

## From the laboratory to the classroom: intermingling research, education and scientific dissemination in the field of nanotechnology

### Del laboratorio al aula: entrelazando investigación, formación y divulgación científica en el campo de la nanotecnología

Pedro A. Serena. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid. CSIC. [pedro.serena@icmm.csic.es](mailto:pedro.serena@icmm.csic.es)

#### Abstract

This article shows, through the author's experience, how educational and scientific dissemination activities are compatible with scientific activity, providing a set of didactic materials in the field of nanotechnology of interest for teachers of primary and secondary schools.

#### Resumen

Este artículo muestra, a través de la experiencia del autor, como las actividades de formación y divulgación científica son compatibles con la actividad científica, proporcionando un conjunto de materiales didácticos en el ámbito de la nanotecnología que pueden ser de interés para el profesorado de centros educativos preuniversitarios.

#### 1. Introducción

El desarrollo de las vocaciones científicas en el seno de una sociedad depende de multitud de factores que van más allá de la curiosidad, las habilidades y las capacidades que un grupo de personas posean desde su infancia. La preocupación por el desarrollo de vocaciones STEM (acrónimo en inglés de Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) es notoria por parte de algunos gobiernos de los países más desarrollados [1] y mucho se ha estudiado sobre la forma en la que dichas vocaciones se materializan [2]. La conversión en investigadores e investigadoras de esas personas con atisbos de vocación científica depende de un sinfín de circunstancias como el entorno familiar, el acceso a la educación, la existencia de sistemas adecuados de becas, la implantación de programas educativos que potencien la curiosidad y la satisfacción por descubrir los secretos de la naturaleza, un profesorado motivado y reconocido socialmente que reciba una formación continuada, instalaciones adecuadas en colegios e institutos, una interacción constructiva entre el sistema de enseñanza universitario y el pre-universitario, la existencia de políticas que favorezcan el acceso a la universidad de cualquier persona con talento, un sistema adecuado para iniciar, madurar y consolidar una carrera científica, inversiones adecuadas en I+D+I tanto en el sector público como en el sector privado para abordar proyectos disruptivos que requieran y atraigan talento, políticas de fomento de la cultura científica, el interés desde las entidades académicas en difundir sus resultados a los ciudadanos y por contar con ellos en el diseño de

sus estrategias, la colaboración con los medios de comunicación, una política científico-tecnológica que coordine todos estos aspectos en un esquema de gobernanza adecuado, etc.

Sin duda, son muchos los factores que intervienen en generar profesionales de la investigación, que sean capaces de insertarse en el sistema académico o en el entorno empresarial, pero de lo que no cabe duda [3] es de la necesidad de estos profesionales para posibilitar la transferencia de conocimiento a una sociedad que posea un modelo económico de mayor productividad, con mayor valor añadido, capaz de ofertar servicios y productos basados en el conocimiento, dejando atrás modelos basados en una mano de obra de bajo coste, en tecnologías antiguas de fácil acceso a cualquier competidor, o en la explotación insostenible de algún recurso natural.

Dicho todo lo anterior, que solo confirma lo complejo que es convertir las vocaciones científicas en una realidad palpable de investigadores e investigadoras de elevada calidad, este artículo pretende contar, desde una perspectiva personal, como las actividades de un investigador (el autor en este caso) dirigidas a la divulgación científica o a la formación (en entornos formales e informales), se han incorporado a la actividad científica cotidiana, aumentando con el tiempo tanto la cantidad como la variedad de las mismas. Este artículo amplía considerablemente la información proporcionada en una obra colectiva dedicada a crear vocaciones científicas, obra de gran interés para el profesorado de centros educativos [4].

Se debe mencionar que esta normalización de la actividad relacionada con la divulgación científica se pone de manifiesto en el recientemente publicado Informe EXTRA [5] que muestra que un elevado porcentaje de investigadores e investigadoras realiza la difusión de sus resultados a la sociedad utilizando tanto esquemas de transmisión tradicionales como aquellos que facilitan las redes sociales. Sin duda alguna la potenciación de esta faceta en las universidades, los organismos públicos de investigación y los centros tecnológicos está favorecida por un propicio entorno legal como es, en el caso español, la actual Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación [6], cuyo Título III se dedica al impulso de la investigación científica y técnica, la innovación, la transferencia del conocimiento, la difusión y la cultura científica, tecnológica e innovadora.

Este contexto legal favorable, también iniciado con la anterior Ley de la Ciencia que estuvo en vigor hasta

2011, ha fomentado la creación, dentro del sistema de I+D+I, de unidades de cultura científica que operan en red, de vicerrectorados con competencias en este ámbito, de museos de ciencia, y de entidades que financian actividades de divulgación tanto a nivel nacional como autonómico. Por su especial relevancia se debe destacar la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) [7], tanto por su actividad como agente financiador de actividades de divulgación, como promotor de programas de divulgación o por la elaboración de informes sobre la percepción social de la ciencia. Igualmente, el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) [8], ha tenido una dilatada historia en las actividades de divulgación. Finalmente se debe destacar el papel de la Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica (VAPC) [9] del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) por ser pionera en muchas de las iniciativas que se han puesto en marcha en España, por el gran volumen de actividades que gestiona y el impacto de las mismas sobre cientos de miles de ciudadanos cada año. Se debe mencionar que, si bien el interés por la cultura científica va permeando lentamente en la sociedad y los agentes del sistema de I+D+I empiezan a considerar prioritarios temas como la divulgación científica, la responsabilidad social de la investigación (RSI), o la ciencia ciudadana (CC), el contexto de escasez de recursos en el que se encuentra el sistema de I+D+I español desde hace prácticamente una década [10,11] pone en peligro mucho de lo conseguido y limita las actuaciones en este ámbito a corto y medio plazo, por lo que va ser muy difícil que se pueda cerrar la brecha de nuestro país con relación a otros más desarrollados.

#### 2. Los caminos de la divulgación son inescrutables

En esta sección se van a ilustrar diferentes actividades de divulgación en las que el autor ha participado, con el fin de que sean de utilidad tanto a la comunidad educativa como a aquellos investigadores que desean adentrarse en el diseño y desarrollo de actividades de divulgación. En primer lugar hay que mencionar que, a pesar de las escasas iniciativas dirigidas a fomentar la cultura científica y las vocaciones en los años 60, 70 y 80 del pasado siglo (exceptuando las series televisivas "El Hombre y la Tierra" de Félix Rodríguez de la Fuente o "Cosmos" de Carl Sagan), y la ausencia de internet o de redes sociales en aquel entonces, son muchos los investigadores e investigadoras que pudieron formarse en España, que completaron su formación en universidades y centros de investigación extranjeros, y que ahora forman la columna vertebral de la investigación española. Esto demuestra que dar a luz toda una generación de investigadores e investigadoras no solo se sostiene en una acertada política de fomento de la cultura científica sino que intervienen multitud de factores, y que todos son de gran importancia. En el caso particular del autor de este trabajo, la dedicación a la actividad científica se debe, sin tener en cuenta la

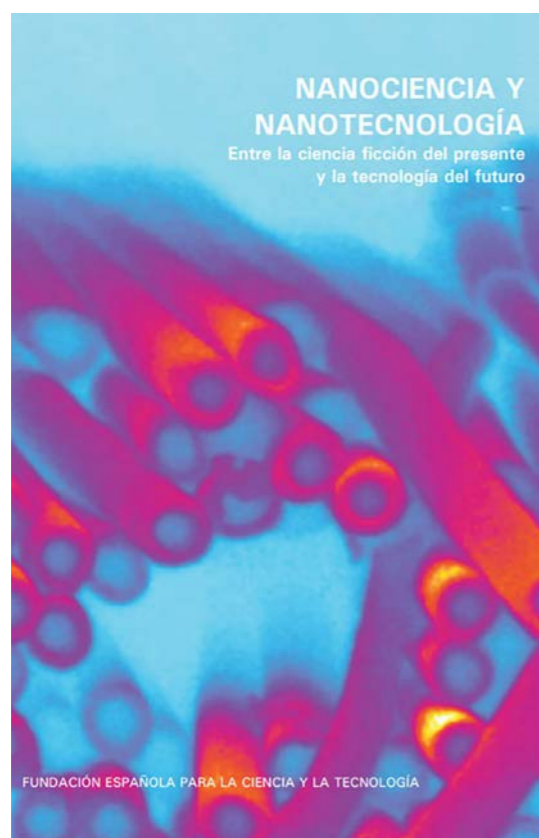
curiosidad y predisposición personal a pensar sobre el funcionamiento de las cosas que nos rodean, a la combinación de un contexto familiar favorable al estudio (a pesar de una situación económica no muy desahogada), junto con un modesto pero motivador sistema de becas, y la imprescindible complicidad de un profesorado de ciencias (física, química, biología, geología, matemáticas) en el Instituto de Enseñanza Secundaria Gregorio Marañón de Madrid, que fue capaz de transmitir y mantener pasión por la ciencia. Además, la puesta en marcha por parte de alguna profesora de iniciativas como el trabajo dirigido en grupos, donde estudiantes con buenas calificaciones debían esforzarse en ayudar a compañeros con dificultades, favoreció el desarrollo de capacidades relacionadas con la comunicación de contenidos científicos, adaptándolos a la tipología del interlocutor.

Tras la obtención de la Licenciatura en Ciencias Físicas en la Universidad Autónoma de Madrid, siguió el doctorado en la misma universidad, gracias al impulso a la política de becas de los años 1980, una estancia postdoctoral en los laboratorios de IBM en Zurich (Suiza) y el regreso a España para comenzar la difícil andadura como investigador. En todas las etapas de esta andadura se aprovecharon las pocas oportunidades en las que se solicitaba información adicional sobre la actividad científica que se desarrollaba por parte de periodistas, profesores, o personas interesadas. Es importante tener vocación por contar cosas, y no desaprovechar las oportunidades que se presentan a lo largo del camino. De esta forma, antiguos compañeros del bachillerato o de la universidad, convertidos en profesores de educación secundaria, solicitaban conferencias ante sus alumnos, o periodistas desorientados buscaban información ante un descubrimiento recientemente publicado o mientras realizaban la cobertura informativa de algún congreso o taller. Esta etapa inicial sirvió para enfrentarse a diferentes públicos, modular los mensajes, y adaptar los métodos de comunicación a emplear. A su vez esta interacción permitió tomar el pulso a la sociedad, conociendo lo que para muchos de sus miembros la ciencia significaba, o cómo veían a los científicos. En el caso particular del autor, el acercamiento de profesores, periodistas y público en general también estuvo favorecido por trabajar en el ámbito de la nanociencia y de la nanotecnología, un tema que comenzaba a emerger con fuerza en los años 1990 y que continúa siendo un desconocido por una gran parte de la población y de la comunidad educativa [12].

De impartir conferencias en diversos foros (centros educativos, centros culturales, universidades populares, etc.) se dio el salto a realizar actividades de formación del profesorado mediante la participación en cursos de actualización dirigidos a docentes.

En este contexto surgió la posibilidad de colaborar con la FECYT [7] para escribir la Unidad Didáctica de Nanociencia y de Nanotecnología [13] (Figura 1) bajo la coordinación de J.A. Martín-Gago, Profesor

de Investigación del CSIC. Dicho documento sigue siendo referente para el profesorado de secundaria interesado en la incorporación de contenidos relacionados con la nanotecnología a la programación didáctica. Esta unidad fue el germen de una serie de libros [14-16] que venían a completar el hueco existente en España en cuanto a la literatura de divulgación científica en el ámbito de la nanotecnología. Se debe destacar que dos de estos libros [14, 16] pertenecen a la colección del "Qué sabemos de", iniciativa del CSIC [9] para hacer llegar a la sociedad, de una forma amena, la ciencia de calidad que se hace en nuestro país. La unidad didáctica [13] también sirvió para inspirar la posterior elaboración de una "Guía Didáctica para la Educación de la Nanotecnología en Educación Secundaria" [17] dentro de la Red Iberoamericana de Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF) [18] financiada inicialmente por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).



**Figura 1.** Portada de la "Unidad Didáctica de Nanociencia y Nanotecnología" [13]

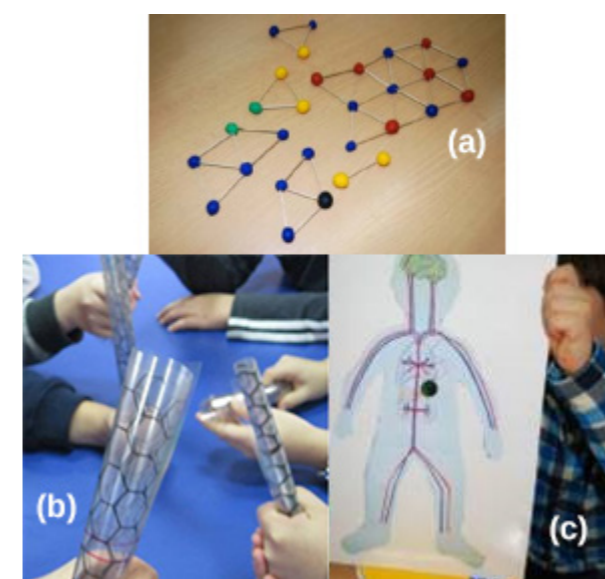
**Figure 1.** Cover of the book "Unidad Didáctica de Nanociencia y Nanotecnología" [13]

Por supuesto, la publicación de estos libros y materiales provocó una mayor demanda de conferencias y actividades en foros diversos, lo que muestra como las actividades de divulgación se retroalimentan entre sí, abriendo continuamente nuevas oportunidades. Una de estas oportunidades fue la colaboración con el Programa Investiga I+D+I de la Fundación San Patricio [19], actividad dirigida al fomento de las vocaciones de estudiantes de 4º curso de la Educación Secundaria Obligatoria,

en la que participan anualmente más de un millar de alumnos de más de medio centenar de centros educativos.

En paralelo a las actividades de divulgación dirigidas esencialmente al sistema educativo preuniversitario, en 2007 y en 2008 en colaboración entre investigadores e investigadoras del CSIC y de la Universidad Autónoma de Madrid, se organizaron dos ediciones de un certamen internacional de imágenes obtenidas mediante microscopía de sonda local (SPM), denominado SPMAGE. Este certamen contó con una gran acogida internacional (con más de 400 participantes de todo el mundo en las dos ediciones) y propició la creación de un banco de imágenes que pueden descargarse y ser usadas libremente [20]. Una parte de este banco de imágenes, mediante una ayuda de la FECYT [7], se convirtió en una exposición denominada "Un vistazo al nanomundo", que recorrió una veintena de localidades españolas, y de la que surgió otra exposición más elaborada denominada "Un paseo por el nanomundo" [21] que se ha mostrado en medio centenar de localidades españolas, y que tiene copias circulando en México, Colombia y Venezuela. En la actualidad dicha exposición sigue itinerando y la gestión de su préstamo se lleva a cabo por el CSIC [22].

La exhibición de estas imágenes en algunos foros, fueron la semilla para otros proyectos de gran envergadura. Por ejemplo, la exhibición en la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), dio lugar al planteamiento de una entrevista por parte del canal de televisión de la UNED (CANALUNED), que acabó dando forma a toda una serie con 17 episodios que cubren los aspectos básicos de la nanociencia y las aplicaciones que se esperan de la nanotecnología [23,24]. Esta serie ha recibido más de 60.000 visitas a través de la plataforma de la UNED o de YOUTUBE. Por otro lado, la exhibición de las imágenes en el MUNCYT [8] fue la semilla para la realización de un taller de nanotecnología denominado "Explorando el Nanomundo" [25] dirigido a niños y niñas de entre 8 y 12 años, que pasó a integrarse en la oferta del CSIC de talleres educativos al Programa de Enriquecimiento de Alumnos de Altas Capacidades (PEAC) de la Comunidad de Madrid desde 2012 (Figura 2). Posteriormente el MUNCYT ha incorporado dicho taller a su oferta de actividades dirigidas a centros educativos, desarrollándose el Cuaderno "Experimenta" de Nanotecnología [26], material didáctico que contiene pasatiempos que permiten profundizar en el conocimiento de la nanotecnología. También se puede decir que la exposición "Un paseo por el nanomundo" sirvió de punto de partida en otros proyectos más atípicos y singulares, como la colaboración con el grupo musical Aviador Dro en su proyecto "La voz de la ciencia" que dio lugar a un vídeo-libro que permite reflexionar sobre cómo será nuestro futuro. Como se menciona en el título de esta sección, los caminos de la divulgación son, muchas veces, inescrutables.



**Figura 2.** Taller "Explorando el Nanomundo" [25]. (a) Modelos moleculares a partir de plastilina. (b) Comprendiendo la estructura de los nanotubos de carbono a partir de acetatos. (c) Comprendiendo la liberación controlada de fármacos mediante nanopartículas magnéticas.

**Figure 2.** Workshop "Explorando el Nanomundo" [25]. (a) Molecular models made of modelling clay. (b) Understanding carbon nanotubes structures using overhead films. (c) Understanding controlled drug delivery based on magnetic nanoparticles.

### 3. De lo individual a lo institucional

Las unidades y guías didácticas, las exposiciones, los bancos de imágenes, los talleres, la serie de televisión, los artículos en medios de comunicación, los certámenes, etc. que se han mencionado anteriormente ofrecen un conjunto completo de documentación y materiales que permiten llevar la nanotecnología al aula mediante una adecuada estrategia. En particular, este arsenal de documentación permite organizar seminarios y cursos completos dirigidos al profesorado de educación secundaria y de bachillerato, con el fin de proporcionarle contenidos de nanotecnología que pueden insertarse en las clases a modo de "píldoras didácticas" [28]. La formación del profesorado en temas emergentes de la ciencia es un asunto de crucial importancia, y esta es la razón por la que se han puesto en marcha cursos más avanzados como el titulado "Materiales avanzados y nanotecnología: la nueva revolución industrial" que organiza el CSIC para la Consejería de Educación e Investigación de la Comunidad de Madrid. Sin embargo se debe destacar que, en cuanto a la formación del profesorado en el ámbito de la nanotecnología, Cataluña es la Comunidad Autónoma con un mejor planteamiento, gracias al Proyecto NanoEduca [29], que cuenta con la colaboración de varias instituciones. Estos son dos ejemplos de iniciativas que requieren el impulso por parte de un conjunto de entidades que canalizan el esfuerzo de iniciativas individuales que, de no tener un paraguas institucional, seguramente tendrían menor impacto o fracasarían.

Cuando en la vida de un investigador surge la oportunidad de embarcarse en la gestión de

organismos e instituciones, esta oportunidad lleva aparejada la frustración de confirmar que el sistema de gestión en el que se mueve la ciencia española es muy burocratizado, excesivamente controlador, lento e ineficiente comparado con el de otros países con los que competimos en el ámbito científico-tecnológico. Sin embargo, los puestos de gestión ofrecen también la posibilidad de mantener, mejorar o poner en marcha iniciativas de corte institucional que permitan optimizar esfuerzos y dar una mayor proyección de la institución a la que se sirve sobre la sociedad. Este ha sido el caso del autor del presente artículo al frente de la Delegación Institucional del CSIC en Madrid desde 2014, manteniendo actividades exitosas como la participación del CSIC en los Programas 4º de ESO+Empresa o las estancias formativas de estudiantes de la Formación Profesional (tanto Ordinaria como Dual) en centros del CSIC. Además se han puesto en marcha iniciativas como la elaboración de catálogos de talleres, de conferencias y de cursos dirigidos a los diferentes estamentos del sistema educativo de la Comunidad de Madrid, la organización de varios ciclos de conferencias, y la coordinación de las actividades del Festival de la Nanociencia y la Nanotecnología, que implica a ocho institutos de investigación del CSIC y en las que han participado más de 6000 estudiantes [30]. Por lo tanto, queda claro que desde los puestos de gestión se puede realizar una clara apuesta por la promoción de la cultura científica.

### 4. Mirando hacia el futuro

Este artículo muestra como a lo largo de la carrera científica se pueden realizar variadas y numerosas conexiones con la sociedad, tanto de forma individualizada como en el marco institucional. El objetivo final debe ser claro, hacer que caminen de la mano la sociedad y las entidades donde se genera el conocimiento, interaccionando entre sí. Esta interacción es necesaria si se desean abordar problemas de gran calado.

Por ejemplo, parece que debemos afrontar el reto de cambiar el modelo económico si se desea tener un desarrollo social y económico que permita mantenernos entre las economías más importantes del planeta. Es evidente que ese modelo debe estar basado en parámetros como la investigación científica, el desarrollo sostenible, la innovación, etc. Alcanzar esto requiere desarrollar un marco donde la creatividad científica sea un ingrediente clave, lo que requiere tener personas altamente capacitadas (en todos los niveles) que faciliten la generación, intercambio y aplicación del conocimiento, produciendo a la larga un sistema empresarial más competitivo y potente. Para alcanzar esto, una de las reformas pendientes es la del sistema educativo. Pero no se trata de una reforma que vaya en la dirección de alterar unas cuantas cosas para dejar todo más o menos como está. Se requiere ir más allá y renovar el sistema educativo para basarlo en la indagación, en el descubrimiento, para lograr ciudadanos que piensen de forma diferente a la hora

de enfrentarse a problemas y realicen una conexión emocional positiva con la ciencia. En este contexto, las infraestructuras de los centros educativos son clave para el desarrollar actividades experimentales, pero son aún más importantes los profesores y las profesoras que pasarán de ser transmisores de contenidos (accesibles ahora ubicuamente mediante internet) a ser guías, acompañantes del proceso de formación, orientadores capaces de manejar temas científicos del momento para motivar al estudiante. Las universidades y centros de investigación tienen mucho que decir en este proceso, deben desarrollar, entre otras, iniciativas dirigidas al aumento de la cultura científica de la sociedad o de lograr su participación en los procesos de decisión de políticas científicas, programas de formación del profesorado en colaboración con los Gobiernos de las Comunidades Autónomas, programas de tutoría para los alumnos y alumnas de educación secundaria, sistemas de estancias de alumnos en sus laboratorios, etc. Queda mucho por hacer, pero parece que estamos abocados, tarde o temprano, a un cambio sustancial tanto del modelo educativo como de la política de inversiones que lo sustentan, y para llevar a cabo este cambio contarán con miembros de la comunidad educativa y de la comunidad investigadora que tienen gran experiencia en estos temas y conservan, a pesar de todo, una gran parte de su impulso y su compromiso con la sociedad.

### 5. Y para terminar, una reflexión personal

Hasta este momento, se han descrito varias actividades desarrolladas por el autor durante su vida profesional, dirigidas a la divulgación o a la formación pre-universitaria, en unos casos con un carácter individual, basadas en una red de contactos o de amistades, en otros casos de carácter más institucional, que requieren la contribución de más colegas, pero que tienen un mayor impacto. Estas actividades se han ido concatenando, entrelazando y por lo general cada una de ellas siempre ha servido para generar otras oportunidades que el autor ha ido aprovechando. En cualquier caso, las actividades de este tipo siempre generan una gran satisfacción, al tener un impacto muy directo sobre los grupos de personas a los que se dirigen, y a largo plazo sobre el conjunto de la sociedad.

Por lo general los resultados de nuestras investigaciones tienen una repercusión indirecta y a medio-largo plazo sobre la sociedad, a través de los trabajos de otros investigadores o investigadoras que acaban desarrollando aplicaciones que en muchas ocasiones la sociedad no percibe como fruto de un gran esfuerzo colectivo tanto personal como económico. Las actividades de divulgación y formación permiten una transmisión más directa de conocimientos, lo que es el primer objetivo, pero quizás es de igual o mayor importancia transmitir cómo funciona la ciencia, cómo se usan los recursos que los ciudadanos ponen a nuestra disposición, lo importante que es la ciencia para cambiar el mundo y

la sociedad resolviendo problemas que van surgiendo en la andadura de nuestra especie por nuestro planeta, la importancia de las políticas científicas y educativas para el futuro de un país, etc. Estos aspectos, que en ocasiones no parecen primordiales en las actividades divulgativas, son clave para que nuestra sociedad posea una verdadera cultura científica. La sociedad debe ser partícipe del diseño de la ciencia y cómplice de la comunidad científica.

Cuando, tras una actividad determinada, un grupo de personas sigue preguntando sobre un tema, sobre dónde se puede ampliar el conocimiento del tema expuesto, o sobre qué carrera debe estudiarse para ser investigador o investigadora, o cuando se obtienen cientos o miles de “me gusta” en una actividad realizada sobre una plataforma en internet, se sabe que se ha establecido esa complicidad entre todos. Esta sensación, como muchos sabemos es impagable, y da un sentido de utilidad inmediata al esfuerzo realizado. En realidad, el investigador o la investigadora que se dedica a estas actividades se suele mover por este tipo de recompensas emocionales, intangibles, ya que en muy raras ocasiones tras el esfuerzo hay una compensación económica o un reconocimiento dentro del mundo académico, pero los que nos dedicamos a la ciencia sabemos que podemos perseguir durante meses o años la resolución de un problema y la recompensa mayor siempre es saber que hemos encontrado una solución, y la segunda que el resto de la comunidad reconoce dicho mérito. Vivimos de esa gloria en un 90%, como los deportistas de élite o los artistas.

Sin embargo es cierto que, viviendo en el sistema que tenemos, esta recompensa casi espiritual no lo es todo, y es evidente que este tipo de actuaciones debería tener un mayor reconocimiento. No todas las instituciones dan importancia a este esfuerzo, y solo en algunos casos las actividades suponen un pequeño porcentaje en la valoración de las actividades de los investigadores a la hora de promocionar a lo largo de la carrera científica o en el momento de determinar los complementos salariales y productividades que dichas instituciones otorgan como incentivo. A pesar de esto, como señalan muchos informes [5], los investigadores y las investigadoras cada vez hacen más y más variadas actividades de divulgación, comunicación, formación en contextos no formales. Esto es así porque en realidad divulgar no requiere seguramente unas dotes innatas, sino tener interés por potenciar un poco más algunos aspectos de nuestra propia vocación científica, dedicando un tiempo a mirar a nuestro entorno, a conocer cómo son las personas que nos rodean y que contribuyen con sus recursos a nuestra actividad, a diseñar una estrategia para acercarse a ellas usando los muchos o pocos medios a nuestro alcance, y lanzarse a la aventura de la divulgación, una y otra vez, mejorando aquellos aspectos que no han funcionado tan bien. Lo seguro es que una vez que se dan los primeros pasos en este territorio, ya nunca se dejará de caminar por él.

### 6. Agradecimientos

El autor agradece a Araceli Sánchez Ruiz y a Mercedes González Cid, personal de la Delegación Institucional del CSIC en la Comunidad de Madrid, su contribución en algunas de las actividades descritas en este artículo. El autor, con este artículo, realiza un homenaje a Joaquín Tutor, buen amigo, excelente investigador, y fundador y coordinador de la Red NANODYF, recientemente fallecido.

### 7. Bibliografía

- [1] Convent B. Europe and the crisis in scientific vocations. *Eur J Educ* 2005; 40(4): 361-366.
- [2] van Tuijl, C, van der Molen JHW. Study choice and career development in STEM fields: an overview and integration of the research. *Int J Technol Des Educ* 2016; 26: 159-183.
- [3] Engelbrecht HJ. International R&D spillovers, human capital and productivity in OECD economies: An empirical investigation. *Eur Econ Rev* 1997; 41(8): 1479-1488.
- [4] Serena PA. Y yo quiero ser...Nanocientífico. En: Garrido Quintín Ed. *Ciencia, y yo quiero ser científico*. 2018 p. 395-398.: [cienciayyoquierosercientifico.blogspot.com.es/](http://cienciayyoquierosercientifico.blogspot.com.es/)
- [5] Ramos-Vielba, I, Castro-Martínez E, D'Este, P. Interacciones con actores no académicos. Encuesta a investigadores/as del sistema público español. *INGENIO (CSIC-UPV)*. 2018. [www.ingenio.upv.es/es/teams/proyecto-extra/resultados](http://www.ingenio.upv.es/es/teams/proyecto-extra/resultados) (Accedido May 14, 2018).
- [6] Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. *Boletín Oficial del Estado* 131, de 02/06/2011. [www.boe.es/boe/dias/2011/06/02/pdfs/BOE-A-2011-9617.pdf](http://www.boe.es/boe/dias/2011/06/02/pdfs/BOE-A-2011-9617.pdf) (Accedido May 14, 2018).
- [7] Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). [www.fecyt.es/](http://www.fecyt.es/) (Accedido May 14, 2018).
- [8] Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de España (MUNCYT). [www.muncyt.es/](http://www.muncyt.es/) (Accedido May 14, 2018).
- [9] Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica (VAPC) del CSIC. [www.csic.es/cys](http://www.csic.es/cys) (Accedido May 14, 2018).
- [10] Editorial. No turning back. *Nature* 2009; 462(7270): 137-138. [www.nature.com/articles/462137b](http://www.nature.com/articles/462137b)
- [11] Catanzaro M. Spain's biggest-ever science petition decries 'abandonment' of research. *Nature* 2018; 556(7701), 285-286. [www.nature.com/articles/d41586-018-04523-4](http://www.nature.com/articles/d41586-018-04523-4) (Accedido May 14, 2018).
- [12] Serena PA. La 'incomprensión' pública de la Nanotecnología. Sección "Nanotecnología". *El Mundo (Versión digital)* 2014. Publicado el 03/02/2014. [www.elmundo.es/ciencia/2014/02/03/52ebaf2d268e3e4f588b456a.html](http://www.elmundo.es/ciencia/2014/02/03/52ebaf2d268e3e4f588b456a.html) (Accedido May 14, 2018).
- [13] Martín-Gago JA, Casero E, Briones C, Serena PA. Unidad Didáctica Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro. Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECyT), 2008. [www.fecyt.es/es/system/files/publications/attachments/2014/11/unidaddidacticananocienciaynanotecnologia.pdf](http://www.fecyt.es/es/system/files/publications/attachments/2014/11/unidaddidacticananocienciaynanotecnologia.pdf) (Accedido May 14, 2018).
- [14] Serena PA. La Nanotecnología. Colección "Qué sabemos de". La Catarata y CSIC, 2010.
- [15] Martín-Gago JA, Serena PA, Briones C, Casero E. El nanomundo en tus manos: Las claves de la Nanociencia

y la Nanotecnología. Colección Drakontos. Crítica, 2014.

- [16] Bermejo M, Serena PA. Los riesgos de la Nanotecnología. Colección "Qué sabemos de". La Catarata y CSIC, 2017.
- [17] Serena PA, Giraldo JK, Takeuchi N, Tutor JD Eds. Guía Didáctica para la Educación de la Nanotecnología en Educación Secundaria. CYTED y Red NANODYF, 2014. [www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/LIBRO\\_GUIA\\_DIDACTICA.pdf](http://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/LIBRO_GUIA_DIDACTICA.pdf) (Accedido May 14, 2018) y [www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/ANEXOS\\_libroguiaidactica.rar](http://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/ANEXOS_libroguiaidactica.rar) (Accedido May 14, 2018).
- [18] Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF). [www.nanodyf.com/que-es-nanodyf](http://www.nanodyf.com/que-es-nanodyf) (Accedido May 14, 2018).
- [19] Programa Investiga I+D+I. Fundación San Patricio. [www.programainvestiga.org/](http://www.programainvestiga.org/) (Accedido May 14, 2018).
- [20] International Scanning Probe Microscopy Image Contest (SPMAGE). CSIC y UAM. [www.icmm.csic.es/spmage/galleries.php](http://www.icmm.csic.es/spmage/galleries.php) (Accedido May 14, 2018).
- [21] Serena PA. Acercando la nanotecnología a la sociedad: la exposición 'Un paseo por el nanomundo'. *Revista UNAM.DIGITAL* 2013. 14(4): 1-16. [www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art29/#up](http://www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art29/#up) (Accedido May 14, 2018).
- [22] Exposición "Un paseo por el Nanomundo". [www.csic.es/un-paseo-por-el-nanomundo](http://www.csic.es/un-paseo-por-el-nanomundo) (Accedido May 14, 2018).
- [23] del Águila B, Serena PA. Una experiencia de nanodivulgación: la serie de televisión '¿Qué sabemos de la nanotecnología?'. *Revista MOMENTO, Revista de Física de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá*, 2015. 49E: 49-58. [revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/50045/50703](http://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/50045/50703) (Acced. May 14, 2018).
- [24] Canal UNED. Serie "¿Qué sabemos de la nanotecnología?". [canal.uned.es/series/5a6f8215b111f57408b4569](http://canal.uned.es/series/5a6f8215b111f57408b4569) (Acced. May 14, 2018).
- [25] Serena PA. Una Experiencia en Nanoeducación: el Taller 'Explorando el Nanomundo'. *Revista MOMENTO, Revista de Física, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá*, 2013. 46E: 63-73. [revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/41986/43716](http://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/41986/43716) (Acced. May 14, 2018).
- [26] Serena PA. Cuaderno Experimenta "Nanotecnología". Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT), 2018. [www.muncyt.es/stfls/MUNCYT/Publicaciones/cuaderno\\_experimental\\_nanotecnologia.pdf](http://www.muncyt.es/stfls/MUNCYT/Publicaciones/cuaderno_experimental_nanotecnologia.pdf)
- [27] Serena PA. Convergencia para la divergencia: la senda nanotecnológica hacia la singularidad. En: *Aviador Dro. La voz de la Ciencia*. Fundación PIAS Spain 2012.
- [28] Serena PA. La Nanociencia y la Nanotecnología: en la frontera de lo pequeño. *Revista Española de Física* 2013; 27(1): 29-33.
- [29] Proyecto NanoEduca. [nanoeduca.cat/es/inicio/](http://nanoeduca.cat/es/inicio/) (Accedido May 14, 2018).
- [30] Serena PA. El CSIC y su papel en la transferencia del conocimiento desde los laboratorios a las aulas". *Revista Ciencia y Educación* 2018; 6:1-10. [sites.google.com/site/cienciayeducacionweb/home/ciencia-y-educacion/numero-6/el-csic-y-su-papel-en-la-transferencia-del-conocimiento-desde-los-laboratorios-a-las-aulas](http://sites.google.com/site/cienciayeducacionweb/home/ciencia-y-educacion/numero-6/el-csic-y-su-papel-en-la-transferencia-del-conocimiento-desde-los-laboratorios-a-las-aulas) (Accedido May 14, 2018).
- [31] Festival de la Nanociencia y la Nanotecnología. [10alamos9.es/es/congreso-de-nanotecnologia/](http://10alamos9.es/es/congreso-de-nanotecnologia/)