

Las acciones estratégicas y jurídicas de la Unión Europea sobre nanotecnología: el futuro que ya es presente

The European Union's strategic and legal actions on nanotechnology: the future that is already present

Dionisio FERNÁNDEZ DE GATTA SÁNCHEZ

Profesor Titular de Derecho Administrativo. Facultad de Derecho.
Universidad de Salamanca

Paula FERNÁNDEZ DE GATTA PÉREZ

Estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de Salamanca

Fecha de recepción: 30 de enero de 2017

Fecha de aceptación definitiva: 17 de noviembre de 2017

Resumen

La nanotecnología, y más en general la nanociencia, supone una revolución para la humanidad, por las innumerables aplicaciones de todo tipo que pueden desarrollar, aunque no sin riesgos; y entre los nanomateriales más interesantes e importantes destaca indudablemente el grafeno. En relación con ambas cuestiones tiene la Unión Europea una línea de acción desde

Abstract

Nanotechnology, and more generally Nanoscience, is a revolution for humanity, for the many applications of all types that can develop, although not without risks; and among the most interesting and important highlights undoubtedly graphene nanomaterials. Regarding both issues the European Union has a line of action for years,

hace años, en particular sobre nanotecnología. Este trabajo analiza brevemente la interesante historia de nacimiento de la nanotecnología y la política de la Unión Europea en la materia, a través de sus documentos estratégicos.

Palabras clave: nanotecnología; nanociencia; grafeno; historia; política europea; Unión Europea.

particularly on Nanotechnology. This paper briefly discusses the interesting history of birth of Nanotechnology and EU policy on the matter, through its strategic documents.

Keywords: Nanotechnology; nanoscience; graphene; history; European politics; European Union.

1. ASPECTOS GENERALES DE LA NANOTECNOLOGÍA Y DEL GRAFENO

La ciencia en el siglo XX (y por tanto, añadiríamos, también en el siglo XXI) ha llegado a un nivel de madurez en un proceso iniciado en el siglo XVIII y desarrollado en el siglo XIX¹; debiendo resaltarse que el desarrollo de la ciencia y de la técnica a partir de la Revolución Industrial, en el siglo XVIII, ha sido impresionante², y más concretamente que la evolución tecnológica y científica desde el final de la II Guerra Mundial y en el inicio del siglo XXI ha sido vertiginosa, confirmándose así el hecho de que el progreso de la humanidad, en todas sus derivaciones, ha estado jalonado por los avances científicos y tecnológicos³.

Indudablemente, la Revolución Industrial que supuso la invención de la máquina de vapor significó una apreciable aceleración del progreso de la ciencia, y así, tras ella, hasta los años 70 del siglo XX, los ferrocarriles y barcos de vapor, después los motores de combustión, los automóviles y demás vehículos, la electricidad, la industria química, la aeronáutica y la exploración espacial. Invenciones y avances tecnológicos que se han producido en intervalos de tiempo cada vez más cortos y cercanos entre ellos. Pero, desde finales del pasado siglo, los seres humanos nos encontramos ante dos

1. WATSON, P. 2006: *Historia intelectual del siglo XX* (trad. al español de D. León Gómez), Barcelona: Ed. Crítica, 14-18.

2. Sobre esa evolución, ver la excelente obra de WEIGHTMAN, G. 2008: *Los revolucionarios industriales. La creación del mundo moderno 1776-1914* (trad. al español de Á. López Lobo). Barcelona: Ed. Ariel y el libro de ORDÓÑEZ, J.; NAVARRO, V. y SÁNCHEZ RON, J. M. 2005: *Historia de la Ciencia*, Col. Austral, Madrid: Ed. Espasa Calpe. También es muy interesante la obra de MORRIS, I. 2014: «¿Por qué manda Occidente... por ahora?» (trad. de Juan Eloy Roca). Barcelona: Ed. Ático de los Libros.

3. Esta idea de que los avances científico-técnicos modulan el progreso de las sociedades ya la expuso el economista J. A. SCHUMPETER (1883-1950), al sistematizar la teoría de la repercusión económica y social de los llamados «ciclos de la innovación» en su libro *Business Cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*, publicado en 1939 [http://classiques.uqac.ca/classiques/Schumpeter_joseph/business_cycles/schumpeter_business_cycles.pdf] (todos los enlaces electrónicos de este trabajo se han consultado en octubre de 2016).

importantes procesos de desarrollo científico y tecnológico, como son, por un lado, la informática, internet y el mundo digital y las telecomunicaciones y, por otro lado, la nanociencia, la nanotecnología y los nanomateriales⁴, en particular algunos como el grafeno⁵.

1.1. Breve historia de la nanotecnología

La historia de la Humanidad es la historia de grandes logros y obras monumentales con fines diversos. No obstante, no es muy precisa la época en que los seres humanos comenzaron a interesarse por las cosas y los materiales pequeños, y sus ventajas para muchas acciones y actividades; teniendo en cuenta que, aunque la palabra es relativamente nueva, como veremos, la existencia de objetos y estructuras de dimensiones muy pequeñas no lo es, pues han existido en la Tierra desde el mismo origen de la vida (y un ejemplo es el molusco llamado «oreja de mar»)⁶.

Es bien conocido que los vidrieros romanos, en el siglo IV a. C., fabricaban objetos de cristal que contenían en su interior metales de tamaño milimétrico, como la copa que representa la muerte del rey Licurgo, actualmente en el Museo Británico de Londres, fabricada con vidrio de sosa y cal, y que, debido a las minúsculas partículas de oro y plata de su interior, cambia de color con una fuente luminosa. Asimismo, la gran variedad de colores de las impresionantes vidrieras de las catedrales europeas de la Edad Media se debe a la presencia de nanopartículas metálicas en el vidrio⁷.

Siglos después, el químico e inventor Robert BOYLE (1627-1691) llamaría la atención sobre unas pequeñas partículas de materia que se combinan de varias maneras para formar lo que denominó «corpúsculos», que los definió como diminutas masas o cúmulos que no son fáciles de disipar en las partículas que las formaron.

4. Por todos, ver VAJTAI, R. (ed.) et al. 2013: *Springer Handbook of Nanomaterials*. Berlin (Germany): Springer-Verlag.

5. DÍAZ DÍAZ, J. I. 2014: «Introducción». En varios autores-Ministerio de Defensa: *Nanociencia, Nanotecnología y Defensa*. Madrid: Ed. Ministerio de Defensa, 9-50 [http://www.defensa.gob.es/ceseden/Galerias/destacados/publicaciones/monografias/ficheros/142_NANOCIENCIA_NANOTECNOLOGIA_Y_DEFENSA.pdf].

6. POOLE Jr., Ch. P. y OWENS, F. J. 2007: *Introducción a la Nanotecnología* (trad. de R. Cao Vázquez, de la ed. estadounidense de 2013). Barcelona: Ed. Reverté; ALONSO GUTIÉRREZ, B. J. y otros. 2015: «La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias». *Ingenierías*, 2015, n.º 66: 13-22.

7. En 1857, Michael FARADAY (1791-1867) trató de explicar, precisamente, cómo las pequeñísimas partículas metálicas influyen en el color de las ventanas de iglesias y catedrales, y en 1908 sería Gustav MIE (1869-1957) quien atribuyó esos cambios de color al tamaño y al tipo de metal.

Asimismo, debemos resaltar la trascendencia de la fotografía, pues la película fotográfica está formada por una fina capa de gelatina que contiene haluros de plata, como el bromuro de plata, y por una base de acetato de celulosa transparente; y la luz descompone los haluros de plata, produciendo partículas pequeñísimas de plata, que forman los píxeles de la imagen. Varios científicos franceses e ingleses trabajaron en ello en los siglos XVIII y XIX, siendo James CLERK (1831-1879) el primero que obtuvo una foto en color en 1861, y algo más tarde el famoso inventor George EASTMAN (1854-1932), fundador de la Eastman Kodak Company, fabricaría una película fotográfica formada por una tira de papel recubierta con una emulsión que contenía haluros de plata, haciéndola flexible para que pudiera enrollarse (el «rollo de película»), que sustituiría a la placa de cristal y que supuso un trascendental avance para la fotografía.

Sin embargo, no sería hasta 1959 el momento en que nace la nanotecnología. En efecto, el 20 de diciembre de ese año, el ingenioso profesor e investigador Richard Ph. FEYNMAN (1918-1988) pronunció una conferencia en la Sociedad Americana de Física, en el Instituto de Tecnología de California-Caltech (Pasadena, Cal., Estados Unidos), con el título «There's plenty of room at the bottom. An invitation to enter a new field of physics» («Hay bastante espacio en el fondo. Una invitación para entrar en un nuevo campo de la física»)⁸, en la que puso los pilares de lo que más tarde se conocería ya como nanotecnología, al tratar sobre cómo manipular, controlar y fabricar objetos de muy pequeñas dimensiones, aunque abordando el problema desde una perspectiva

8. FEYNMAN, R. P. 1960: «There's plenty of room at the bottom. An invitation to enter a new field of physics». *Caltech Engineering and Science* (California Institute of Technology), February 1960, 22-36 [<http://calteches.library.caltech.edu/47/3/ES.23.5.1960.0.pdf>]. Es interesante el enlace: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.

En general, sobre la curiosa personalidad de este científico, ver FEYNMAN, R. P. 2016: *¿Está usted de broma Sr. Feynman?* Madrid: Alianza Editorial, y la obra de su hija FEYNMAN, Michelle. 2016: *Richard P. Feynman. La física de las palabras*. Barcelona: Ed. Crítica, y sobre su esencial contribución al nacimiento de la nanotecnología, ver ALONSO GUTIÉRREZ, B. J. y otros: «La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias», *op. cit.*, 14; LOURTIOZ, J.-M. et al. (eds.). 2016: *Nanosciences and Nanotechnology. Evolution or Revolution?* Switzerland: European Materials Research Society-Springer International Publishing, 2-4; MARTÍN GAGO, J. Á. y SERENA DOMINGO, P. A. 2009: «De la Nanociencia a la Nanotecnología: en las fronteras de la Física del Estado Sólido». *Revista Española de Física*, octubre-diciembre, 2009: 3-8 [<http://digital.csic.es/bitstream/10261/32749/1/rev-espanola-de-fisica-2009-gago.pdf>]; POOLE Jr., Ch. P. y OWENS, F. J. *Introducción a la Nanotecnología*, *op. cit.*, 2-3, y KRULFELD, B. G. 2012: *Nanotecnología*. Trabajo de Final de Grado, Facultad de Ingeniería-Universidad de Palermo (Buenos Aires, Argentina) [https://dspace.palermo.edu:8443/dspace/bitstream/handle/10226/1430/Paper_Nanotecnologia_v3.docx?sequence=1&isAllowed=y].

En relación con los precursores de la nanotecnología, es fundamental la obra de EDWARDS, S. A. 2006: *The Nanotech Pioneers: Where Are They Taking Us?* Weinheim (Germany): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA [<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527612086.fmatter/pdf>]; principalmente el capítulo 2.º, «The Visionaries», 15-40.

distinta a como se había hecho hasta el momento y abriendo así nuevas posibilidades a la Ciencia y a la propia Humanidad. En concreto, propuso manipular los átomos individualmente para poder construir pequeñas estructuras que poseyeran las más variadas propiedades y reconoció la existencia de nanoestructuras en sistemas biológicos. Por otra parte, debe señalarse que FEYNMAN colaboró de manera sustancial en el Proyecto Manhattan, sobre las primeras bombas atómicas (asistiendo al ensayo de la bomba *Trinity*, el 16 de julio de 1945); que años después, concretamente en 1965, recibió el Premio Nobel de Física por su contribución a la electrodinámica cuántica, y que colaboraría con la Comisión Presidencial Rogers que investigó el accidente del transbordador espacial *Challenger*, producido el 28 de enero de 1986⁹.

No obstante, y como ha ocurrido en relación con otros descubrimientos, en estos años del pasado siglo hubo otros científicos que investigaban el mundo de lo minúsculo, como Ralph W. LANDAUER (1927-1999), que trabajando para IBM propuso en 1957 ideas sobre la electrónica a escala nanométrica, o Arthur UHLIR (1926-2016), que descubrió el silicio poroso en los laboratorios Bell, en Estados Unidos, mientras intentaban desarrollar una técnica para pulir obleas de silicio, al darse cuenta de que bajo ciertas condiciones se producía una disolución parcial de la oblea, y así lo obtenía; y se realizaron proyectos en otras áreas que también contribuyeron a esta evolución, como el desarrollo de fluidos con nanopartículas magnéticas («ferrofluidos»), o la obtención de nanopartículas de metales alcalinos¹⁰.

Sin embargo, el término *Nanotecnología* fue acuñado en 1974 por el profesor Norio TANIGUCHI (1912-1999)¹¹, de la Universidad de Ciencia de Tokio, en un artículo titulado «On the Basic Concept of Nano-technology», que se presentó en una conferencia

9. Ver el enlace oficial https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-facts.html, y FEYNMAN, R. P. 1986: *Rogers Commission Report, Volume 2 Appendix F—Personal Observations on Reliability of Shuttle*, NASA [<http://history.nasa.gov/rogersrep/v2appf.html>].

10. POOLE Jr., Ch. P. y OWENS, F. J. *Introducción a la Nanotecnología*, op. cit., 3-4.

11. BASSETT, D. R. 2010: «Tanaguchi, Norio». En D. H. Guston (ed. general) et al.: *Encyclopedia of Nanoscience and Society*, vol. 2, Los Angeles (California, USA): SAGE Publications, Inc., 747-748 [file:///C:/Users/a/Documentos/Downloads/Bassett_Taniguchi_nanoencyclopedia.pdf]; MCCRAY, W. P. 2005: «Will Small Be Beautiful? Making Policies for Our Nanotech Future». *History and Technology. An International Journal*, 2005, v. 21/2: 177-203; MARTÍN GAGO, J. Á. y SERENA DOMINGO, P. A. «De la Nanociencia a la Nanotecnología: en las fronteras de la Física del Estado Sólido», op. cit.; QUINTILI, M. 2012: «Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño». *Cuaderno 42, Centro de Estudios en Diseño y Comunicación* (Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina), 2012: 125-155 [http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicaciones_dc/archivos/378_libro.pdf]; SERENA DOMINGO, P. A. 2013: «La Nanotecnología, una revolución desconocida». *Encuentros Multidisciplinares* (Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid), 2013, n.º 45. Ejemplar dedicado a: «Avances y perspectivas en distintas disciplinas», 32-40 [<http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%BA45/Pedro%20Serena.pdf>].

de la Sociedad Japonesa de Ingeniería de Precisión¹², definiéndola como la tecnología que permite separar, consolidar y deformar materiales átomo a átomo o molécula a molécula.

No obstante, estas nuevas ideas no se irían concretando hasta años después. En efecto, será el ingeniero Kim Eric DREXLER (1955-)¹³, doctor en Nanotecnología Molecular por el prestigioso Instituto Tecnológico de Massachusetts (siendo el primero en este campo), quien, con cierta polémica, establecerá en 1981 los principios fundamentales de la ingeniería y el diseño moleculares, la ingeniería de proteínas y los nanosistemas productivos, y detallará las vías de desarrollo de las nanotecnologías avanzadas¹⁴, y posteriormente, en 1986¹⁵, describe los procesos mediante los que unas nanomáquinas construirían objetos e instrumentos, desde los más sencillos a otros más complejos, ensamblando molécula a molécula, de una manera parecida a la que se ha realizado en las células del cuerpo humano; creándose un engranaje de moléculas en el que unas hacen moverse a otras, lográndose un verdadero efecto mecánico, como se demostrará años después; e imaginó un mundo con una especie de «coordinadores moleculares», de máquinas del tamaño de una molécula que tomarían átomos individuales y los ubicarían exactamente donde hiciera falta en el objeto o instrumento en construcción. Sin duda, su visión incluía una revolución en la tecnología de la fabricación.

12. TANIGUCCI, N. 1974: «On the Basic Concept of Nano-Technology». En *Proceedings of the International Conference on Production Engineering, Tokyo*. Tokyo: Japan Society of Precision Engineering, 18-23, y TANIGUCHI, N. (ed.) et al. 1996: *Nanotechnology: Integrated Processing Systems for Ultra-precision and Ultra-fine Products*. Oxford (England): Oxford University Press.

13. Ver el interesante Eric DREXLER's blog: *Matamodern. The Trajectory of Technology*: <http://metamodern.com/about-the-author/>. Sobre este científico, vid. EDWARDS, S. A. *The Nanotech Pioneers: Where Are They Taking Us?*, cit., 18-21; MARTÍN GAGO, J. Á. (coord.) y otros. 2009: *Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), 40; MARTÍN GAGO, J. Á. y SERENA DOMINGO, P. A. «De la Nanociencia a la Nanotecnología: en las fronteras de la Física del Estado Sólido», *op. cit.*, 3.

14. DREXLER, K. E. 1981: «Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation». *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, September 1981, vol. 78, n.º 9: 5275-5278 [<http://www.pnas.org/content/78/9/5275.full.pdf>].

15. DREXLER, K. E. 1986: *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York (USA): Anchor Press/Doubleday (existe traducción española: *La nanotecnología. El surgimiento de las máquinas de creación*. Barcelona: Ed. Gedisa, 1993). Posteriormente, publicaría otras dos obras muy importantes: *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*. New York (USA): John Wiley & Sons, Inc., 1992, y *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization*. New York (USA): PublicAffairs Books (Perseus Books Group), 2013.

A los anteriores pioneros siguieron otros visionarios (como MERKLE, KURZWEIL, VON EHR, RUSKA y BINNING, ROCO y, especialmente, KURL, Jr.; KROTO y SMALLEY, descubridores de los fullerenos, por lo que obtuvieron el Premio Nobel de Química en 1996; IJIMA, descubridor de los nanotubos de carbono, entre otros) y la implicación de algunas importantes empresas (como los laboratorios Bell, el MIT o IBM, que consiguió a finales de los 80 escribir el logo de la empresa a escala atómica), provocando un aumento notable de la investigación en este campo, con unos destacables resultados (la obtención de cúmulos metálicos; los fullerenos, en honor del arquitecto Buckminster FULLER, siendo el primero el C60; la microscopía de efecto túnel y de fuerza atómica; los cristales fotónicos; los nanotubos de carbono; el grafeno, etc.), que abrieron nuevos campos de aplicaciones industriales, y el creciente interés, p. ej., del Gobierno federal de los Estados Unidos, a partir del estudio de la Fundación americana de Ciencia (National Science Foundation) de 1996 evaluando la situación, el desarrollo y las tendencias de la nanociencia y la nanotecnología, que trajo consigo un considerable aumento de la financiación federal en estas materias (de 100 millones de dólares en 1997 se pasarían a más de 500 en 2002) y la creación en 1998 de un Grupo de Trabajo Interagencias en estas materias (Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology), así como su desarrollo en otros países, y la creación en 1998 de la primera empresa (Zyvex Corporation, con sede en Richardson, Texas, USA, y actualmente con secciones en materia de tecnología, laboratorios e instrumentos)¹⁶ dedicada a desarrollar materiales nanoestructurados e integrarlos en diversas áreas (como las industrias aeroespacial, automotriz, marítima, de salud, deportiva o alimentaria)¹⁷.

Posteriormente hasta la actualidad, la nanotecnología se ha consolidado científica e industrialmente, y se han realizado muchos descubrimientos, aunque se producirán muchos más en el futuro, siendo posible poder afirmar que la no muy lejana nueva revolución industrial vendrá estrechamente unida a la misma, a los productos y procesos generados.

Y así, en octubre de 2016 los científicos J.-P. SAVAGE (profesor emérito de la Universidad de Estrasburgo, Francia), J. FRASER STODDART (actualmente en la Universidad de Northwestern, Evanston, Illinois, USA) y B. L. FERINGA (profesor en la Universidad de

16. Ver su enlace oficial: <http://www.zyvex.com/>.

17. Por todos, ver EDWARDS, S. A. *The Nanotech Pioneers: Where Are They Taking Us?*, *op. cit.*, principalmente el capítulo 2.º, «The Visionaries», 15-40; ALONSO GUTIÉRREZ, B. J. y otros. «La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias», *op. cit.*; HORNYAK, G. L. *et al.* 2009: *Introduction to Nanoscience and Nanotechnology*. Boca Raton (Florida, USA): CRC Press (Taylor and Francis Group), 13-40; POOLE Jr., Ch. P. y OWENS, F. J. *Introducción a la Nanotecnología*, *op. cit.*, 1-8, y QUINTILI, M. «Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño». *Cuaderno 42, Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, obra citada.

Groningen, Países Bajos) han sido galardonados con el Premio Nobel de Química 2016 «por el diseño y síntesis de máquinas moleculares»¹⁸.

La nanociencia¹⁹ y la nanotecnología constituyen nuevas aproximaciones a la investigación, la innovación y al desarrollo industrial y general en base al control de la estructura fundamental y el comportamiento de la materia a nivel atómico y molecular, con lo que se abre la posibilidad de estudio de nuevos fenómenos y el descubrimiento de nuevas propiedades susceptibles de ser utilizables tanto a escala macroscópica como microscópica²⁰.

La base de ambos conceptos, y este nuevo mundo de lo pequeño, es el nanómetro (nm), que según el Sistema Internacional de Unidades equivale a 1×10^{-9} metros, es decir, una milmillonésima parte de un metro (= 0,000000001); teniendo en cuenta, como comparación, que el diámetro de un cabello humano mide 75.000 nm y que el espesor de la doble hélice del ADN es de 2 nm. Las nanopartículas han de tener tres características: que su tamaño esté comprendido entre 1 y 100 nm al menos en una dimensión (0D, 1D, 2D); que las propiedades de los materiales cambien en este rango y que exista un control, y entendimiento de lo que se está fabricando²¹.

En un primer momento, como sabemos, la nanotecnología²² fue definida como la tecnología que permite separar, consolidar y deformar materiales átomo a átomo o

18. Ver el enlace oficial: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/press.html.

19. Con carácter general, puede definirse la «Nanociencia» como la ciencia de la síntesis, el análisis y la manipulación de materiales a escala atómica o nivel molecular, donde las características o propiedades físicas o químicas son sustancialmente diferentes a las mostradas por el mismo material a una escala mayor (micro o macro). Vid. BENÍTEZ MARTÍNEZ, S. 2015: *Contribuciones del Grafeno a la Nanociencia y Nanotecnología Analíticas*. Tesis Doctoral, Departamento de Química Analítica-Universidad de Córdoba [<http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/12609>], 15.

20. COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. 2004: «Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías». COM (2004) 338 final, Bruselas, 12.5.2004, 3 [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1468175231029&uri=CELEX:52004DC0338>].

21. ALONSO GUTIÉRREZ, B. J. y otros. «La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias», *op. cit.*, 14-15.

22. En general, ver ALONSO GUTIÉRREZ, B. J. y otros. «La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias», *op. cit.*; BHUSHAN, B. «Introduction to Nanotechnology». En BHUSHAN, B. (ed.) *et al.* 2010: *Springer Handbook of Nanotechnology*, 3rd. Ed. Berlin (Germany): Springer Verlag, 1-13; BHUSHAN, B. (ed.) *et al.* 2016: *Encyclopedia of Nanotechnology*, 4 vols. Dordrecht (Netherlands): Springer; EDWARDS, S. A. *The Nanotech Pioneers: Where Are They Taking Us?*, *op. cit.*, principalmente el capítulo 1.º, «The Promise of Nanotechnology», 1-14; GARKOV, V.; BONToux, L. y MARTIN, Ph. 2010: «Into the unknown». *Public Service Review: European Unión*, issue 19, april 13, 2010, 1-4 [http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/docs/unknown_en.pdf]; HORNYAK, G. L. *et al.* 2009: *Introduction to Nanoscience and Nanotechnology*. Boca Raton (Florida, USA): CRC Press (Taylor and Francis Group), 13-40; KULKARNI, S. K. 2015: *Nanotechnology: Principles and Practices*, 3rd ed. Cham, Switzerland: Springer

molécula a molécula. Posteriormente, la Organización Internacional de Estandarización (ISO)²³ la define como la comprensión y control de la materia, incluyendo la síntesis de materiales, y los procesos a escala nanométrica, por lo general, aunque no exclusivamente, por debajo de 100 nanómetros de una o más dimensiones, donde la aparición de fenómenos dependientes del tamaño permite en general nuevas aplicaciones, así como utilización de las propiedades de los materiales a nanoescala que difieren de las propiedades de los átomos, las moléculas y de materiales a granel, para crear materiales nuevos y dispositivos y sistemas que explotan esas nuevas propiedades. Por otra parte, a nivel científico, se caracteriza por su interdisciplinariedad, sólo reconducida y cohesionada por la nanoescala.

Según la Comisión Europea, conceptualmente, la nanotecnología se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, y a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala; propiedades que pueden ser observadas y explotadas tanto a escala microscópica como macroscópica, p. ej., para el desarrollo de materiales e instrumentos con nuevas funciones y prestaciones.

Por otra parte, a nivel científico, se caracteriza por su interdisciplinariedad, sólo reconducida y cohesionada por la nanoescala. Así, se suele aludir a ella como una ciencia horizontal, clave o capacitadora, ya que puede considerarse en casi todos los sectores tecnológicos y, además, frecuentemente reúne efectivamente a distintas áreas científicas, resultando muy favorecida por los enfoques interdisciplinares o convergentes, permitiendo así la introducción de innovaciones que den respuesta a múltiples problemas y permita el desarrollo humano en múltiples ámbitos, como la medicina y la salud, las tecnologías de la información, el sector energético, los materiales y la fabricación en general, los instrumentos de todo tipo, la alimentación en general, el agua, el medio ambiente o la seguridad, entre otros. De hecho desde hace algunos años, ya se comercializan productos variados desarrollados mediante nanotecnología, como productos sanitarios (p. ej., vendajes o válvulas cardíacas), componentes electrónicos e informáticos, pinturas especiales, equipos y productos deportivos, productos textiles o lociones solares. En 2004, la Comisión Europea cifraba el mercado de

International Publishing and New Delhi, India: Capital Publishing Company; LOURTIOZ, J.-M. *et al.* (eds.). *Nanosciences and Nanotechnology. Evolution or Revolution?*, op. cit.; MARTÍN GAGO, J. Á. (coord.) y otros. *Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*, op. cit.; POOLE Jr., Ch. P. y OWENS, F. J. *Introducción a la Nanotecnología*, op. cit., 1-8; QUINTILI, M. «Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño». *Cuaderno 42, Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, obra citada, y VARIOS AUTORES. 2014: *Nanociencia, Nanotecnología y Defensa*. Madrid: Escuela de Altos Estudios de la Defensa (Ministerio de Defensa) [http://www.defensa.gob.es/ceseden/Galerias/destacados/publicaciones/monografias/ficheros/142_NANOCIENCIA_NANOTECNOLOGIA_Y_DEFENSA.pdf].

23. Ver el enlace <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:51767:en>.

estos productos y materiales en 2.500 millones de euros, previendo que ascendería a cientos de millones de euros en 2010 y cerca del billón de euros en la actualidad²⁴.

Por tanto, la trascendencia de la nanotecnología en el presente y sobre todo para el futuro de la Humanidad es importantísima, destacando las expectativas que genera el grafeno, y por ello la acción de la Unión Europea en estos ámbitos es cada vez mayor.

1.2. El grafeno: historia, importancia y relación con la nanotecnología

En la historia de la nanotecnología, como hemos señalado, deben resaltarse tres partículas clave: primero, el fullereno (descubierto en 1985, siendo el más común el C₆₀, que contiene 60 átomos en hexágonos y pentágonos, cuyo descubrimiento por R. KURL Jr., H. KROTO y R. SMALLLEY les valió el Premio Nobel de Química en 1996), después los nanotubos de carbono (descubiertos por S. IJIMA en 1991) y últimamente el grafeno (que fue aislado por primera vez por A. GEIM y K. NOVOSELOV, por lo que se les concedió el Premio Nobel de Física en 2010)²⁵.

El grafeno es un sólido bidimensional formado por átomos de carbono organizados en anillos hexagonales interconectados; está compuesto por átomos de carbono organizados en una red en forma de panal de abejas, y puede poseer una, dos o varias capas, pero no más de diez. Es componente de varios materiales naturales y artificiales como lo son el grafito, el carbón, los nanotubos o los fullerenos.

El término grafeno fue utilizado por primera vez en 1987, aunque el concepto era conocido desde 1947 (concretamente, Ph. R. WALLACE publicó un trabajo en relación

24. COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. «Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías», cit., 4-7.

25. En general, ver ALONSO GUTIÉRREZ, B. J. y otros. «La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias», obra citada; FIGUERAS, A. y PASCUAL, A. 2007: «Nanomateriales». En C. Mijangos y J. S. Moya: *Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 53-62 [<file:///C:/Users/a/Documentos/Downloads/Nuevos%2520Materiales.pdf>]; MARCACCIO, M. y PAOLUCCI, F. (eds.) et al. 2014: *Making and Exploiting Fullerenes, Graphene, and Carbon Nanotubes*. Berlin-Heidelberg (Germany): Springer-Verlag; MARTÍN GAGO, J. Á. (coord.) y otros. *Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*, op. cit., principalmente, el capítulo 3, sobre «Nanomateriales: nuevos materiales para un nuevo siglo», 71-91; MARTÍN, N. 2011: «Sobre Fullerenos, Nanotubos de Carbono y Grafenos». *Arbor*, 2011, Extra 1, 115-131 [<http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1254/1259>]; MARTÍN GAGO, J. Á. y SERENA DOMINGO, P. A. «De la Nanociencia a la Nanotecnología: en las fronteras de la Física del Estado Sólido», obra citada; POOLE Jr., Ch. P. y OWENS, F. J. *Introducción a la Nanotecnología*, op. cit., 113-144, y PLAZA DEL OLMO, J. «Desarrollo de nanotecnologías capacitadoras para seguridad y defensa». En varios autores: *Nanociencia, Nanotecnología y Defensa*, op. cit., 155-203.

con el comportamiento electrónico del grafito que despertó cierto interés científico)²⁶, pero únicamente en teoría, ya que se creía que una estructura de dos dimensiones no podría existir físicamente. La definición oficial fue dada por la International Union of Pure and Applied Chemistry en 1994, que considera al grafeno como «una sola capa de la estructura de grafito, describiendo su naturaleza por analogía a un hidrocarburo policíclico aromático de tamaño cuasi infinito»²⁷.

En el año 2004, dos científicos rusos trabajando en la Universidad de Manchester (Reino Unido), A. GEIM (1958-) y K. NOVOSELOV (1974-)²⁸, junto con otros colegas del Instituto de Chernogolovka (Rusia), lograron obtener una sola capa de grafito, es decir, aislaron el grafeno, mediante una técnica tan sencilla que sorprendió al mundo científico, al consistir en poner un trozo de grafito entre dos capas de cinta adhesiva de celofán (de la marca Scotch, concretamente), y al separarlas se queda pegado en cada una de ellas un fragmento más fino de grafito, y repitiendo el proceso varias veces se acaba por tener trozos de una sola capa atómica de espesor, que son transferidos a una superficie de óxido de silicio para analizar y medir sus propiedades electrónicas. Dicha técnica, asombrosamente sencilla, el propio aislamiento del grafeno (que parece ser que no era lo que concretamente buscaban sus descubridores) y algunas de sus sorprendentes propiedades las describieron en el trabajo publicado en la prestigiosa revista *Science* el 22 de octubre de 2004²⁹, y en 2010, como hemos señalado, se les concedió el Premio Nobel de Física por estos trabajos³⁰.

El grafeno³¹ posee un buen número de importantes propiedades, entre las que destacan las electrónicas (debido a gran movilidad de carga y por su comportamiento

26. WALLACE, Ph. R. 1947: «The Band Theory of Graphite». *Physical Review*, may 1947, vol. 71, issue 9: 622-634 [<http://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.71.622>].

27. IUPAC. 1997: *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the «Gold Book»), compiled by A. D. MCNAUGHT and A. WILKINSON. Oxford (United Kingdom): Blackwell Scientific Publications [<http://www.iupac.org/goldbook/G02683.pdf>].

28. APS PHYSICS NEWS (American Physical Society), «October 22, 2004: Discovery of Graphene», October 2009, Volume 18, Number 9 [<http://www.aps.org/publications/apsnews/200910/physicshistory.cfm>].

29. NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K. *et al.* 2004: «Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films». *Science*, 22 Oct. 2004, vol. 306, issue 5696: 666-669 [<http://science.sciencemag.org/content/sci/306/5696/666.full.pdf>], y NOVOSELOV, K. S. y GEIM, A. K. 2007: «The rise of graphene». *Nature Materials*, 2007, n.º 3: 183-1991 [<http://www.nature.com/nmat/journal/v6/n3/pdf/nmat1849.pdf>].

30. Ver el enlace oficial: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/.

31. En general, sobre el grafeno y sus propiedades y aplicaciones ver las excelentes obras de BROWNSON, D. A. C. y BANKS, C. E. 2014: *The Handbook of Graphene Electrochemistry*. London (United Kingdom): Springer-Verlag; BENÍTEZ MARTÍNEZ, S. *Contribuciones del Grafeno a la Nanociencia y Nanotecnología Analíticas*, obra citada; NAZARPOUR, S. y WAITE, S. R. (ed.) *et al.* 2016: *Graphene Technology. From Laboratory to Fabrication*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (Germany); VÁZQUEZ DE PARGA, A. L. 2011: «Ha nacido una estrella.

entre conductor metálico y semiconductor, que facilita la conductividad eléctrica, siendo mayor que la del cobre u otro metal), ópticas (por su capacidad de absorción de la luz y su fotoluminiscencia), térmicas (por su gran conductividad, muy idóneo para disipar calor, y es muy estable térmicamente, tanto a bajas como a altas temperaturas, y tiene el punto de fusión más alto conocido), las mecánicas (por su carácter elástico, de hasta un 20% volviendo a su posición anterior después, puede doblarse sin problemas, su extrema ligereza y, al mismo tiempo, elevada resistencia), las químicas (resiste cualquier grado de pH, tanto ácido como alcalino, y es inerte ante sustancias químicas muy activas) o su carácter impermeable (puede usarse como una membrana que ni el helio es capaz de atravesar), e incluso es susceptible de ser alterado para conseguir modular las propiedades anteriores e incluso conseguir otras nuevas, por lo que posee gran potencial para la transformación de las tecnologías actuales y futuras, y generar otras nuevas, incluyendo dispositivos nanoelectrónicos, baterías, células solares, optoelectrónica, materiales compuestos o aplicaciones biotecnológicas, entre otras, pues prácticamente no hay producto alguno que no pueda mejorarse a partir del grafeno. De hecho, cada una de esas propiedades, aisladas, ya haría interesante al grafeno, pero todas ellas juntas lo hacen verdaderamente excepcional.

El grafeno, efectivamente, puede tener una amplia gama de posibles aplicaciones en dispositivos y todo tipo de instrumentos tecnológicos³². Entre ellos, pueden destacarse dispositivos de alta frecuencia y electrónicos en general, por su flexibilidad; pantallas táctiles flexibles para todo tipo de dispositivos; mejor desempeño de LEDs; celdas solares, por ser más flexibles, ligeras y eficientes para capturar la energía solar y convertirla en electricidad; baterías y supercapacitores; láseres ultrarrápidos; la administración de medicamentos, tanto como derivados solubles en agua o para fabricar nanodispositivos que liberen medicamentos en las cantidades prescritas; calzado más duradero; retardantes de llama; sistemas de disipación de calor; carrocerías de todo tipo de vehículos; pantallas de televisión enrollables; protectores contra la electricidad estática; barreras electromagnéticas; sensores de golpes y de presión; detectores de roturas internas; sensores químicos y biológicos; materiales compuestos; células fotovoltaicas; sistemas piezoeléctricos; circuitos impresos; almacenamiento de hidrógeno;

El grafeno». *Anales de Química (Real Sociedad Española de Química)*, 2011, vol. 107, n.º 3: 213-220 [<http://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/236/229>]; WOLF, E. L. 2014: *Applications of Graphene. An Overview*. New York: Springer; ZHAO, J.; LIU, L. y LI, F. 2015: *Graphene Oxide: Physics and Applications*. Heidelberg (Germany): Springer; y de forma más divulgativa FERNÁNDEZ BAYO, I. 2012: «La edad del grafeno». *Estratos*, 2012, n.º 104: 36-40;

32. GHAFFARZADEH, Kh. *Graphene, 2D Materials and Carbon Nanotubes: Markets, Technologies and Opportunities 2016-2026* [<http://www.idtechex.com/research/reports/graphene-2d-materials-and-carbon-nanotubes-markets-technologies-and-opportunities-2016-2026-000465.asp>].

biotecnología; tintas, adhesivos y pinturas más resistentes, e incluso la generación de electricidad mediante ósmosis (a partir de agua de mar, agua dulce y una membrana de disulfuro de molibdeno, de sólo tres átomos de espesor, con un pequeñísimo agujero, un nanoporo, a través del cual pasan los iones del agua de mar al agua dulce hasta que las concentraciones de sal de ambas son iguales, y a medida que los iones pasan por el nanoporo, sus electrones se transfieren a un electrodo, que se utiliza para generar una corriente eléctrica).

Las excelentes propiedades térmicas, mecánicas, estructurales y eléctricas que presenta el grafeno son precisamente de gran relevancia en la nanociencia y la nanotecnología, aunque dependen en gran medida de la forma en que la monocapa sea obtenida, así como del número de capas que conformen el grafeno. Entre las principales técnicas de obtención del grafeno pueden destacarse dos categorías: las técnicas descendentes o *Top-Down* (distintos métodos de exfoliación a partir del grafito) y las rutas ascendentes o *Bottom-Up* (deposición química de vapor, crecimiento epitaxial, arco de descarga, síntesis química, etc.).

2. LA LÍNEA ESTRATÉGICA DE ACCIÓN Y NORMATIVA DE LA UNIÓN EUROPEA SOBRE NANOTECNOLOGÍA

2.1. Investigación, desarrollo e innovación en la Unión Europea

Sobre la base de considerar que la investigación, el desarrollo y la innovación contribuyen a hacer de Europa un buen sitio para vivir y trabajar, que impulsan la competitividad, el crecimiento y la creación de empleo y que mejoran la sanidad, el transporte, los servicios digitales e innumerables productos y servicios, gracias a lo que la población vive mejor, la Unión Europea³³, en el marco de los Tratados Europeos, a lo largo de la historia (concretamente, la investigación pasó a ser oficialmente una Política Comunitaria en 1986, con el Acta Única Europea, cuyo objetivo es fortalecer las bases científicas y tecnológicas de la industria europea y favorecer su competitividad internacional), hasta los actuales Tratado de la Unión Europea (ex art. 3-3.º, al incluir entre sus objetivos el progreso científico y técnico) y Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (que prevé la Política en materia Investigación y Desarrollo

33. COMISIÓN EUROPEA. 2016: *Comprender las políticas de la Unión Europea: Investigación e innovación*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea [file:///C:/Users/a/Documents/Downloads/NA0116210ESN_002.pdf]; PLAZA RUIZ, C. 2016: *Política de Investigación e Innovación*. Universidad Politécnica de Madrid y TODT, O. 2006: «La gobernanza tecnocientífica en la Unión Europea». *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, septiembre de 2006, n.º 7, vol. 3: 21-42 [<http://www.revistacts.net/volumen-3-numero-7/54-articulos/129-la-gobernanza-tecnocientifica-en-la-union-europea>].

Tecnológico y Espacio, ex arts. 4 y 179 a 190)³⁴, ha desarrollado una Política propia de Investigación, Desarrollo e Innovación desde 1983, en que se pone en marcha el programa *Esprit* (Programa Estratégico Europeo de Investigación en el ámbito de las Tecnologías de la Información), y al que siguió, en 1984, el Primer Programa Marco de Investigación, que se centró en temas de biotecnología, telecomunicaciones y tecnología industrial; posteriormente, en 2000, se crea el Espacio Europeo de Investigación unificado; en 2007 se crea el Consejo Europeo de Investigación, dentro del Séptimo Programa Marco, con el objeto de apoyar la investigación, y en 2008 se funda el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología, con sede en Budapest, con la finalidad de integrar plenamente los tres lados del llamado «triángulo del conocimiento» (educación superior, investigación y empresa) a través del apoyo a los grupos de conocimiento e innovación, y que empezó a funcionar en 2010.

En este mismo año 2010, la Unión Europea pone en marcha la iniciativa «Unión por la Innovación»³⁵, que constituye un elemento esencial de la Estrategia Europa 2020, con más de 30 líneas destinadas a mejorar el acceso y las condiciones de financiación de la investigación y la innovación, y que tiene por objeto facilitar que las ideas innovadoras puedan convertirse en productos y servicios que generen crecimiento y empleo.

En 2014 se pone en marcha la ambiciosa iniciativa Horizonte 2020³⁶, aprobada mediante el Reglamento (UE) n.º 1291/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2013, por el que se establece Horizonte 2020, Programa Marco de Investigación e Innovación 2014-2020³⁷, que constituye el Programa Marco de Investigación e Innovación de la UE más ambicioso aprobado hasta el momento, y es el instrumento financiero de la iniciativa «Unión por la innovación», contando con un presupuesto de 77.000 millones de euros para 2014 a 2020, que se destinarán principalmente a la excelencia científica, el liderazgo industrial y los retos sociales, previéndose alcanzar una inversión del 3% del PIB en investigación e innovación entre los sectores

34. Las versiones consolidadas de los Tratados vigentes pueden verse en DOUE C 202, 7.6.2016 [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=OJ:C:2016:202:TOC>].

35. COMISIÓN EUROPEA. 2013: *Unión por la Innovación. Una guía de bolsillo sobre una iniciativa de Europa 2020*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea [<http://bookshop.europa.eu/es/uni-n-por-la-innovaci-n-pbKl3213062/?CatalogCategoryID=IG.ep2lxTjoAAAEucsAIYMRa>], y EUROPEAN COMMISSION, 2015: *State of the Innovation Union 2015*. Luxembourg: Publications Office of the European Union [http://ec.europa.eu/research/innovation-union/pdf/state-of-the-union/2015/state_of_the_innovation_union_report_2015.pdf#view=fit&pagemode=none]. Ver asimismo el enlace electrónico oficial http://ec.europa.eu/research/innovation-union/index_en.cfm y el enlace de la revista: <http://horizon-magazine.eu/>.

36. COMISIÓN EUROPEA. 2014: *Horizonte 2020 en breve. El Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea [http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020_ES_KI0213413ESN.pdf].

37. DOUE L 347, 20.12.2013.

público y privado. y que contribuirá también a generar crecimiento y empleo en Europa. En el primer pilar, sobre la ciencia excelente, se prevé una línea de financiación de 2.696 millones de euros para tecnologías futuras y emergentes, y en el segundo, sobre liderazgo industrial, se prevé financiación por valor de 13.557 millones de euros en relación con el liderazgo en las tecnologías industriales y de capacitación, incluyendo tecnologías facilitadoras clave, como la fabricación avanzada, los nuevos materiales, la biotecnología o la nanotecnología, que son la piedra angular de productos revolucionarios como los teléfonos inteligentes, las baterías de alto rendimiento, los vehículos ligeros, la nanomedicina o los tejidos inteligentes, entre otros muchos.

Finalmente, la Comisión Europea ha adoptado el 2 de septiembre de 2016 el «Informe anual sobre las actividades de investigación y desarrollo tecnológico de la Unión Europea en 2015»³⁸, que se ha preparado de conformidad con el artículo 190-TFUE, y en el que se repasan las actividades de investigación y desarrollo tecnológico de la Unión Europea, en relación con cada una de las iniciativas europeas (Horizonte 2020, Séptimo Programa Marco, Centro Común de Investigación, etc.), y el 13 de octubre el informe sobre «Ejecución de la estrategia de cooperación internacional en investigación e innovación»³⁹, cuyo objetivo es reforzar la excelencia de la investigación y la innovación de la Unión, su atractivo y su competitividad económica e industrial, así como hacer frente a retos sociales mundiales y respaldar sus políticas exteriores, repasando las actividades realizadas en su marco.

Actualmente, la Unión Europea es la primera proveedora mundial de conocimiento y representa casi un tercio de la producción total de ciencia y tecnología en el mundo; y en este ámbito destaca, como hemos señalado, la nanotecnología⁴⁰.

2.2. La política en materia de nanotecnología de la Unión Europea

2.2.1. Las primeras acciones

En el marco de la Estrategia de Lisboa de 2000, que adoptó el compromiso con el desarrollo de una economía y sociedad dinámicas basadas en el conocimiento, y de

38. COM (2016) 522 final, Bruselas, 2.9.2016.

39. COM (2016) 657 final, Bruselas, 13.10.2016.

40. En general, ver el monográfico sobre «Close-up on Nanotechnology» de la revista *Research*eu*, n.º 37, nov., 2014 [file:///C:/Users/a/Documents/Downloads/ZZAC14009ENN_002.pdf], y VAN WOENSEL, L.; ARCHER, G. y otros-PARLAMENTO EUROPEO. 2015: *Diez tecnologías que podrían cambiarnos la vida: impactos potenciales e implicaciones políticas*. Servicio de Estudios del Parlamento Europeo-Unidad de Prospectiva Científica (PE 527.417), enero [[http://www.euro-parl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2015/527417/EPRS_IDA\(2015\)527417_ES.pdf](http://www.euro-parl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2015/527417/EPRS_IDA(2015)527417_ES.pdf)], que incluye el grafeno entre ellas, 4 a 6.

la Estrategia sobre Desarrollo Sostenible de 2001, la Comisión adoptó, el 12 de mayo de 2004, la Comunicación «Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías»⁴¹, que constituye el texto con el que se inicia la política europea en esta materia, y que la Comisión justifica en que, a pesar de que a lo largo la década final del siglo XX, la Unión Europea ha desarrollado una importante base de conocimientos en el ámbito de las nanociencias, estima que la capacidad para mantener esta situación se ve comprometida por el hecho de que la Unión está invirtiendo, proporcionalmente, menos que sus principales competidores y por el hecho de carecer de una infraestructura de nivel mundial (polos de excelencia) que permita reunir la masa crítica necesaria; y ello, a pesar de que las inversiones en los programas nacionales de los Estados miembros están creciendo rápidamente, aunque por separado.

La Comisión señala que la nanotecnología (término colectivo que, a efectos conceptuales, abarca las distintas ramas de las nanociencias y de las nanotecnologías) se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, y a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala. Propiedades que pueden ser observadas y explotadas tanto a escala microscópica como macroscópica, p. ej., para el desarrollo de materiales e instrumentos con nuevas funciones y prestaciones.

A continuación, la Comunicación destaca la importancia de la nanotecnología, en particular en ámbitos como las aplicaciones médicas; las tecnologías de la información, la producción y almacenamiento de energía; los avances en la ciencia de los materiales; la fabricación a nanoescala; la fabricación de instrumentos para el estudio de las propiedades de la materia a escala nanométrica; la investigación sobre los alimentos, el agua y el medio ambiente, o la contribución a la seguridad; y resaltando, ya entonces, la comercialización de varios productos desarrollados a través de nanotecnologías, como productos sanitarios (vendajes, válvulas cardíacas, etc.), componentes electrónicos, pintura resistente al rayado, equipos deportivos, telas antiarrugas

41. COM (2004) 338 final, Bruselas, 12.5.2004. En esta época, ver COMISIÓN EUROPEA. 2004: *La nanotecnología. Innovaciones para el mundo del mañana*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. El origen es un proyecto del Ministerio de Educación e Investigación de Alemania (Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin), que fue realizado por la Asociación alemana de Ingenieros-Centro de Tecnología (VDI-TZ) [La versión alemana puede verse en: <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>]. Ver también el enlace de la Comisión Europea: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/policy_en.html.

En general, ver SAXL, O. 2005: «Nanotechnology in Europe». En SCHULTE, J. (ed.) *et al.*, *Nanotechnology: Global Strategies, Industry Trends and Applications*, Chichester (West Sussex, England): John Wiley & Sons, Ltd., 45-78.

y antimanchas o lociones solares, cuyo mercado se cifra en aproximadamente 2.500 millones de euros.

De acuerdo con los Tratados vigentes entonces, la Comisión subraya que las aplicaciones de la nanotecnología deben cumplir los requisitos para respetar un nivel elevado de protección de la salud pública, la seguridad y la protección de los consumidores y del medio ambiente⁴², y que, para apoyar esta tecnología de evolución tan rápida, es importante identificar y resolver los problemas (reales o percibidos) en materia de seguridad en una fase lo más temprana posible, haciendo frente a los posibles riesgos de la misma desde la concepción hasta la explotación industrial⁴³; además, se estima que un aprovechamiento comercial adecuado de las nanotecnologías requiere una base científica sólida que disipe las dudas de los consumidores y de la industria, y tomar todas las medidas necesarias para garantizar la salud y la seguridad en el trabajo.

Seguidamente, se repasa la financiación de las actividades en esta materia en el mundo y en la propia UE y sus Estados miembros, concluyendo que, a pesar de ser ya importante entonces, la inversión de fondos públicos media per cápita y en términos de PIB en la UE-25 era menor que en Estados Unidos y Japón, y que hay una gran descoordinación entre programas y líneas de financiación, según los Estados miembros, a pesar de los esfuerzos de la UE al aprobar los Programas Marco de I+D (principalmente desde el 4.º al 6.º).

Teniendo en cuenta lo anterior, la Comunicación propone varias acciones como parte de un enfoque integrado para el mantenimiento y fortalecimiento de la posición de la I+D europea en el ámbito de las nanociencias y las nanotecnologías, abordando los temas necesarios para garantizar la creación y explotación del conocimiento generado por medio de la I+D en beneficio de la sociedad. En este sentido, propone cinco dinámicas para estimular el progreso del «camino hacia lo infinitamente pequeño» relativas a aumentar la inversión en actividades de I+D y su coordinación con el fin de reforzar la aplicación industrial de las nanotecnologías al tiempo que se mantiene la excelencia científica y la competencia (aumentando la inversión en conocimientos, realizar investigación a nivel comunitario, coordinar las políticas nacionales y realizar hojas de ruta y estudios de prospectiva en la materia); desarrollar una infraestructura de I+D competitiva y de nivel internacional (los llamados «polos de excelencia») que tenga en cuenta las necesidades tanto de la industria como de los organismos de investigación;

42. Sobre la Política de Medio Ambiente de la Unión Europea, ver FERNÁNDEZ DE GATTA SÁNCHEZ, D. 2014: «El VII Programa Ambiental de la Unión Europea (2013-2020), publicado el 28 de Diciembre de 2013: una nueva visión medioambiental del futuro». *La Ley-Unión Europea*, 2014, n.º 12: 32-45, y más en general *Sistema Jurídico-Administrativo de Protección del Medio Ambiente*, 5.ª ed. Salamanca: Ed. Ratio Legis, 2016.

43. JUSTO-HANANI, R. y DAYAN, T. 2015: «European risk governance of nanotechnology: Explaining the emerging regulatory policy». *Research Policy* (Elsevier B. V.), October 2015, vol. 44, issue 8: 1527-1536 [<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2015.05.001>].

invertir en recursos humanos, fomentando la educación y formación interdisciplinares del personal de investigación e impulsar el espíritu empresarial (atrayendo a los jóvenes a lo «nano», superar las fronteras de las disciplinas académicas y científicas, y promover investigadores e ingenieros con espíritu empresarial); establecer unas condiciones favorables para la transferencia de tecnología y la innovación con el fin de garantizar que la excelencia de la I+D europea se traduce en productos y procesos generadores de riqueza (mediante la creación de empresas y capital riesgo en la materia, registros de patentes, aprobar una regulación adecuada en materia de salud pública, consumidores y medio ambiente, y adoptar medidas complementarias en materia de metrología y normalización); integrar las consideraciones sociales en los procesos de I+D en una fase temprana (mediante el desarrollo responsable de la nanotecnología, y de la información, comunicación y el diálogo, para comprender lo invisible)⁴⁴; abordar cualquier riesgo potencial para la salud, la seguridad, el medio ambiente y los intereses de los consumidores mediante la generación de los datos necesarios para la evaluación del riesgo, integrando la evaluación del riesgo en todas las fases del ciclo de vida de los productos basados en las nanotecnologías y adaptando las metodologías existentes y, en caso necesario, desarrollando otras nuevas; y completar las acciones antes citadas con la cooperación e iniciativas adecuadas a nivel internacional.

El Consejo de Competitividad de 24 de septiembre de 2004 acogió favorablemente la estrategia anterior y la intención de la Comisión de elaborar un plan de acción para la nanotecnología y, asimismo, el 10 de noviembre de 2004, el Comité Económico y Social emitió un dictamen que respaldaba la estrategia propuesta. Además, la Comisión organizó una amplia consulta pública que finalizó el 15 de octubre de 2004, en la que se recibieron más de 750 respuestas favorables a la propuesta⁴⁵.

2.2.2. El Plan de Acción sobre Nanociencias y Nanotecnologías 2005-2009

Teniendo en cuenta lo anterior, la Comisión presentó la Comunicación «Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009»⁴⁶, que define una serie de iniciativas articuladas e interconectadas para la aplicación inmediata de una

44. Sobre los aspectos éticos de la nanotecnología en la Unión Europea (y también en otros países), ver DALTON-BROWN, S. 2015: *Nanotechnology and Ethical Governance in the European Union and China. Towards a Global Approach for Science and Technology*. Heidelberg (Germany): Springer International Publishing, y LADIKAS, M. et al. 2015: Editors, *Science and Technology Governance and Ethics. A Global Perspective from Europe, India and China*. Heidelberg (Germany): Springer International Publishing [<http://www.springer.com/us/book/9783319146928>].

45. Informe del Nanoforum (diciembre de 2004): <http://www.nanoforum.org>.

46. COM (2005) 243 final, Bruselas, 7.6.2005.

estrategia segura, integrada y responsable en materia de nanociencias y nanotecnologías, basada en los ámbitos prioritarios establecidos en la anterior Comunicación.

La Comisión propone las medidas siguiendo los ejes esenciales de la Comunicación anterior, en primer lugar, en relación con el impulso a la investigación, el desarrollo y la innovación (como reforzar la I+D de ambas materias en el 7.º Programa Marco de investigación, desarrollo tecnológico y demostración de la UE, plantear una ayuda específica a la investigación en nanoelectrónica, ayudar a la investigación del impacto potencial de estas materias sobre la salud humana y el medio ambiente o fomentar el desarrollo de plataformas tecnológicas europeas, e invita a los Estados miembros a aumentar las inversiones públicas en ambas materias en relación con las relativas a I+D, a coordinar los programas de I+D a escala nacional y regional o promover iniciativas de sensibilización en la materia en Universidades o en la industria). En segundo lugar, se prevén acciones en relación con la infraestructura y los «polos de excelencia europeos» (como elaborar un mapa de la infraestructura europea existente, apoyar la creación de redes transnacionales y la integración de recursos entre Universidades, organizaciones de I+D y la industria, e invita a los Estados miembros a construir nuevas infraestructuras interdisciplinares, los «polos de excelencia»). En tercer lugar, la Comisión propone medidas relativas a los recursos humanos en la materia (como constitución de redes y difusión de las mejores prácticas de educación y formación en la materia, estudio de la mejor manera de fomentar el desarrollo de actividades de apoyo, promover la creación del premio europeo interdisciplinar de nanociencias y nanotecnologías, evaluar la posibilidad de acciones específicas «Marie Curie» en estas materias e invita a los Estados miembros a fomentar la formación y la educación interdisciplinares en I+D en ambas materias y a animar a estudiantes, investigadores e ingenieros a aprovechar las iniciativas nacionales y europeas existentes).

A continuación, se incluyen medidas sobre innovación industrial, para pasar del conocimiento al mercado (como fomentar la explotación industrial de las Nanociencias y Nanotecnologías, aumentar la participación de la industria en proyectos de I+D colaborativa a escala europea, apoyar la creación de la «biblioteca digital» de ambas materias o el seguimiento de patentes en estas materias, e invita a los Estados miembros a establecer medidas e incentivos a la innovación, fomentar y coordinar las actividades de normalización y la transferencia tecnológica o alcanzar un acuerdo sobre la patente europea). Seguidamente, se plantean las acciones relativas a integrar la dimensión social (principalmente, garantizando que la financiación europea en estas materias sea responsable, analizando éticamente la nanomedicina, financiando estudios prospectivos de escenarios futuros en ambas materias, apoyando el diálogo entre las partes interesadas⁴⁷, publicando estudios y otros material, e invita a los Estados miembros a

47. Algunos ejemplos de este diálogo pueden verse en el enlace http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/policy-dialogues_en.html.

fomentar el diálogo y la educación en ambas materias, y a la industria a tener en cuenta el impacto de ambas en la sociedad)⁴⁸. En sexto lugar, se prevén medidas en materia de salud pública, seguridad y protección de los consumidores y del medio ambiente (identificar los problemas de seguridad derivados de ambas materias; promover medidas seguras y rentables para minimizar la exposición de los trabajadores, los consumidores y el medio ambiente a productos fabricados a nanoescala; así como estudios, desarrollo de terminología, orientaciones, modelos y normas en ambas materias, y propondrá, en su caso, modificaciones en la normativa aplicable, e invita a los Estados miembros a elaborar inventarios respecto a aplicaciones de ambas materias o a revisar y modificar, en su caso, las normas nacionales, entre otras⁴⁹. Finalmente, se establecen acciones de cooperación internacional en relación con ambas materias. Además, para lograr una adecuada coordinación y una aplicación integrada en la aplicación del Plan y de la propia Estrategia, se prevén la elaboración de informes y otras acciones de observación de las acciones.

De acuerdo con lo establecido en el Plan anterior, la Comisión publicó el «Primer informe de aplicación 2005-2007» el 6 de septiembre de 2007⁵⁰, en el que repasa todas las medidas adoptadas en estos años, siguiendo en la descripción los ejes ya conocidos de la Estrategia, aunque, en general, destaca que el enfoque integrado, seguro y responsable propuesto ha sido aceptado por los interesados, y constituye ahora la base de la política comunitaria en materia de nanotecnologías; que se han movilizado recursos y se ha hecho frente a los desafíos planteados, estimando que el Plan supuso un acicate; que se han observado avances en casi todos los ámbitos, y, aunque resulta difícil recopilar todos los indicadores cuantitativos durante el período 2005-2007, que es posible apreciar un impacto positivo, pues la investigación europea en ambas materias se ha beneficiado de un importante respaldo financiero, así como de una mayor coordinación y coherencia en los ámbitos estratégicos pertinentes, pues las Instituciones de la UE, los Estados miembros, la industria, los investigadores y otras partes interesadas han trabajado en colaboración, compartiendo información y consultándose periódicamente, y se ha hecho lo posible por cooperar más estrechamente con los socios internacionales, tanto en marcos bilaterales como multilaterales; teniendo en cuenta que la competencia internacional aumentó notablemente en este período.

48. HULLMANN, A.-COMISIÓN EUROPEA. 2008: *European activities in the field of ethical, legal and social aspects (ELSA) and governance of nanotechnology*, 1 October [http://cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/elsa_governance_nano.pdf].

49. DALTON-BROWN, S. *Nanotechnology and Ethical Governance in the European Union and China. Towards a Global Approach for Science and Technology*, op. cit., 73-101.

50. Comunicación de la Comisión «Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005-2007» [COM (2007) 505 final, Bruselas, 6.9.2007].

Por otra parte, el informe constata que han aparecido algunos puntos débiles en Europa, en particular un déficit de inversión privada en investigación e innovación industrial, una falta de infraestructuras interdisciplinares punteras y un riesgo creciente de duplicación y fragmentación de los esfuerzos de investigación debido a un aumento de las inversiones por parte de los Estados miembros. Posibilidad esta de duplicación y fragmentación de los esfuerzos que debe evitarse, y se estima que todas las iniciativas de la UE deberían caracterizarse por su coherencia, sinergia y subsidiariedad.

Además, se llama la atención sobre que, por su propia naturaleza interdisciplinar y novedosa, las nanotecnologías pueden poner en entredicho enfoques tradicionales en materia de investigación, educación, patentes y regulación, por lo que, en los próximos años, conviene agrupar las actividades, aprovechando el impulso actual y prestando una atención especial al desarrollo de infraestructuras interdisciplinares, la instauración de condiciones idóneas para una utilización segura y eficaz de las nanotecnologías, y una visión común de la responsabilidad de los investigadores dentro de un marco ético.

Conviene destacar que, en relación con la revisión de la normativa, el documento señala que la Comisión está a punto de finalizar una revisión de la normativa en vigor, con el objeto de comprobar si los riesgos relacionados con los nanomateriales exigen la adopción de nuevas normas; siendo su conclusión inicial que la reglamentación aplicable responde en principio a las preocupaciones sobre los efectos en la salud y el medio ambiente, y que, sobre la base de los progresos científicos o de las necesidades reglamentarias en ámbitos determinados, podrán proponerse nuevas normas; proceso de revisión en el que la Comisión se compromete a tener en cuenta los informes elaborados en algunos Estados miembros sobre los vacíos legales existentes.

No obstante, la Comisión estima que la principal vía para proteger la salud, la seguridad y el medio ambiente es mejorar la aplicación de la normativa en vigor, para lo que las autoridades nacionales y la propia Comisión deben determinar en primer lugar si es necesario actualizar los textos vigentes, en particular la legislación de aplicación, las normas y las orientaciones técnicas, con respecto a la evaluación de riesgos, y, mientras tanto, y teniendo en cuenta la generación continua de nuevos datos, seguirán aplicándose los métodos existentes caso por caso; aunque, si fuera necesario, deben utilizarse los mecanismos reglamentarios en vigor, en relación con los umbrales, la autorización de sustancias e ingredientes, la clasificación de residuos como peligrosos, el refuerzo de los procedimientos de evaluación de conformidad, la introducción de restricciones en la comercialización y la utilización de sustancias y preparados químicos, entre otros.

Seguidamente, de acuerdo con su habitual método de trabajo, la Comisión publicó el «Segundo informe de aplicación 2007-2009» el 29 de octubre de 2009⁵¹, que parte

51. Comunicación de la Comisión «Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Segundo informe de aplicación 2007-2009» [COM (2009) 607 final, Bruselas, 29.10.2009].

de constatar que la nanotecnología se encuentra en la base de numerosas aplicaciones prácticas y tiene capacidad para seguir mejorando la calidad de vida y la protección del medio ambiente, además de impulsar la competitividad industrial de Europa, y que los conocimientos en el ámbito de las nanociencias y en la aplicación industrial de las nanotecnologías han ido aumentando gradualmente, muy en particular a lo largo de los últimos años.

Como observación general, la Comisión afirma que se ha asistido en los dos últimos años a un desarrollo sustancial de la nanotecnología, respaldada por el aumento de los fondos dedicados a la investigación y la aplicación efectiva de las políticas, apreciando constantemente aplicaciones y productos nanotecnológicos novedosos, por lo que es preciso proseguir los esfuerzos para afrontar las inquietudes de índole social y relacionadas con la seguridad a fin de garantizar un desarrollo seguro y sostenible de la nanotecnología.

La Comunicación expone las acciones y los acontecimientos más importantes en el período 2007-2009 en cada una de las áreas del Plan de Acción citado, indicando cuáles son los retos actuales y extrayendo conclusiones de interés para la futura política europea sobre nanotecnología.

Como conclusión, la Comisión estima que se ha progresado bastante en relación con todos los puntos del Plan de Acción, y, apoyándose en esta base, se propone proseguir y consolidar las acciones actuales en los próximos años, haciendo hincapié en profundizar la labor investigadora y las hojas de ruta en los sectores clave de la nanotecnología, para potenciar la innovación y la competitividad; lo cual se considera que es inseparable de la mejora de los conocimientos fundamentales sobre cómo interactúan los nanomateriales, a través de su ciclo de vida, con los organismos vivos, para garantizar un elevado nivel de seguridad y protección de la salud humana y del medio ambiente; proseguir el desarrollo de las infraestructuras y del sistema educativo, de manera coherente con el carácter multidisciplinario de la nanotecnología; fortalecer los mecanismos disponibles para la innovación industrial, reforzando el concepto de innovación abierta y facilitando la transferencia de tecnología; implantar un diálogo social más directo, centrado y permanente y efectuar un seguimiento de la opinión pública y de las cuestiones relacionadas con la protección de los consumidores, el medio ambiente y los trabajadores; seguir revisando la adecuación de la normativa, adaptando según proceda los instrumentos de aplicación, proponiendo modificaciones de la misma cuando resulte necesario y concertándose cuando sea posible con la evolución internacional (y haciendo referencia a la Comunicación sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales, presentada en junio de 2008, que mencionaremos inmediatamente); vigilar el mercado de los productos nanotecnológicos, incluidos sus aspectos de seguridad y su evolución probable; acelerar el esfuerzo investigador en materia de evaluación de la seguridad, incluida la gestión del riesgo, a lo largo del ciclo de vida de un producto; prestar apoyo a la continuidad del desarrollo y la validación

de los métodos de caracterización y ensayo de nanomateriales; y potenciar la coordinación y el intercambio de información con los Estados miembros.

Apoyándose en lo conseguido hasta el momento y teniendo en cuenta estas necesidades, la Comisión está estudiando la posibilidad de proponer un nuevo Plan de Acción sobre Nanotecnología que se convertiría en uno de los motores del Espacio Europeo de Investigación y abordaría importantes problemas sociales y medioambientales.

El Plan fue acogido con satisfacción, con ciertos matices, por el Parlamento Europeo, por la Resolución aprobada el 28 de septiembre de 2006⁵².

2.2.3. Los aspectos reglamentarios de los nanomateriales

De acuerdo con la Estrategia sobre Nanotecnologías de 2004 y el Plan de Acción de 2005, en junio de 2008, la Comisión adoptó la Comunicación «Aspectos reglamentarios de los Nanomateriales»⁵³, que iba acompañada de un Documento de Trabajo de los Servicios de la Comisión que contenía una síntesis de la legislación sobre los aspectos de los nanomateriales relacionados con la salud, la seguridad y el medio ambiente y exponía las necesidades de investigación al servicio de la reglamentación y las medidas conexas⁵⁴.

La Comisión llegó a la conclusión de que los marcos reguladores comunitarios (de entonces) cubren en principio los riesgos potenciales para la salud, la seguridad y el medio ambiente relacionados con los nanomateriales, y, sin excluir la necesidad de modificarla a la luz de la nueva información con que se cuente, subrayaba la necesidad de potenciar la protección de la salud, la seguridad y el medio ambiente principalmente a través de la mejora de la aplicación de la legislación actual; comprometiéndose a que lo primero que harán la Comisión y las Agencias de la UE será revisar los documentos que actualmente respaldan la aplicación de la legislación, tales como disposiciones de ejecución, normas y orientaciones técnicas sobre la aplicabilidad e idoneidad de las normas respecto de los nanomateriales.

Además, debe mejorarse el conocimiento acerca de aspectos esenciales como las características de los nanomateriales, sus peligros, la exposición a ellos, así como la evaluación y gestión de sus riesgos, habida cuenta de que el conocimiento constituye el elemento crítico en la aplicación de la normativa y, en definitiva, en su elaboración.

Por otra parte, los grupos de trabajo de la Comisión que coordinan la aplicación de la legislación examinan de manera permanente la necesidad de introducir cambios

52. Resolución 2006/2004(INI)-P6_TA (2006) 0392.

53. COM (2008) 366 final, Bruselas, 17.6.2008.

54. Commission Staff Working document-«Regulatory aspects of nanomaterials – Summary of legislation in relation to health, safety and environment aspects of nanomaterials, regulatory research needs and related measures», sec/2008/2036, Brussels, 17.6.2008.

en la reglamentación de aspectos concretos, tomando en consideración la generación continua de información a medida que se constatan las lagunas de conocimientos; y, en esta labor, se tomará en consideración el trabajo desarrollado a escala nacional e internacional. Asimismo, las autoridades y agencias responsables de la aplicación de la legislación deben seguir supervisando de cerca el mercado y utilizando los mecanismos de intervención en el mercado comunitario cuando se detectan riesgos ligados a productos ya comercializados.

Por otra parte, además de prestar apoyo a la investigación sobre evaluación de riesgos, la Comisión trabaja en varios ámbitos a fin de mejorar la aplicación de la legislación existente, evaluar su adecuación y estudiar si es preciso modificar algún aspecto concreto de la misma⁵⁵.

Finalmente, la Comisión tiene previsto presentar un informe de evolución tres años después de la presentación de esta Comunicación.

El texto propuesto por la Comisión fue examinado tanto por el Parlamento Europeo⁵⁶ como por el Comité Económico y Social Europeo⁵⁷. El Parlamento Europeo se preguntó si, en ausencia de disposiciones explícitas referidas a la nanotecnología en el Derecho Comunitario, podía considerarse este adecuado en relación con los riesgos relacionados con los nanomateriales; y, dada la ausencia de datos y de métodos de evaluación apropiados, el Parlamento Europeo solicitó una revisión pormenorizada de la normativa existente. Por su parte, el Comité Económico y Social considera que el desarrollo responsable de las nanociencias y los nanomateriales es la punta de lanza europea para afrontar el desafío del progreso económico y social a escala mundial, y, en relación con los aspectos jurídicos, considera necesario adoptar un marco normativo de referencia integrado, además de un sistema de gobernanza, con el objetivo de responder de manera clara y fiable a las necesidades emergentes, especialmente en materia de métodos comunes de clasificación, metrología y pruebas de validación de los protocolos existentes y de los protocolos nuevos, así como de investigación pre-normativa y connormativa.

Finalmente, la Comisión se compromete a presentar una actualización de la revisión de la normativa en materia de nanomateriales (como efectivamente realizará), prestando particular atención a los puntos señalados por el Parlamento Europeo y el Comité Económico y Social, y, en función de las necesidades, la Comisión podrá proponer la modificación de dicha normativa.

55. Citando, como ejemplo, el grupo de trabajo sobre nanomateriales de REACH, que ha conseguido hacer progresos y publicado sus resultados iniciales: <http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/nanomaterials.pdf>.

56. Resolución del Parlamento Europeo de 24 de abril de 2009 sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales [2008/2208(INI)– P6_TA (2009) 0328].

57. Dictamen del Comité Económico y Social de 25 de febrero de 2009 sobre la Comunicación relativa a los aspectos reglamentarios de los nanomateriales (DOUE C 218, 11.9.2009).

De acuerdo con la anterior Comunicación, la Comisión presentó el 3 de octubre de 2012 la «Segunda Revisión de la Normativa sobre los Nanomateriales»⁵⁸, en la que se evalúan la adecuación y la aplicación de la legislación de la Unión Europea en materia de nanomateriales, se indican las acciones de seguimiento y se responde a las cuestiones planteadas por las Instituciones Europeas; la cual va acompañada de un Documento de Trabajo de los Servicios de la Comisión sobre tipos de nanomateriales y su utilización, incluidos los aspectos relativos a su seguridad.

Como conclusión, la Comisión señala que, de acuerdo con los conocimientos actuales y los dictámenes de los comités consultivos y científicos de la UE y de los evaluadores independientes de riesgos, los nanomateriales son similares a las sustancias y los productos químicos normales, en el sentido de que algunos pueden ser tóxicos y otros no, y que los posibles riesgos están relacionados con nanomateriales específicos y con algunos usos específicos, por lo que es necesario realizar una determinación del riesgo de los nanomateriales, que debe hacerse caso por caso, utilizando la información pertinente, siendo de aplicación los actuales métodos de determinación del riesgo, si bien aún es necesario trabajar sobre aspectos particulares de dicha determinación del riesgo.

Por otra parte, la Comisión afirma que la definición de los nanomateriales se integrará en la legislación de la UE según proceda, y que se está trabajando actualmente en los métodos de detección, medición y control de los nanomateriales y en su validación para garantizar la correcta aplicación de la definición.

Pero la Comisión resalta que existen retos importantes fundamentalmente para establecer métodos e instrumentos validados de detección, caracterización y análisis, completar información sobre los peligros de los nanomateriales y elaborar métodos de evaluación de la exposición a los mismos.

En términos globales, la Comisión sigue convencida de que REACH establece el mejor marco posible para la gestión del riesgo de los nanomateriales en caso de que se permitan como sustancias o mezclas, aunque se ha demostrado que son necesarios más requisitos específicos para los nanomateriales en este marco; previéndose modificaciones en algunos de los anexos de REACH y la elaboración de directrices para el registro.

58. Comunicación de la Comisión, «Segunda revisión de la normativa sobre los nanomateriales», COM (2012) 572 final, Bruselas, 3.10.2012, y Commission Staff Working paper «Types and uses of nanomaterials, including safety aspects Accompanying the Communication from the Commission on the Second Regulatory Review on Nanomaterials», SWD (2012) 288 final.

2.2.4. Las Recomendaciones de la Comisión sobre un código de conducta para una investigación responsable de 2008 y sobre la definición de nanomaterial de 2011

De acuerdo con los documentos analizados, anteriores a 2008, y en particular el dictamen sobre los aspectos éticos de la nanomedicina del Grupo Europeo sobre Ética en la Ciencia y las Nuevas Tecnologías, de enero de 2007⁵⁹, y el Primer Informe de aplicación del Plan de Acción para Europa sobre Nanotecnologías de 2007, en el que la Comisión anunció su propósito de adoptar un código de conducta voluntario para una investigación responsable en materia de nanociencias y nanotecnologías, se adoptó la Recomendación de la Comisión 2008/345/CE, de 7 de febrero de 2008, sobre un Código de Conducta para una Investigación Responsable en el campo de las Nanociencias y las Nanotecnologías⁶⁰ (DOUE L 116, 30.4.2008).

La Recomendación incluye ese Código de Conducta, cuyo objetivo es promover una investigación integrada, segura y responsable en materia de nanociencias y nanotecnologías en Europa en beneficio de la sociedad en su conjunto, y se propone igualmente contribuir a una coordinación adecuada entre los Estados miembros con vistas a optimizar las sinergias entre todas las partes interesadas en la investigación sobre nanociencias y nanotecnologías a nivel europeo e internacional.

Mediante este texto, jurídicamente no vinculante (arts. 288 y 292-TFUE), la Comisión recomienda que los Estados miembros se guíen por los principios generales y directrices sobre las acciones que deben tomarse, establecidos en el Código de Conducta para una Investigación Responsable en materia de Nanociencias y Nanotecnologías (que figura en el Anexo), cuando formulen, adopten y apliquen sus estrategias para el desarrollo de una investigación sostenible en esas materias, en consonancia con la Estrategia de 2004 y el Plan de Acción sobre Nanotecnologías de 2005; que asimismo se esfuercen en seguir los principios generales y directrices del mismo a nivel nacional; que fomenten la adopción del código de conducta por las autoridades nacionales y regionales, los empleadores y los organismos que financian la investigación, los investigadores y cualquier individuo u organización de la sociedad civil comprometido o interesado en la investigación sobre estas materias; que cooperen con la Comisión para revisar la propia Recomendación cada dos años y para hacer un seguimiento de la misma; que, en sus acuerdos bilaterales sobre estrategias y actividades de investigación con terceros países y en su condición de miembros de organizaciones internacionales, tengan debidamente en cuenta la propia Recomendación cuando propongan estrategias de investigación y adopten decisiones, y se coordinen debidamente con los demás Estados miembros y con la Comisión, y, finalmente, que se utilice también

59. Dictamen EGE n.º 21, de 17 de enero de 2007.

60. DOUE L 116, 30.4.2008.

como instrumento para fomentar el diálogo a todos los niveles de gobierno entre los responsables políticos, los investigadores, la industria, los comités de ética, las organizaciones de la sociedad civil y la sociedad en general, con vistas a mejorar la comprensión de las nuevas tecnologías por parte del público en general y su participación en su desarrollo.

El Código de Conducta para una Investigación Responsable en materia de Nanociencias y Nanotecnologías, que se incluye como Anexo, pone en manos de todas las partes interesadas unas directrices que promuevan un enfoque responsable y abierto con respecto a la investigación sobre ambas materias en la Unión, con la finalidad de complementar la normativa existente, pero, de ninguna manera, limita o modifica la posibilidad de que los Estados miembros establezcan una protección mayor a la estipulada en el mismo (Introducción).

El Código (punto 1) invita a todas las partes interesadas a actuar con responsabilidad y cooperar mutuamente, en consonancia con la Estrategia y el Plan de Acción de la Comisión en Nanociencias y Nanotecnologías, a fin de garantizar que la investigación en las mismas se lleve a cabo en la Comunidad dentro de un marco seguro, ético y eficaz, que respalde el desarrollo económico, social y ambiental sostenible, y debe constituir también una base europea para el diálogo con los terceros países y las organizaciones internacionales. El mismo cubre todas las actividades de investigación sobre esas materias emprendidas en el Espacio Europeo de Investigación.

El Código de Conducta es voluntario, y tiene por finalidad ofrecer un conjunto de principios generales y directrices para las medidas que adopten todas las partes interesadas en esas materias y debe facilitar y fundamentar los enfoques reguladores y no reguladores bosquejados en el Plan de Acción para Europa sobre Nanociencias y Nanotecnologías 2005-2009, mejorando la aplicación de la normativa actual y abordando las incertidumbres científicas.

De las definiciones incluidas (punto 2), debe destacarse la de «nanoobjetos», al no haber una terminología internacional reconocida, para designar los productos resultantes de la investigación sobre nanociencias y nanotecnologías, e incluye las nanopartículas y su agregación a escalas nanométricas, los nanosistemas, los nanomateriales, los materiales nanoestructurados y los nanoproducidos.

Como principios generales, el Código incluye los de tener sentido (es decir, que tales actividades deban ser comprensibles para el público), sostenibilidad, precaución, participación, excelencia, innovación y rendición de cuentas (punto 3).

Las directrices se basan en los principios generales anteriores, y hacen referencia a la buena gobernanza de la investigación en estas materias (con prescripciones para mantener un foro abierto y pluralista en estas materias, en cooperación con la Comisión, para estimular la información a la sociedad y el debate social; con respeto a los derechos de propiedad intelectual, instar a hacer accesibles y comprensibles por la sociedad los conocimientos en estas materias, y la información conexa; instar a compartir las mejores prácticas en

materia de investigación en estas materias; que se revisen adecuadamente los resultados científicos alcanzados; garantizar que las investigaciones se lleven con el nivel más elevado de integridad científica y que se dedican recursos humanos y financieros también adecuados a la aplicación de las disposiciones normativas, y que los correspondientes comités de ética intervengan en la evaluación de nanotecnologías de doble uso), con referencia expresa a la promoción de los enfoques participativos en el examen de las posibles consecuencias futuras de estas tecnologías u objetos que se investigan, al planteamiento de algunas prioridades clave (en relación con la normalización de la terminología; la evaluación de riesgos, especialmente de las nanoestructuras activas de segunda generación; la mejora de la metrología a escala nanométrica y la normalización; el fomento de las áreas de investigación que puedan tener un impacto positivo más amplio y la investigación en estas materias dirigida a proteger a la población en general, al medio ambiente, a los consumidores y a los trabajadores, así como realizar y publicar evaluaciones equilibradas, basadas en los mejores datos científicos disponibles, de los costes, riesgos y beneficios de las áreas de investigación en estas materias que puedan financiarse) y ciertas prohibiciones, restricciones o limitaciones (como no financiar investigaciones o desarrollos en áreas que puedan dar lugar a violaciones de los derechos o principios éticos fundamentales, no llevar a cabo investigaciones para potenciar adicciones o la potenciación ilícita del rendimiento del cuerpo humano o evitar la intrusión deliberada de nanoobjetos en el cuerpo humano o en alimentos, especialmente en los destinados a bebés, piensos, juguetes, cosméticos u otros similares, en tanto no se disponga de estudios de evaluación de riesgos).

A continuación, el Código de Conducta aboga por el respeto debido al principio de precaución, adoptando medidas específicas de seguridad en las investigaciones, así como seguir buenas prácticas en materia de clasificación y etiquetado; exigir evaluaciones de riesgo previas a la financiación de proyectos en estas materias; realizar investigaciones específicas para comprender mejor los riesgos potenciales inducidos por los nanoobjetos durante la totalidad de su ciclo de vida y los procesos biológicos fundamentales involucrados en la toxicología y ecotoxicología de los nanoobjetos artificiales o naturales, y, entre otras acciones, poner en marcha y coordinar actividades específicas de investigación encaminadas a comprender mejor los impactos éticos, jurídicos y sociales de los nuevos campos abiertos por la nanociencia y la nanotecnología.

Finalmente, se recomienda una amplia difusión y seguimiento del propio Código de Conducta, tanto por los Estados miembros como por los organismos que financian investigaciones en estas materias, así como cooperar con la Comisión en el seguimiento del mismo.

Asimismo, y también de acuerdo con los documentos estratégicos en estas materias, así como algunos estudios e informes específicos⁶¹, se adoptó la Recomendación

61. CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN DE LA COMISIÓN EUROPEA. *Consideraciones sobre una definición de nanomateriales a efectos normativos*. EUR 24403, junio de 2010, y Dictamen

de la Comisión 2011/696/UE, de 18 de octubre de 2011, relativa a la Definición de Nanomaterial⁶², que, con carácter jurídicamente no vinculante, define el «nanomaterial» como «un material natural, secundario o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un agregado o aglomerado y en el que el 50% o más de las partículas en la granulometría numérica presente una o más dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre 1 nm y 100 nm», y «en casos específicos y cuando se justifique por preocupaciones de medio ambiente, salud, seguridad o competitividad, el umbral de la granulometría numérica del 50% puede sustituirse por un umbral comprendido entre el 1% y el 50%» (punto 2); pero, no obstante las precisiones anteriores, «los fullerenos, los copos de grafeno y los nanotubos de carbono de pared simple con una o más dimensiones externas inferiores a 1 nm deben considerarse nanomateriales» (punto 3). Por otra parte, se prevén las revisiones de estas definiciones, en su caso, a la luz de la experiencia adquirida y de la evolución científica y tecnológica (punto 6).

2.2.5. Otros documentos complementarios en materia de nanotecnología

Además de los textos anteriores, que indudablemente son los más importantes en la materia al establecer la estrategia y el plan de acción de la Unión Europea en materia de Nanotecnología, existen algunos otros documentos adoptados por algunas Instituciones y órganos europeos, y que se enmarcan en los textos estratégicos citados, como complemento a esta política, y ello sin perjuicio de relacionarse con alguna otra. Así, en 2013 se aprobó la Comunicación de la Comisión relativa a «Una Estrategia Europea para los Componentes y Sistemas Microelectrónicos y Nanoelectrónicos»⁶³, en la que, en el marco de la actualización de la política industrial europea⁶⁴, se analiza la situación y se resalta la importancia de este ámbito industrial, y se establece una estrategia para reforzar la competitividad y la capacidad de crecimiento de la industria microelectrónica y nanoelectrónica, con el objetivo de que Europa permanezca en la vanguardia del diseño y la fabricación de estas tecnologías y que toda la economía pueda beneficiarse de ellas.

del Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados (CCR-SERI) de 8 de diciembre de 2010 [http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_032.pdf].

62. DOUE L 275, 20.10.2011.

63. COM (2013) 298 final, Bruselas, 23.5.2013.

64. Comunicación de la Comisión sobre «Una industria europea más fuerte para el crecimiento y la recuperación económica». COM (2012) 582 final, Bruselas, 10.10.2012.

El objetivo de la Comunicación es invertir la tendencia decreciente de la cuota del suministro mundial de la UE; centrarse en los puntos fuertes de Europa; aprovecharlos y reforzar las agrupaciones principales existentes; y aprovechar las oportunidades que surjan en ámbitos no convencionales y ayudar a crecer a las PYME.

Para intentar conseguir estos objetivos, se proponen una serie de medidas relativas a avanzar hacia una hoja de ruta estratégica europea para la inversión en este campo, proponer una iniciativa tecnológica conjunta, con un modelo tripartito para proyectos a gran escala (crear una nueva empresa común que sustituirá a las dos existentes sobre sistemas de computación empotrados, Artemis, y nanoelectrónica, ENIAC), aprovechar y respaldar las medidas horizontales de competitividad y actuar en la dimensión internacional.

En relación con esta Comunicación, el Comité Económico y Social aprobó el dictamen de 16 de octubre de 2013⁶⁵, que apoya la voluntad de la Comisión de establecer un liderazgo europeo en el ámbito de los componentes y sistemas microelectrónicos y nanoelectrónicos y de aunar urgentemente, alrededor de este proyecto y de manera transfronteriza, a los Estados miembros, la investigación, las inversiones y las energías, con el fin de convertir su nivel de excelencia en producción y empleo, y precisando algunas cuestiones en la materia.

Por otra parte, también el Comité Económico y Social aprobó el dictamen de iniciativa sobre «Los textiles técnicos, motor de crecimiento», de 17 de abril de 2013⁶⁶, en el que resalta la importancia de estos materiales y las correspondientes tecnologías, muy vinculadas a la nanotecnología, y propone adoptar medidas para fomentar su desarrollo.

En esta misma línea de trabajo, y apoyando iniciativas para diseñar una política industrial europea, en especial para promover las tecnologías clave, el Comité Económico y Social ha aprobado el dictamen, de iniciativa propia, sobre el tema «Nanotecnología para una industria química competitiva», de 9 de diciembre de 2015⁶⁷, en el que analiza la nanotecnología en la política innovadora de la Unión Europea, resaltando las importantes propiedades de los nanomateriales y de esta tecnología en general, y en particular para la industria química, incluyendo la farmacéutica, y en la medicina. Seguidamente, el dictamen subraya el impacto económico de la industria química europea (la segunda a nivel mundial en 2013, con una facturación nada menos que de 527.000 millones de euros), y en particular sus inversiones en investigación (9.000 millones de euros en 2012). Asimismo, el dictamen incide en la nanotecnología como factor medioambiental, con su incidencia positiva y con los posibles riesgos ambientales, y en su importancia como factor social y de empleo (pues supone entre 300.000 y 400.000 empleos en la UE), y precisamente de calidad; resaltando las oportunidades

65. DOUE C 67, 6.3.2014.

66. DOUE C 198, 10.7.2013.

67. DOUE C 71, 24.2.2016.

y los riesgos de esta nueva tecnología, y terminar con los factores de competitividad y de impulso de la nanotecnología en Europa (entorno positivo en materia de investigación e innovación, el papel de la investigación y desarrollo, la importancia de la formación y el reciclaje profesional, y de una mayor flexibilidad en relación con las organizaciones de la investigación y de menos requisitos y cargas burocráticas, entre otros). Finalmente, el Comité Económico y Social solicita a la Comisión la elaboración, antes de 2020, de un informe actualizado sobre Nanomateriales y Nanotecnología en Europa, en el que se expongan las líneas de desarrollo hasta 2030.

Por su parte, finalmente, el Parlamento Europeo ha participado, naturalmente, en los debates sobre los documentos estratégicos de la Comisión analizados, y ha incidido en algunos temas de manera particular, como, p. ej., los nuevos alimentos⁶⁸.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO GUTIÉRREZ, B. J. y otros. 2015: «La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias». *Ingenierías*, 2015, n.º 66: 13-22.
- BENÍTEZ MARTÍNEZ, S. 2015: *Contribuciones del Grafeno a la Nanociencia y Nanotecnología Analíticas*. Tesis Doctoral, Departamento de Química Analítica-Universidad de Córdoba.
- BHUSHAN, B. (ed.) et al. 2010: *Springer Handbook of Nanotechnology*, 3rd. ed. Berlin (Germany): Springer Verlag, y *Encyclopedia of Nanotechnology*, 4 vols. Dordrecht (Netherlands): Springer, 2016.
- BROWNSON, D. A. C. y BANKS, C. E. 2014: *The Handbook of Graphene Electrochemistry*. London (United Kingdom): Springer-Verlag.
- CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2010: *Consideraciones sobre una definición de nanomateriales a efectos normativos*. EUR 24403, junio de 2010.
- COMISIÓN EUROPEA. 2004: *La nanotecnología. Innovaciones para el mundo del mañana*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- COMISIÓN EUROPEA. 2016: *Comprender las políticas de la Unión Europea: Investigación e innovación*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- DREXLER, K. E. «Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation». *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, September 1981, vol. 78, n.º 9: 5275-5278, y *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York (USA): Anchor Press/Doubleday, 1986 (existe traducción española: *La nanotecnología. El surgimiento de las máquinas de creación*. Barcelona: Ed. Gedisa, 1993).
- EDWARDS, S. A. 2006: *The Nanotech Pioneers: Where Are They Taking Us?* Weinheim (Germany): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- FERNÁNDEZ DE GATTA SÁNCHEZ, D. «El VII Programa Ambiental de la Unión Europea (2013-2020), publicado el 28 de Diciembre de 2013: una nueva visión medioambiental del futuro». *La Ley-Unión Europea*, 2014, n.º 12, 32-45, y *Sistema Jurídico-Administrativo de Protección del Medio Ambiente*, 5.ª ed. Salamanca: Ed. Ratio Legis, 2016.

68. Vid. el enlace sobre su actividad en esta materia: <http://www.europarl.europa.eu/portal/es/search?q=nanotecnolog%C3%ADa>.

- FEYNMAN, R. P. «There's plenty of room at the bottom. An invitation to enter a new field of physics». *Caltech Engineering and Science* (California Institute of Technology), February 1960, 22-36, y *¿Está usted de broma Sr. Feynman?* Madrid: Alianza Editorial, 2016.
- HORNBYAK, G. L. et al. 2009: *Introduction to Nanoscience and Nanotechnology*. Boca Raton (Florida, USA): CRC Press (Taylor and Francis Group).
- KULKARNI, S. K. 2015: *Nanotechnology: Principles and Practices*, 3rd ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing and New Delhi (India): Capital Publishing Company.
- LACAZE, P.-C. 2013: *Nanotechnologies. Concepts, Processing and Applications*. London (UK)-Hoboken (New Jersey, USA): ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- LOURTIOZ, J.-M. et al. (eds.). 2016: *Nanosciences and Nanotechnology. Evolution or Revolution?* European Materials Research Society-Springer International Publishing, Switzerland.
- MCCRAY, W. P. 2005: «Will Small Be Beautiful? Making Policies for Our Nanotech Future». *History and Technology. An International Journal*, 2005, v. 21/2: 177-203.
- MARCACCIO, M. y PAOLUCCI, F. (eds.) et al. 2014: *Making and Exploiting Fullerenes, Graphene, and Carbon Nanotubes*. Berlin-Heidelberg (Germany): Springer-Verlag.
- MARTÍN, N. 2011: «Sobre Fullerenos, Nanotubos de Carbono y Grafenos». *Arbor*, 2011 Extra 1: 115-131.
- MARTÍN GAGO, J. Á. (coord.) y otros. 2009: *Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).
- NAZARPOUR, S. y WAITE, S. R. (ed.) et al. 2016: *Graphene Technology. From Laboratory to Fabrication*. Weinheim (Germany): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K. et al. 2004: «Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films». *Science*, 22 Oct. 2004, vol. 306, issue 5696: 666-669, y «The rise of graphene». *Nature Materials*, 2007, n.º 3: 183-191.
- PLAZA RUIZ, C. 2016: *Política de Investigación e Innovación*. Madrid: Ed. Centro de Documentación Europea de la Universidad Politécnica de Madrid.
- POOLE Jr., Ch. P. y OWENS, F. J. 2007: *Introducción a la Nanotecnología* (trad. de R. Cao Vázquez, de la ed. estadounidense de 2003). Barcelona: Ed. Reverté.
- SCHULTE, J. (ed.) et al. 2005: *Nanotechnology: Global Strategies, Industry Trends and Applications*. Chichester (West Sussex, England): John Wiley & Sons, Ltd.
- TANIGUCHI, N. (ed.) et al. 1996: *Nanotechnology: Integrated Processing Systems for Ultra-precision and Ultra-fine Products*. Oxford (England): Oxford University Press.
- TANIGUCCI, N. 1974: «On the Basic Concept of Nano-Technology». En *Proceedings of the International Conference on Production Engineering, Tokyo*. Tokyo: Japan Society of Precision Engineering, 18-23.
- VAJTAI, R. (ed.) et al. 2013: *Springer Handbook of Nanomaterials*. Berlin (Germany): Springer-Verlag.
- VARIOS AUTORES-MINISTERIO DE DEFENSA. 2014: *Nanociencia, Nanotecnología y Defensa*. Madrid: Escuela de Altos Estudios de la Defensa (Ministerio de Defensa).
- VÁZQUEZ DE PARGA, A. L. 2011: «Ha nacido una Estrella. El grafeno». *Anales de Química (Real Sociedad Española de Química)*, 2011, vol. 107, n.º 3: 213-220.
- WALLACE, Ph. R. 1947: «The Band Theory of Graphite». *Physical Review*, may 1947, vol. 71, issue 9: 622-634.
- WOLF, E. L. 2014 *Applications of Graphene. An Overview*. New York: Springer.
- ZHAO, J.; LIU, L. y LI, F. 2015: *Graphene Oxide: Physics and Applications*. Heidelberg (Germany): Springer.