

NANOBIOTECNOLOGIA I NANOMEDICINA

JOSEP SAMITIER

Laboratori de Nanobioenginyeria, Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC). Centre de Recerca Biomèdica en Xarxa de Bioenginyeria, Biomaterials i Nanomedicina (CIBER-BBN). Departament d'Electrònica, Universitat de Barcelona

Adreça per a la correspondència: Josep Samitier. Institut de Bioenginyeria de Catalunya. C. de Baldiri i Reixac, 10-12. 08028 Barcelona. Tel.: 934 039 706.
Adreça electrònica: jsamitier@ibecbarcelona.eu.

RESUM

La nanobiotecnologia és la confluència entre la nanotecnologia i la biotecnologia. Inclou tots els mètodes i tècniques a nanoescala (10^{-9} m) que poden servir per controlar i caracteritzar la matèria biològica. Aquestes tècniques són emprades actualment per estudiar i modificar biomolècules i cèl·lules. A més de l'aplicació per estudiar biosistemes, els investigadors també aprenen de la biologia per crear nous dispositius a micronanoescala i per comprendre els processos relacionats amb la vida a l'escala nanomètrica. La nanotecnologia aplicada a la salut —usualment denominada *nanomedicina*— és una de les tecnologies clau per aconseguir sistemes de diagnosi precoç més precisos (quan més aviat es diagnostica, les opcions i eficiència dels tractaments augmenten), tractaments més orientats a les dianes terapèutiques (que disminueixen efectes secundaris) i millor seguiment de la teràpia. És evident que la nanomedicina serà un instrument fonamental per al desenvolupament d'una medicina personalitzada i sostenible.

Paraules clau: nanotecnologia, nanomedicina, tecnologia mèdica, alliberament de fàrmacs, diagnòstic, medicina regenerativa.

NANOBIOTECHNOLOGY AND NANOMEDICINE

SUMMARY

Nanobiotechnology represents the convergence between nano- and biotechnology and includes all methods and techniques at the nanoscale (10^{-9} m) that can serve to control and characterize biological matter. These techniques are therefore used to study and modify biomolecules and cells. Besides the application to study biosystems, researchers also learn

from biology to create new micro-nanoscale devices and better understand life processes at the nanoscale. Nanotechnology applied to healthcare —usually called *nanomedicine*— is one of the key enabling technologies to achieve and enable earlier and more precise, individual diagnosis (the sooner, the better the treatment), better targeted therapies (fewer side effects) and better therapy monitoring. Thus, nanomedicine is understood to be a fundamental instrument for personalized and sustainable medicine.

Key words: nanotechnology, nanomedicine, medical technology, drug delivery, diagnostic, regenerative medicine.

INTRODUCCIÓ

La nanotecnologia és la recerca i la innovació en materials i dispositius a escala atòmica i molecular. Això vol dir que continguin estructures o presentin propietats amb dimensions característiques que estiguin entre 1 i 100 nm, és a dir, entre 1 i 100 milionèsimes de mil·límetre. Per fer-nos una idea de l'ordre de magnitud que representa això, si tenim per referència el nostre planeta Terra, l'hem de reduir deu milions de vegades perquè ens quedi de la mida d'una pilota de futbol. Doncs per tenir la mida d'una molècula típicament «nano» hem de reduir la mida de la nostra pilota de futbol mil milions de vegades més. Llavors aconseguirem una petita nanopartícula amb la mida d'un fullerè, una molècula amb seixanta àtoms de carboni.

Aquest fet va ser destacat l'any 1959 pel premi Nobel de Física Richard Feynman i un dels precursors de la nanotecnologia en indicar en una conferència feta el 29 de desembre d'aquell any que «allà baix hi havia molt d'espai», remarcant que veritablement el món «nano» de les molècules i els àtoms era immens. A més, va afirmar que no hi havia cap principi físic que no ens permetés manipular i construir coses àtom a àtom. La importància de les afirmacions de Feynman és que es van fer quan encara no teníem instruments capaços de visualitzar o treballar amb àtoms i molècules individuals. Fins a l'any 1981 no es va construir

el microscopi d'efecte túnel i el 1986 les microscòpies de forces atòmiques, per poder tenir eines que ens permetessin treballar amb mides de la matèria tan petites. Fins llavors teníem microscopis electrònics que permetien ampliar i veure com era la morfologia i estructura de la matèria però sense poder manipular-la.

L'aplicació de la nanotecnologia a la medicina es coneix com a *nanomedicina* (Kim *et al.*, 2010), i comprèn un àmbit d'investigació científic i tecnològic interdisciplinari que pretén millorar el diagnòstic, tractament i prevenció de malalties i lesions traumàtiques, així com preservar i millorar la salut i qualitat de vida. Això implica millorar el coneixement i comprensió del cos humà a escala molecular a fi de poder analitzar, supervisar, controlar, reparar, reconstruir i millorar qualsevol sistema biològic humà.

La primera vegada que es va fer servir la paraula *nanomedicina*, segons recull la base de dades de publicacions biomèdiques PubMed, va ser el 1999 amb D. O. Weber en el Journal Health Forum, i el gener de l'any 2000 la revista *Newsweek* publicava un article titulat «The war on disease goes miniature. Nanomedicine: drugs and cancer tests, cell by cell». Des de llavors les publicacions que tenen a veure amb els descobriments i les aplicacions de la nanotecnologia a la biomedicina s'han incrementat exponencialment.

La nanomedicina estudia les interaccions a la nanoescala (1 a 100 nm) i per a això de-

senvelopa i utilitza dispositius, sistemes i tecnologies que inclouen nanoestructures capaces d'interactuar a escala molecular i que s'interconnecten amb microsisemes per interaccionar a escala cel·lular o subcel·lular (Duncan i Gaspar, 2001).

Des del punt de vista de les seves aplicacions, la nanomedicina en aquests moments es focalitza en tres grans eixos transversals: millora del diagnòstic tant *in vivo* com *in vitro*, desenvolupament de nous sistemes més efectius de subministrament i dosificació de fàrmacs, i desenvolupament de tecnologies per a l'enginyeria tissular i la medicina regenerativa. La nanomedicina constitueix un paradigma d'investigació translacional, ja que requereix des de la investigació fonamental que prové de la química, física o biologia a la investigació aplicada de ciència i tecnologia de materials, farmacologia, bioelectrònica i enginyeria biomèdica, així com la investigació mèdica clínica. Aquest fet implica noves necessitats de formació dirigides no només a estudiants, investigadors o professionals del sector sanitari, sinó també al públic en general, perquè assoleixi un coneixement suficient tant de les perspectives com de les limitacions o riscos assumibles que en aquest moment tenen les diferents línies d'investigació. En aquest sentit, considerem molt rellevant la implicació dels agents reguladors de les tecnologies sanitàries en el desenvolupament d'aquesta àrea. Així mateix, la nanomedicina requereix el desenvolupament d'un sector industrial que permeti que els avenços científicotecnològics es transformin en tecnologies per a la salut que puguin millorar la qualitat de vida a la vegada que disminueixin el cost sanitari. Es tracta d'un àmbit econòmic que inclou sectors com el farmacèutic, les tecnologies mèdiques o la biotecnologia.

És obvi que la nanomedicina està encara en una fase inicial, en què preval la tas-

ca d'investigació bàsica i orientada, malgrat que ja comencen a aparèixer els primers resultats clínics. Així, per exemple, l'any 2012 es va publicar a la revista *Science Translational Medicine*, amb l'epígraf *nanomedicine*, el primer resultat clínic en què es feia servir una nanopartícula polimèrica combinada amb el fàrmac docetaxel per tractar tumors sòlids. Són resultats obtinguts per investigadors del MIT i la Harvard Medical School juntament amb altres hospitals americans (Hrkach *et al.*, 2012).

Però és en els pròxims 10-15 anys quan els resultats d'aquesta investigació han de transferir-se a aplicacions que siguin plenament operatives dintre del sistema sanitari tant en la prevenció i diagnòstic com en la teràpia.

El nanodiagnòstic possibilita la identificació de malalties o de la predisposició a aquestes a escala cel·lular o molecular mitjançant la utilització de nanodispositius. Sota aquest concepte s'unifica la necessitat social i clínica, juntament amb la capacitat tecnològica, per detectar malalties en l'estat més primerenc possible, així com la necessitat de detectar potencials efectes indesitjables dels fàrmacs abans de la prescripció. Per assolir aquest objectiu, totes les activitats han d'estar encaminades a augmentar l'eficàcia del diagnòstic. I en aquest sentit, la nanotecnologia ofereix eines per millorar la sensibilitat, especificitat i fiabilitat. També

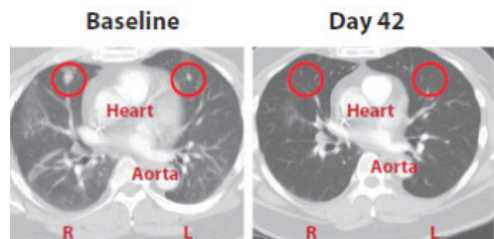


FIGURA 1. Tractament amb un nanofàrmac amb docetaxel (Hrkach *et al.*, 2012).

ofereix la possibilitat de fer mesures de diferents paràmetres en paral·lel o d'integrar diverses etapes del procés d'anàlisi, des de la preparació de la mostra fins a la detecció en un simple dispositiu miniaturista. Gràcies a la nanotecnologia, els dispositius futurs seran prou intel·ligents, atès tant el seu caràcter informatitzat com el seu caire robust, per ser utilitzats pel pacient mateix i subministrar una multitud de dades al metge. Es tracta, en definitiva, de satisfer les necessitats no cobertes actualment que beneficiaran tant el pacient com el sistema sanitari. En aquest sentit el desenvolupament dels dispositius anomenats *lab on a chip* o *point of care* són en aquests moments l'objectiu a assolir (Mir *et al.*, 2009). De sistemes com aquests que permetin fer una detecció de múltiples biomarcadors d'una determinada malaltia, actualment en tenim prototips per poder diagnosticar malalties infeccioses respiratòries en uns 30 min a partir d'una mostra de mucositat, i que permeten poder distingir entre infeccions bacterianes o víriques (Samitier *et al.*, 2004).

Els diagnòstics *in vitro* es poden dur a terme mitjançant biosensors o dispositius integrats amb molts sensors (www.theraedge.com). Un biosensor conté un determinat receptor biològic, com pot ser un enzim o un anticòs, capaç de detectar la presència o concentració d'una substància de manera específica i traduir aquesta interacció a través d'un transductor que transforma el senyal bioquímic en un senyal quantificable. Entre aquest tipus de dispositius poden esmentar-se nanoestructures fabricades mitjançant tècniques litogràfiques, que poden ser revestides amb biomolècules capaces d'unir-se a substrats específics (proteïnes, DNA complementari a una determinada seqüència genètica i, en general, molècules que participen en fenòmens d'adhesió i de reconeixement receptor-l·ligam), dispositius nanomètrics capaços de servir com a

plataforma de diagnòstic per poder detectar biomarcadors amb més sensibilitat de la que es pot obtenir amb els mètodes actuals, o nanocristalls de material semiconductor (*quantum dots*), que units a un anticòs o una altra biomolècula són capaços d'interaccionar amb la molècula d'interès.

La imatge molecular es defineix com la mesura, caracterització i diagnòstic *in vivo* de processos biològics cel·lulars o moleculars a través d'imatges generades mitjançant la utilització conjunta de nous agents moleculars i tècniques d'imatge mèdica tradicionals. Per visualitzar molècules específiques *in vivo* és necessari que es compleixin una sèrie de requisits: a) disponibilitat de nanodispositius d'alta afinitat per a la molècula amb una farmacodinàmica adequada; b) capacitat d'arribar a l'objectiu en una concentració i durant un temps suficient; c) utilització d'estratègies químiques o biològiques d'amplificació, i d) disponibilitat de tècniques d'imatge amb suficient sensibilitat, resolució i velocitat.

Avui dia, per aconseguir teràpies efectives i eficaces no només és necessari disposar de molècules amb activitat farmacològica (molècula activa o fàrmac), sinó que el vehicle, suport o sistema en el qual aquestes molècules van incorporades desenvolupa un paper fonamental en l'èxit final del medicament. En aquest sentit, els nous sistemes d'alliberament de fàrmacs (*drug delivery systems*) han permès que disposem actualment de tractaments més selectius i potents que milloren la ràtio eficàcia/toxicitat de l'actual i del futur arsenal terapèutic (Duncan i Gaspar, 2011). El concepte de *sistema d'alliberament de fàrmacs* va sorgir en la dècada dels setanta de manera coincident amb el de *alliberament controlat de fàrmacs*. Aquesta idea va ser conseqüència del reconeixement de les possibilitats de millora de les propietats terapèutiques dels fàrmacs en virtut de la seva incorporació a un sis-

tema que en permeti l'alliberament a la velocitat adequada i en l'entorn adequat. Per tant, la idea de sistema d'alliberament es va desvincular des dels seus inicis del concepte tradicional de forma farmacèutica, forma de dosificació o forma d'administració, que fan referència a la forma o condicionament final del fàrmac (comprimat, càpsula, injectable, supositori, etc.). Amb el pas del temps, els importants avenços en el disseny de nous sistemes d'alliberament han donat lloc a una ampliació d'aquest concepte.

Quan la nanotecnologia s'aplica al disseny i desenvolupament de sistemes d'alliberament de fàrmacs sorgeix una àrea d'investigació l'objectiu de la qual és la generació de nanosistemes terapèutics. Aquesta àrea de la nanomedicina es defineix com la ciència i tecnologia de sistemes complexos de grandària entre 1-1.000 nm formats per almenys dos components, un dels quals és un principi actiu (Zhang *et al.*, 2008). El sistema desenvolupat així està especialment dissenyat per tractar, prevenir o diagnosticar malalties. En sentit ampli es podrien incloure aquí aquells sistemes formats per un únic component però que han estat sotmesos a un procés que els transforma en nanomètrics (per exemple, mitjançant tecnologia de fluids supercrítics).

La medicina regenerativa és una àrea emergent que cerca la reparació o reemplaçament de teixits i òrgans mitjançant l'aplicació de mètodes procedents de teràpia genètica, teràpia cel·lular i enginyeria tissular. L'enginyeria tissular combina la utilització de cèl·lules vives i biomaterials que actuen com a estructures de suport en la reconstrucció del teixit, i fan les funcions de la matriu extracel·lular. Els biomaterials utilitzats en enginyeria tissular han sofert una clara evolució. Van començar essent materials inerts per a l'organisme (biomaterials de primera generació: període 1960-1970), per passar després a ser materials bioactius o

biodegradables (biomaterials de segona generació: període 1980-1990). Actualment, els materials que s'utilitzen són els denominats de tercera generació, aquells capaços de mimetitzar respostes cel·lulars específiques a escala molecular. Gràcies al desenvolupament de tecnologies a escala nanomètrica, aquesta generació de materials té el potencial d'interaccionar amb components cel·lulars, dirigir la proliferació i diferenciació cel·lular i la producció i organització de la matriu extracel·lular. En els últims anys la possibilitat de combinar nanotecnologia i cèl·lules mare permet predir que en el futur serà possible obtenir resultats que podran ser transferits a la teràpia clínica.

TERANÒSTIC: DIAGNÒSTIC COMBINAT AMB TERÀPIA

La combinació d'agents de contrast amb fàrmacs en una mateixa nanopartícula permet fer un seguiment de tres aspectes molt importants vinculats a la teràpia (Lee *et al.*, 2012; Lammer *et al.*, 2011; Doane i Burda, 2012).

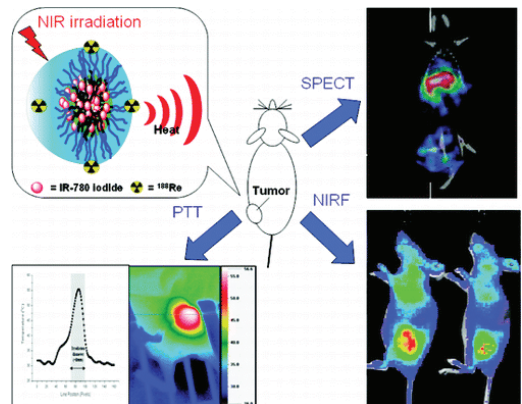


FIGURA 2. Miceles multifuncionals que incorporen un radionucli (^{188}Re) i una partícula sensible a la radiació infraroja per detectar i tractar cèl·lules tumorals en un model animal.

— La distribució del fàrmac en l'organisme.

— El procés d'eliminació del fàrmac en l'organisme.

— L'eficàcia del fàrmac en l'organisme.

Així mateix aquesta combinació de característiques en una mateixa nanopartícula pot ajudar a incrementar la concentració del fàrmac en els teixits d'interès així com l'activació local controlada. Per exemple, la incorporació de radionuclis a un conjugat copolimèric amb doxorubicina va servir per observar de manera no invasiva l'acumulació i biodistribució de sistemes de transport polimèric en diferents tipus de tumor, i així permetre'n l'optimització. Com a exemple, una nanopartícula multifuncional que inclou un agent fluorescent infraroig i un radionucli ha estat emprada com a sistema de diagnòstic a la vegada que possibilitava l'aplicació d'una teràpia fototèrmica, en irradiar en aquest cas el model animal amb radiació infraroja (Peng *et al.*, 2011).

NANOMEDICINA I CÀNCER

La combinació de la nanotecnologia amb la biotecnologia ha permès estendre els límits actuals del diagnòstic molecular. Aquest fet permet millorar dia a dia la detecció en fases inicials de cèl·lules tumorals («Cancer nanotechnology: opportunities and challenges», 2005; Balco *et al.*, 2011; Jain, 2010). Les nanopartícules d'or no són tòxiques per a les cèl·lules humanes, i combinades amb anticossos monoclonals poden reconèixer cèl·lules cancerígenes específiques. Per exemple, nanopartícules d'or que inclouen en la seva superfície molècules que detecten receptors específics s'adhereixen sobre les cèl·lules cancerígenes amb un 600 % més d'afinitat que sobre les cèl·lules normals.

A més d'emprar nanopartícules per al

diagnòstic per la imatge, com hem indicat anteriorment, s'està investigant en la detecció de les cèl·lules tumorals circulants mitjançant nanopartícules per prevenir el procés de metastasi.

Des del punt de vista de la teràpia s'han desenvolupat sistemes d'alliberament de fàrmacs basats en l'ús de nanopartícules, des que l'any 1995 la FDA acceptés l'ús d'una formulació amb liposomes del fàrmac doxorubicina per al tractament del sarcoma de Kaposi. Aquesta formulació va demostrar que produïa una notable disminució de la cardiotoxicitat del fàrmac a la vegada que n'augmentava la farmacocinètica des de 10 min fins a 50 h. A partir d'aquí van aparèixer altres formulacions basades

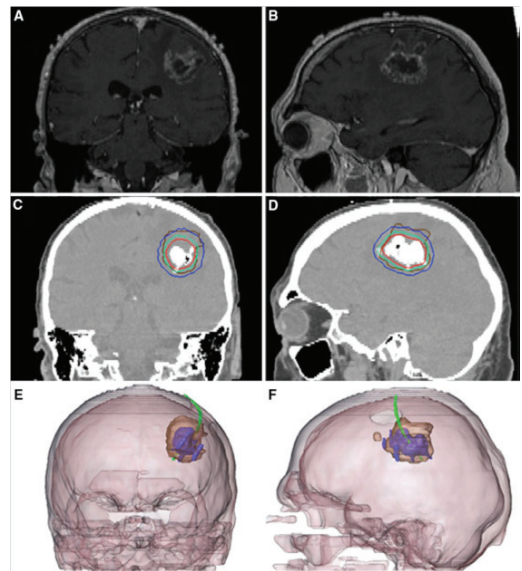


FIGURA 3. Tractament de glioblastoma (Namiki, 2010) amb partícules magnètiques. *a, b*) Imatge del cervell abans del tractament per MRI, *c, d*) Imatge de tomografia computacional que mostra l'acumulació de nanopartícules magnètiques. Les ratlles isotèrmiques indiquen la temperatura calculada de 40 °C (blau) i 50 °C (vermell). La ratlla marró representa l'àrea ocupada pel tumor. *e, f*) Reconstrucció de les imatges de MRI i CT que mostra el tumor (marró), el fluid magnètic (blau) i el catèter (verd).

en liposomes. Els liposomes són nanopartícules esfèriques d'aproximadament 100 nm formades per una membrana bilipídica de fosfolípids. En el seu interior aquós es poden encapsular un gran nombre de principis actius. A més, la part externa de la membrana, en ser hidrofòbica, permet incloure fàrmacs hidrofòbics (Namiki, 2010).

Les micelles polimèriques són també nanoestructures esfèriques entre 10 i 100 nm formades per l'autoassemblatge de copolímers amfifílics en sistemes aquosos. Aquestes partícules també serveixen per incorporar fàrmacs lipofílics a la vegada que es poden funcionalitzar amb biomarcadors per detectar les cèl·lules tumorals.

Des del punt de vista de teràpia la utilització de siRNA lligat a nanopartícules presenta resultats prometedors des que l'any 2008 es va fer el primer estudi clínic en pacients amb tumors sòlids (Chen *et al.*, 2010).

La magnetotèrmia o l'ús de nanopartícules magnètiques que s'acumulen en la regió tumoral, a la vegada que el pacient és sotmès a un camp magnètic oscil·lant, permet que es produeixi un escalfament local de la regió que presenta dues accions terapèutiques. Si l'augment de temperatura és suficient es produeix l'apoptosi cel·lular, i si l'augment és inferior es produeix un increment de la permeabilitat de la membrana cel·lular als tractaments de quimioteràpia.

CONCLUSIONS: EVOLUCIÓ DE LA NANOMEDICINA EN ELS PROPERS ANYS

La nanomedicina és un àmbit de gran creixement per a la indústria de tecnologies mèdiques, biotecnologia i farmacèutica (Juanola-Feliu *et al.*, 2011). Un informe recent dels mercats a set països (els Estats Units, el Japó, Alemanya, França, el Regne Unit, Itàlia i Espanya) elaborat pel BCC Research in-

dica que l'any 2010 el mercat de la nanomedicina va arribar als 63.800.000.000 dòlars i que l'any 2011 la xifra fou de 72.800.000.000 dòlars. S'espera que l'any 2016 aquesta xifra arribi als 130.900.000.000 dòlars amb un creixement anual del 12,5 % entre 2011 i 2016. Per àmbits d'aplicació destaquen les aplicacions en càncer: 25.200.000.000 el 2010 i 28.000.000.000 el 2011, per arribar el 2016 als 46.700.000.000 amb un creixement del 10,8 % anual.

Respecte a la investigació en nanomedicina al món, la figura obtinguda mitjançant el web GoPubMed assenyalava el mapa de la investigació mundial en nanomedicina.

Aquesta anàlisi ens porta a destacar que de tots els articles referenciats a la base de dades PubMed sota l'epígraf de nanomedicina, Espanya ocupa la tercera posició mundial darrere dels Estats Units i la Xina. Així mateix Barcelona apareix en segona posició darrere de Boston i per davant de Houston quant a la producció científica en nanomedicina.

Els propers anys seran fonamentals per al desenvolupament de la nanomedicina i la seva utilització tant per millorar la comprensió dels mecanismes fisiològics i biològics de moltes malalties, com de la prevenció, diagnòstic i teràpia (Hamburg, 2012; Sanha *et al.*, 2008; Juliano, 2012). Iniciatives com la recent aliança Bionanomed de Catalunya (www.bionanomedcat.org) ens han de permetre consolidar-nos com un en-



FIGURA 4. Mapa de la nanomedicina al món obtinguda a partir del web GoPubMed, <http://www.pubmed.org/web/gpubmed>.

torn capdavanter amb projecció internacional en el desenvolupament de la nanomedicina.

BIBLIOGRAFIA

- BLANCO, E. [et al.] (2011). «Nanomedicine in cancer therapy: Innovative trends and prospects». *Cancer Sci.*, 102: 1247-1252.
- «Cancer nanotechnology: opportunities and challenges» (2005). *Nature Review 2005*, vol. 5, març, p. 161.
- CHEN, Y. [et al.] (2010). «Targeted nanoparticles deliver siRNA to melanoma». *J. Invest. Dermatol.*, 130: 2790-2798.
- DOANE, T. L.; BURDA, C. (2012). «The unique role of nanoparticles in nanomedicine: imaging, drug delivery and therapy». *Chem. Soc. Rev.*, 41: 2885-2911.
- DUNCAN, R.; GASPÀR, R. (2011). «Nanomedicine(s) under the microscope». *Molecular Pharmaceutics*, 8: 2101-2141.
- HAMBURG, M. A. (2012). «FDA's approach to regulation of products of nanotechnology». *Science*, 336: 299.
- HRKACH, J. [et al.] (2012). «Preclinical development and clinical translation of a PSMA-targeted docetaxel nanoparticle with a differentiated pharmacological profile». *Sci. Transl. Med.*, 4: 128ra39.
- JAIN, K. K. (2010). «Advances in the field of nanotechnology». *BMC Medicine*, 8: 83.
- JUANOLA-FELIU, E. [et al.] (2011). «Market challenges facing academic research in commercializing nano-enabled implantable devices for in-vivo biomedical analysis». *Technovation*, doi:10.1016/j.technovation.2011.09.007
- JULIANO, R. L. (2012). «The future of nanomedicine: promises and limitations». *Science and Public Policy*, 39: 99-104.
- KIM, B. Y. S. [et al.] (2010). «Nanomedicine». *The New England Journal of Medicine*, 363: 2434-2443.
- LAMMERS, T. [et al.] (2011). «Theranostic nanomedicine». *Accounts of Chemical Research*, 44: 1029-1038.
- LEE, D. E. [et al.] (2012). «Multifunctional nanoparticles for multimodal imaging and theragnosis». *Chem. Soc. Rev.*, 41: 2656-2672.
- MAIER-HAUFF, K. [et al.] (2011). «Efficacy and safety of intratumoral thermotherapy using magnetic iron-oxide nanoparticles combined with external beam radiotherapy on patients with recurrent glioblastoma multiforme». *J. Neurooncology*, 103: 317-324.
- MIR, M. [et al.] (2009). «Integrated electrochemical

- DNA biosensors for lab-on-a-chip devices». *Electrophoresis*, 30: 3386-3397.
- NAMIKI, Y. (2010). «Nanomedicine for cancer: lipid-based nanostructures for drug delivery and monitoring». *Accounts of Chemical Research*, 44: 1080-1093.
- PENG, C. L. [et al.] (2011). «Multimodal image-guided photothermal therapy mediated by ¹⁸⁸re-labeled micelles containing a cyanine-type photosensitizer». *ACS Nano*, 5: 5594-5607.
- SAMITIER, J. [et al.] (2004). «Nanoelectromechanical system». A: NALWA, H. S. [ed.]. *Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology*, vol. 6, p. 643-663.
- SANHA, R. [et al.] (2008). «Seven challenges for nanomedicine». *Nature Nanotechnology*, 3: 242-244.
- ZHANG, L. [et al.] (2008). «Nanoparticles in medicine: therapeutic applications and developments». *Clin. Pharmacol. Ther.*, 83: 761-769.

SOBRE L'AUTOR

Josep Samitier i Gomis és nascut a Barcelona el 1960. Director de l'Institut de Bioenginyeria de Catalunya. Catedràtic d'electrònica de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona. Director del HUBc, campus d'excel·lència en salut de la UB. Investigador principal del Laboratori de Nanobioenginyeria de l'IBEC. Ha exercit de cap d'estudis d'enginyeria electrònica i director del Departament d'Electrònica, de coordinador del màster d'enginyeria biomèdica, d'avaluador de l'ANEP, AQU i de SISE de titulacions, departaments i centres de recerca. Expert en metodologia d'avaluació de la qualitat universitària. És membre de l'Institut de Nanociència i Nanotecnologia de la UB. Ha dirigit 24 tesis doctorals. És coordinador de la Plataforma Tecnològica Espanyola de Nanomedicina des de la seva fundació. Premi Ciutat de Barcelona l'any 2003 en la categoria d'innovació tecnològica. Ha estat vicerector de Política Internacional i vicerector d'Innovació i Programes Internacionals de Recerca a la UB. Des del 21 d'abril de 2008 fins al novembre de 2008 va ser rector en funcions de la UB.