enxeñaría e tecnoloxía para proxectos a nanoescala, a definición máis xeneralizada de nanotecnoloxía é a que a describe como a manipulación da materia con polo menos unha das tres dimensións espaciais e de entre 1 e 100 nanómetros de tamaño.



Os nanomateriais van desde unha escala de 1 a 100 nanómetros. Os materiais a nanoescala permiten novos efectos e propiedades que non están presentes no rango de macro a microdimensións.

Desde a perspectiva económica, o negocio da nanotecnoloxía está a experimentar un crecemento notable. Este mercado valorábase en 15 billóns<sup>1</sup> de dólares (USD) en 2010 e foi de 49 billóns en 2017, segundo datos de Statista (2020)<sup>2</sup>. A prestixiosa consultora Boston Consulting Group (Chiah et al., 2019)<sup>3</sup> prevé un tamaño de mercado de 3 billóns de dólares<sup>4</sup> a nivel mundial en 2030, o que suporía multiplicar por 40 a facturación actual.

Entre os indicadores que permiten situar a España no contexto global da nanotecnoloxía está o número de patentes. Despois das grandes potencias China e Estados Unidos, pódese comprobar que no contexto europeo, España conta cun importante número de patentes, só por detrás de países punteiros tecnoloxicamente como Alemaña, Francia, Reino Unido, Suíza, Holanda e Italia.

1. Un billón de dólares en EE. UU. = 1 000 000 000 USD

2. Statista. (5 de xuño de 2020). *Global nanotechnology market value 2010-2020*. <https://www.statista.com/statistics/1073886/global-market-value-nanotechnology/>

3. Chiah, R., Ketels, C., Tan, M., & Vu, T. (16 de setembro de 2019). *Unleashing Innovation in the Middle Billion Economies*. BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2019/unleashing-innovation-middle-billion-economies>

4. Un trillón de dólares en EE. UU. = 1 000 000 000 000 USD

PAÍS	N.º DE PATENTES
China	154 110
EE. UU.	83 700
Alemaña	13 856
Francia	8 307
Reino Unido	4 991
Suíza	3 358
Holanda	2 949
Italia	2 372
España	2 200

Fonte: PatentInspiration

A actividade científica de España no ámbito da nanotecnoloxía é relevante a nivel internacional, posto que ocupa o posto 12.º en número de publicacións indexadas segundo a base de datos Scopus. Ademais, segundo un informe de 2018 da

Fundación Española para a Ciencia e a Tecnoloxía (Fecyt)<sup>5</sup>, o impacto medio normalizado dos artigos sobre nanotecnoloxía publicados por grupos españois ata ese ano (1,29) só era superado por China, Estados Unidos, Reino Unido e Alemaña. En

PAÍS	N.º DE ARTIGOS INDEXADOS
China	534 132
EE. UU.	411 944
India	145 722
Xapón	131 967
Alemaña	127 467
Corea do Sur	105 523
Francia	87 991
Reino Unido	84 623
Irán	78 421
Rusia	76 325
Italia	62 920
España	53 644

Fonte: Scopus.

5. Documento de traballo ICONO: Evolución de la nanotecnología en España. (2018, junio). [https://icono.fecyt.es/sites/default/files/filepublicaciones/doctrabajoicono\\_nanotec\\_2.pdf](https://icono.fecyt.es/sites/default/files/filepublicaciones/doctrabajoicono_nanotec_2.pdf)



España, A Coruña destaca como a quinta provincia na razón de patentes de nanotecnoloxía por cada 100 000 habitantes (3,57) (Jürgens, 2016)<sup>6</sup>, só por detrás de Barcelona, Madrid, Valencia e Sevilla. Ademais, segundo o Informe Ardán (2020)<sup>7</sup>, o 2,13 % das empresas galegas ten competencias en nanotecnoloxía e o 7,45 % en materiais avanzados. Este informe tamén destaca que, cinguíndose ao contexto industrial (CNAE 10-33), as empresas galegas con competencias en nanotecnoloxía e materiais avanzados son o 5,88 % e o 9,80 %, respectivamente.

## Un futuro prometedor: os nanomateriais

Nos tempos actuais de crise e recesión económica mundial, a converxencia das tecnociencias asociadas á nanotecnoloxía, a biotecnoloxía, as tecnoloxías da información e as ciencias cognitivas –*Nano-Bio-Info-Cognitive (NBIC)*– é cada vez máis evidente. A hibridación do coñecemento e a multidisciplinariaidade aparecen como un novo modelo de desenvolvemento social sostible, baseado na innovación e na creación de solucións de alto valor engadido.

Os nanomateriais xa non se limitan aos laboratorios de investigación para ocupar unha posición relevante no desenvolvemento industrial relacionado coa produción e procesamento de novos materiais de uso cotián. Así, asistimos ao transición cara a unha nova industria con enormes capacidades no desenvolvemento de novos materiais con características moitas veces descoñecidas. Practicamente todas as industrias e países que queren estar á vangarda da ciencia e da tecnoloxía están adaptando, se aínda non o fixeron, as formas tradicionais de innovación a esta nova visión da tecnoloxía.

## Identificación de sectores de interese e aplicación práctica dos nanomateriais

As posibilidades de aplicación dos nanomateriais son inmensas e abranguen diversos sectores, xa que os resultados da investigación se traducen en produtos e procesos produtivos de alto valor engadido. Respecto a este enorme campo de aplicación relacionado cos nanomateriais, cómpre realizar un exercicio detallado para identificar aqueles sectores industriais máis relevantes e que, ao mesmo tempo, teñen unha relación, máis ou menos directa, coas capacidades tecnolóxicas do noso país, a súa rede de industrias e os centros colaboradores.

### ● Aplicacións na saúde

Os nanomateriais ofrecen múltiples estratexias de desenvolvemento no ámbito da saúde. Ademais, pódense combinar con avances en biotecnoloxía no ámbito da nanomedicina, que permiten e permitirán no futuro a aparición de numerosas aplicacións de alto impacto para os sistemas sanitarios, reducindo custos, facilitando a xestión dos pacientes e, sobre todo, mellorando notablemente a nosa calidade de vida, en particular a das persoas afectadas por enfermidades complexas.

Nestes momentos, o exemplo máis destacado da aplicación da nanotecnoloxía no sector sanitario é o de dúas das vacinas contra a COVID-19. Tanto a de Pfizer como a de Moderna están construídos sobre plataformas nanotecnolóxicas que aseguran a encapsulación, o transporte e a administración do principio activo baseado no m-ARN.<sup>8</sup>

6. Jürgens, B. & Universidad de Granada. (2016). *Nanotechnology in Spain*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=55999>

7. Informe ARDÁN Galicia 2020 Análisis de la situación económica y competitiva. (2020). <https://www.zfv.es/ardan/informe-economico.html>

8. "Nanomedicine and the COVID-19 vaccines". *Nat. Nanotechnol* (2020). <https://doi.org/10.1038/s41565-020-00820-0>.

No ámbito do diagnóstico, o uso de nanomateriais permitirá a identificación precoz de determinadas enfermidades como o cancro, as patoloxías do sistema cardiovascular e neurolóxico e as enfermidades infecciosas e metabólicas. O uso de *nanorrays* feitos con nanomateriais permite o desenvolvemento de novos biosensores para o diagnóstico e seguimento de determinadas enfermidades, do mesmo xeito que o uso de nanopartículas como marcadores en ensaios clínicos e como axentes de contraste en probas diagnósticas xoga un papel esencial nestes desenvolvementos.

A través do uso de nanomateriais será posible detectar enfermidades en fases temperás, que é fundamental para conseguir unha maior eficacia do tratamento e menores custos para os nosos sistemas de saúde.

No que respecta ao tratamento de enfermidades, os nanomateriais son unha poderosa ferramenta que permite implantes complexos, novos sistemas de terapia celular e enxeñería de tecidos co uso de nanoestruturas como puntos de ancoraxe para a rexeneración por parte de células nai.

Outra liña de acción moi importante son os bionanomateriais intelixentes combinados coa impresión 3D e as moléculas bioactivas que imitan o comportamento natural do crecemento dos tecidos. Estas combinacións de materiais e dispositivos son capaces de producir respostas celulares específicas aos cambios de temperatura, pH, estimulación eléctrica ou nivel de enerxía.

Non menos importante é a administración de fármacos mediante nanomateriais que poidan atravesar condutos vasculares e membranas celulares, facilitando un control preciso das doses subministradas e posibilitando a liberación continua e programada do propio corpo do paciente.

Innovacións importantes teñen a súa orixe tamén na aplicación da nanoelectrónica ao sector da saúde. As dúas vacinas contra a COVID-19, comentadas anteriormente, son un bo exemplo destas tecnoloxías. Os dispositivos de monitorización de parámetros fisiolóxicos permitirán cambios substanciais na xestión dos pacientes dentro e fóra do hospital.

## ● Aplicacións no control enerxético e ambiental

No ámbito enerxético, os nanomateriais son fundamentais para o desenvolvemento das enerxías renovables, especialmente no ámbito da enerxía solar –a través de nanomateriais substitutos do silicio– e no uso do hidróxeno nas pilas de combustible. Tamén no que se refire ao desenvolvemento de novas tecnoloxías para o almacenamento e transporte de enerxía, a través de supercondensadores ou solucións que permitan unha distribución máis eficiente. Varios nanomateriais presentan boas propiedades como catalizadores, cun enorme potencial de aplicación na conversión directa de celulosa e na produción de biocombustibles ou enerxía a partir de hidróxeno. Tamén se esperan avances importantes no desenvolvemento de alternativas enerxéticas baseadas en pilas de combustible ou materiais termoeléctricos.

No ámbito do medio ambiente, os nanomateriais aplícanse principalmente ao desenvolvemento de novos materiais de limpeza e degradación de contaminantes perigosos, como substancias perfluoroalquiladas e polifluoroalquiladas (PFAS, polas súas siglas en inglés), un grupo de axentes químicos que inclúe *PFOA*, *PFOS*, *GenX* e moitos outros. Estes contaminantes pódense atopar na auga potable; nas augas residuais; en alimentos procedentes de cultivos ou augas contaminadas con estes axentes; en

envases procesados con equipos que utilizaban *PFAS*; en produtos comerciais como o teflón; e en ceras, pinturas, produtos de limpeza e espumas contra incendios. Ademais destes contaminantes persistentes, os nanomateriais tamén son moi relevantes para a eliminación de metais pesados, toxinas, antibióticos e pesticidas.

Para aplicacións ambientais tamén é posible deseñar dispositivos baseado en nanomateriais que permiten detectar variables físicas, químicas ou biolóxicas e a súa transdución a magnitudes eléctricas. Outra tecnoloxía posible son os elementos descontaminadores, especialmente para augas residuais e solo. Ademais da súa alta sensibilidade e precisión, os nanodispositivos en desenvolvemento facilitan o proceso de medición e, en ocasións, evitan o tratamento previo en complexos e custosos procesos de laboratorio. Unha área en gran desenvolvemento son os novos métodos de desalinización de auga de mar.

## ● Aplicacións en tecnoloxía da información e electrónica

Co descubrimento do transistor nun cristal de xermanio polos físicos Bardeen, Brattain e Shockley dos Laboratorios Bell nos Estados Unidos en 1947, iniciouse unha nova era mundial para a ciencia e a tecnoloxía. Este dispositivo abriu as portas á electrónica de estado sólido cun alto grao de integración, consolidando as tecnoloxías da información e da comunicación como as preferidas pola sociedade.

A presenza da electrónica de estado sólido marcou un xeito diferente, ata agora descoñecido, de desenvolver sistemas electrónicos. Pronto comezaron a aparecer materiais e aparellos cada vez máis potentes que, ademais, eran extremadamente pequenos e gozaban dunha grande autonomía. A integración foi unha prioridade baseada

na procura do pequeno. Os científicos e tecnólogos atoparon propiedades nos nanomateriais e comezaron a desenvolver novos chips que cambiaron completamente os procesos de fabricación dos circuitos integrados.

A nanoelectrónica permite hoxe o almacenamento de datos a unha escala nunca antes alcanzada, o procesamento de datos a velocidades cada vez máis altas ou o desenvolvemento de sucesivas xeracións de comunicacións móbiles.

A través do desenvolvemento da electrónica máis aló do *CMOS* –onde as novas tecnoloxías de nanomateriais, dispositivos e arquitecturas se desenvolven en *CMOS* ou en complementariedade con *CMOS*–, considérase, a medio ou longo prazo, o desenvolvemento de circuitos integrados (procesadores, memorias, visualizadores, sensores e actuadores) con maior capacidade de cálculo e de almacenamento da información que a tecnoloxía actual e con posibilidade de integración con outras áreas de coñecemento, por exemplo, para aplicacións no ámbito da nanomedicina, a unha escala sen precedentes.

## ● Aplicacións no sector agroalimentario

Os nanomateriais aplicados no sector alimentario son, en moitos casos, similares aos empregados na saúde, facilitando a encapsulación e liberación controlada de ingredientes ou nutrientes alimentarios, ademais de avanzar na seguridade alimentaria mediante o control das enfermidades transmisibles para os alimentos. Neste contexto, os nanomateriais ofrecen un gran potencial á hora de introducir sensores nos procesos de produción de alimentos capaces de verificar o seu estado óptimo e as súas calidades organolépticas. Outro campo de traballo importante é o desenvolvemento de

embalaxes activas e intelixentes que alarguen a vida útil dos alimentos e que permitan saber se están contaminados ou en mal estado.

No que respecta ao sector agrícola, os nanomateriais terán un impacto na produtividade e na sustentabilidade ao permitir a liberación controlada de determinadas substancias químicas como herbicidas, pesticidas e fertilizantes, optimizando os seus efectos.

O principal reto da aplicación dos nanomateriais no ámbito agroalimentario está en relación co custo de produción/beneficio para o consumidor. A súa comercialización e impacto no mercado están dalgún xeito condicionados polo desenvolvemento de tecnoloxías que permitan a produción en masa, sen elevar os prezos dos produtos do sector alimentario.

## ● Aplicacións no sector da madeira

Á vangarda das materias primas naturais –que permiten o desenvolvemento dunha economía de baixo impacto ambiental e alto valor engadido– está a madeira, que destaca pola súa versatilidade. Utilizada durante séculos debido á súa natureza resistente e fibrosa, está a experimentar un renovado interese por parte da industria. Desde o punto de vista químico, a madeira está formada por un 45 % de celulosa e un 20-30 % de hemicelulosa e lignina, proporción que varía segundo as especies.

A celulosa é un biopolímero formado por zonas amorfas e outras moi ordenadas, cristalinas, que se poden extraer mediante procesos físicos e químicos para producir nanocristais ou nanofibras. Estes nanocompoñentes pódense obter a partir de residuos como restos de madeira, biomasa ou licores procedentes da industria do papel, que permiten obter a

partir dos residuos unha materia prima moi versátil a nivel nanométrico. Isto permite desenvolver materiais de alta tecnoloxía (fibras intelixentes, membranas para a limpeza de augas) ou produtos básicos (fibras para a condución eléctrica ou revestimentos plásticos) co obxectivo de forzar a substitución por unha tecnoloxía preeminente e altamente contaminante baseada en materiais derivados do petróleo.

A pesar de ter un ritmo de crecemento vexetal moi lento, os países nórdicos están á vangarda dos desenvolvementos lignocelulósicos competitivos a nivel industrial. Tanto é así que existen institutos tecnolóxicos de gran prestixio dedicados integramente á recuperación de produtos obtidos da madeira e un puxante sector industrial que explota esta nova tecnoloxía.

As vantaxes desta tecnoloxía son evidentes: a nivel ambiental conséguese a substitución paulatina dos materiais derivados do petróleo por matrices vexetais que frean a presenza de microplásticos no medio, así como o aumento do número de explotacións forestais que contribúan a reducir a pegada de carbono e que actúen como contrapeso ao cambio climático; a nivel económico, promóvese unha industria con tendencia á economía circular e ecolóxica baseada no aproveitamento de residuos vexetais de podas, industrias madeireiras e papeleiras, entre outras, para xerar materiais avanzados de alto valor engadido, prescindindo da dependencia do aceite; e, a nivel social, desenvólvese unha tecnoloxía que pon en valor os residuos vexetais con capacidade para xerar emprego "verde" e crear unha cadea de valor desde o medio rural ao urbano, dando unha posible solución ao despoboamento do rural por falta de expectativas económicas, actualmente un problema de grande importancia.





## ● Aplicacións no transporte

A manipulación e o desenvolvemento de nanomateriais permiten introducir aliaxes máis lixeiras e resistentes; novas superficies multifuncionais provistas de revestimentos de gran dureza, resistencia á abrasión e á corrosión; e a fabricación de novos sensores e actuadores que melloren a seguridade e o funcionamento dos medios de transporte actuais.

Deste xeito, os nanomateriais contribúen significativamente á construción de coches, avións e barcos máis baratos, lixeiros, eficientes enerxeticamente e sen emisións contaminantes, así como outros dotados dunhas mellores calidades de seguridade e confort, mediante novas automatizacións e posiblemente tamén altamente reciclables.

## ● Aplicacións noutros sectores tradicionais: téxtil, calzado, construción

Os nanomateriais chegan tamén a outros produtos de alto valor engadido con novas e mellores características en todo tipo de sectores, como son o téxtil e o calzado a través de novos tecidos de alta tecnoloxía para ámbitos como o aeroespacial, o militar, a automoción ou a Saúde. Este sector cobra especial relevancia na eurorrexión Galicia-Norte de Portugal, xa que permite a creación de produtos personalizados e de gran valor nunha industria con alto peso na economía a ambos os lados da fronteira.

No sector da construción prevese unha introdución paulatina de materiais máis lixeiros, máis resistentes e con menor impacto ambiental e mesmo de materiais autoadaptables e intelixentes, capaces de responder a estímulos externos como a temperatura, a humidade ou o estrés e con funcións repelentes da auga, a graxa, a suxidade ou os microbios, entre outras. Os desenvolvementos dos nanomateriais terán un papel fundamental na construción de redes sensoriais con diferentes tecnoloxías que convertan os edificios en espazos dinámicos, seguros e eficientes enerxeticamente.



## CONCLUSIÓNS

A nanotecnoloxía e os nanomateriais son unha ferramenta disruptiva con aplicacións que chegan a innumerables sectores. O control das propiedades da materia a escala nanométrica permite non só deseñar novos nanomateriais, senón tamén modificar materiais "clásicos", dotándoos de nanoestruturas que melloran radicalmente as súas propiedades.

As aplicacións da nanotecnoloxía e dos nanomateriais son moi diversas e, como exemplo da súa transversalidade, podemos inspirarnos na crise actual provocada pola pandemia da COVID-19. Nos últimos meses observamos innovacións en moitos campos e sectores industriais. Unha gran parte das novas tecnoloxías contra a COVID-19 proceden de desenvolvementos e investigacións que se orixinan na nanoescala.



Ilustración de Campos, Pereira et al. (2020)<sup>9</sup>

9. Campos, E.V.R., Pereira, A.E.S., de Oliveira, J.L. et al. "How can nanotechnology help to combat COVID-19? Opportunities and urgent need". J Nanobiotechnol 18, 125 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12951-020-00685-4>



España e, en particular, Galicia están moi ben posicionadas na investigación e contan con numerosos expertos e unha importante capacidade para formar profesionais neste campo. Tendo en conta as perspectivas sobre o gran crecemento do mercado da nanotecnoloxía, este sector representa unha grande oportunidade para aumentar o produto interior bruto da nosa comunidade. Ademais, existe unha aplicación directa da nanotecnoloxía a sectores clave para Galicia –incluídos na Estratexia de Especialización Intelixente RIS3<sup>10</sup>–, como o envellecemento activo e saudable; os sectores agroalimentario, biotecnolóxico e da madeira; ou o aproveitamento dos recursos mariños, entre outros. Por iso é necesario seguir impulsando a investigación en nanotecnoloxía para reforzar os principais sectores industriais de Galicia.

O impacto dos nanomateriais ten tamén unha dimensión social que incide no emprego, ao crear postos de traballo altamente cualificados, e tamén permite paliar os efectos do envellecemento da poboación achegando solucións para o sistema público de saúde.

Os retos para os próximos anos son establecer os mecanismos axeitados que permitan, mediante a colaboración público-privada, transferir eficazmente aos sectores máis tradicionais o coñecemento acumulado nas universidades, centros de investigación e empresas de base tecnolóxica para dar un salto en competitividade. O impacto da nanotecnoloxía na actual emerxencia sanitaria é quizais o mellor exemplo.

As claves para aproveitar esta oportunidade, como sinala o estudo de Aithal (2016)<sup>11</sup>, son crear un clima favorable aos investimentos, deseñar modelos de negocio viábles e contar co apoio da Administración para trasladar ao mercado os resultados da investigación.



## AGRADECEMENTOS

Quero agradecer ao doutor Pablo Friero, xerente da Agrupación Estratéxica de Materiales (AeMAT), e ao doutor Sergio Figueiras, director de Innovación de Bahía Software e anteriormente *project manager* no International Iberian Nanotechnology Laboratory-INL, polas súas suxestións e lectura crítica do manuscrito.

10. <http://www.ris3galicia.es/>

11. Aithal, P. S., & Aithal, S. (2016). "A New Model for Commercialization of Nanotechnology Products and Services". *International Journal of Computational Research and Development*, 1(1), 84-93. <https://doi.org/10.5281/zenodo.163536>