



INFORME

ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN DE NANOTECNOLOGÍA Y NANOMEDICINA EN CATALUNYA

(NOVIEMBRE 2023)

David-Álvaro Martínez, Arnau Brasó, Andoni Ibarra

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i *PID2020-114279RB-I00*, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033



Índex

1. Introducción
2. Investigación e industria de nanotecnología y nanomedicina en Catalunya
 - 2.1. Análisis de los círculos de investigación y de empresas
 - 2.2. Avances e innovación en nanomedicina en Catalunya
 - 2.3. El caso concreto de la nanocería
3. Agencias de regulación e instituciones públicas de nanomedicina en Catalunya
 - 3.1. Análisis del círculo de agencias de regulación e instituciones públicas
 - 3.2. Regulación en sociedad
 - 3.3. Percepción de riesgo-beneficio futuro
4. Usuarios y sociedad de nanomedicina en Catalunya
 - 4.1. Análisis del círculo de usuarios y sociedad
 - 4.2. Percepción del usuario en sectores relacionados con la nanomedicina
 - 4.3. Participación en la coproducción del conocimiento sociotécnico
5. Conclusiones
6. Referencias

1. Introducción

El presente informe aborda la construcción de un mapa topológico del ecosistema de innovación de la nanotecnología y la nanomedicina en Catalunya conforme a su fecha de realización, en noviembre de 2023. El objetivo del mismo es instrumental y tiene que ver con la obtención de elementos informativos críticos para llevar a cabo actividades orientadas a constituir y robustecer una serie de capacidades relacionales de tipo anticipatorio entre una red de actores diversos. Es por ello que este informe no aspira a ofrecer una autoconsistencia sumamente exhaustiva, sino más bien una instantánea representativa del periodo señalado. Debido a la dinámica cambiante en el campo de la nanotecnología y la nanomedicina, la información contenida en el mismo puede no reflejar las últimas novedades al momento de su consulta. En consecuencia, se recomienda su revisión regular para obtener una visión actualizada de la situación y maximizar su utilidad en la toma de decisiones estratégicas y la planificación de acciones futuras en este ámbito de innovación de Catalunya.

Antes de proceder a detallar la metodología y las fuentes de material primario en la confección del informe, introduciremos de manera concisa una revisión de la literatura sobre innovación que antecede al uso del concepto de ‘ecosistema’ que aquí vamos a emplear. Esta revisión nos ofrece un contexto adecuado para situarnos en torno a los distintos modelos de innovación adoptados para la representación y evaluación de las relaciones entre agentes diversos (academia, industria, agentes políticos, usuarios, etc.) en entornos de producción de conocimientos sociotécnicos. Ello facilitará la comprensión del uso y la significancia que conferimos al concepto de ‘ecosistema’ en el marco de esta investigación, así como a la estructura y modelo empleados.

En este sentido, las primeras vinculaciones de interés en ámbitos de innovación se establecieron dentro de los límites del mundo de la academia y su entorno, y se caracterizaron por una puesta en práctica de modelos regidos unilateralmente por las normas de la ciencia. Tales vinculaciones fueron descritas siguiendo el denominado *modelo lineal* o *modo 1* (Gibbons et al., 1994), impulsado desde el ámbito académico hacia el sector industrial, pero no al revés, de acuerdo con una estructura unidisciplinar, muy homogeneizada y fuertemente arraigada en las instituciones académicas y centros de investigación (Castillo et al., 2014). Este modelo recibió numerosas críticas por su linealidad metodológica, debido principalmente a su omisión de las retroalimentaciones que pueden producirse en las distintas etapas del proceso, y que pueden llevar a reconsiderar los pasos anteriores, dando lugar, por ejemplo, a nuevas innovaciones (Edgerton, 2004; Godin 2006).

Atendiendo a este tipo de problemas, y buscando una transferencia del conocimiento más bidireccional, se desarrollaron modelos más heterogéneos, como el *modelo dinámico* o *modo 2* (Kline & Rosenberg, 1986), en el que se puso énfasis no solo en la comunidad académica e investigadora, sino en la aplicabilidad y utilidad social de la investigación en torno a problemas concretos (Villaveces, 2006). La introducción de este modelo a su vez abrió la puerta a enfoques más específicos en la misma dirección, como el *triángulo de Sabato* (Sabato & Botana, 1968), en el que se trazó una política reguladora a escala nacional para la gestión del gobierno de la ciencia y tecnología; pero también a modelos más complejos, como el de *sistemas de innovación* (SDI) (Freeman, 1987; Lundvall, 1985), donde se buscó describir el tipo de cooperación a largo plazo entre estructuras más transdisciplinarias e interactivas tanto a escala local, nacional o regional.

Podría decirse que el modelo de *sistemas de innovación* (SDI) es el predecesor más directo de los *ecosistemas de innovación* (Vasconcelos Gomes et al., 2018), aunque también resulta pertinente mencionar otros modelos que surgieron como revisión de los modos 1 y 2 anteriores. A este respecto, es importante señalar el modelo de la *triple hélice* (TH) (Etzkowitz & Leydesdorff, 1998), donde se plantearon múltiples esquemas para detallar la interacción entre

distintos ‘actores’ o ‘círculos institucionales’, representados por gobiernos, empresas y universidades, así como sus diferentes versiones (López et al., 2006). El modelo TH ha sido ampliamente adoptado por diversos responsables de políticas públicas (Otárola & de Zárate, 2022), motivo por el cual se ha considerado con frecuencia el paradigma actual dominante o *mainstream* de las políticas tecnológicas (ibid). No obstante, el modelo TH ha ido siendo actualizado con la integración de más hélices con el objetivo de reducir brechas entre la innovación y otros elementos a considerar, como la sociedad civil —mediante el modelo de la *cuádruple hélice* (CH) (Carayannis & Campbell, 2009)— o el espacio medioambiental y urbano —mediante el modelo de la *quíntuple hélice* (QH) (Galvao et al., 2019; Peris-Ortiz et al., 2018).

En este informe nos centraremos en una estructura o modelo de *cuádruple hélice* (CH) constituido por: academia/centros de investigación, empresas/industria, políticas/agencias regulatorias y usuarios. Y ello con el objetivo de enfatizar la integración de actores, grupos de interés o *stakeholders* diversos en la coproducción del conocimiento sociotécnico de la nanotecnología y la nanomedicina (véase figura 1). Ahora bien, es importante señalar que los modelos helicoidales, pese a compartir un enfoque más amplio de los aspectos estructurales de la innovación, tienden a desatender la relevancia que tiene la propia naturaleza dinámica de la innovación, tal como han destacado diversos autores (Arenal et al., 2020; Mercan & Götkas, 2011). Esta naturaleza dinámica, fruto de las interrelaciones entre los distintos círculos, no es ninguna característica subsidiaria, sino todo un aspecto crucial, si queremos entender cómo se configura un sistema de innovación determinado. De ahí que en la literatura especializada comience a utilizarse el concepto de *ecosistema de innovación* (EDI) para referir y explicitar este tipo de interdependencias (Adner, 2006; Adner & Kapoor, 2010).

El enfoque conceptual EDI nace así dentro del marco de los ecosistemas empresariales, inspirados en las teorías de la ecología (Moore, 1993). Este enfoque buscó explicar conceptualmente el tipo de interacciones dinámicas entre los elementos que componen un entorno o *biotopo*, entendiendo a éste como un sistema de vida. En él, los agentes se vinculan en un proceso de producción de nuevas ideas (Vasconcelos Gomes et al., 2018) y son categorizados siguiendo un criterio de representatividad, pero sin llegar a una exhaustividad excesiva. Esto es: identificándose uno o muy pocos elementos básicos, y una cantidad más o menos grande de elementos teóricos más especializados, los cuales se irán construyendo mediante un proceso de especificación sucesiva de los elementos teóricos básicos (Ibarra & Larrañaga, 2011). Así, el elemento básico de un círculo institucional concreto, como puede ser el de empresas, será el de la actividad económica relacionada con la producción, distribución y/o comercialización de bienes y servicios para obtener beneficios. Por ende, los elementos teóricos especializados sucesivos se dividirán en variables como el ánimo (o no) de lucro; la forma de financiación (pública, privada o mixta); el tamaño (micro, pequeño, mediano y grande); el año de fundación; el ámbito y/o alcance (local, nacional, internacional) (véase figura 2 y su tabla correspondiente).

Por tanto, más allá de ofrecer un criterio de representatividad para los círculos institucionales que componen el ecosistema, el enfoque conceptual EDI nos proporciona un *mecanismo metodológico* decisivo para poner de relieve las vinculaciones y relaciones a nivel *intracircular* e *intercircular* del ecosistema mismo. Ello se debe a la naturaleza dinámica que epistemológicamente impregna el concepto mismo de ecosistema. Por esta razón, el presente informe se sitúa tomando como referencia el concepto de ecosistema y partiendo de un modelo de *cuádruple hélice* (CH). Con este planteamiento pretendemos identificar desde el inicio no solo patrones cualitativos específicos de cada círculo —buscando luego una contraposición intercircular entre ellos—, sino a la par aquellos patrones *intercirculares* o transversales que desde el inicio puedan ser identificados como elementos informativos comunes y críticos; y que, por ende, trascienden los límites originales de representación de los círculos analizados. El propósito de dicha estrategia no es otro que el de lograr una visión lo más detallada y diversa

posible de las oportunidades, controversias y desafíos del ecosistema de la nanotecnología y la nanomedicina en Catalunya.

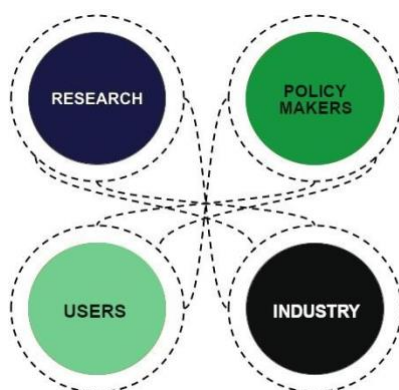


Figura 1. Modelo CH del ecosistema de innovación analizado.

Habiendo esclarecido las razones que respaldan la elección del modelo y enfoque conceptual que guiará el presente informe, procedemos ahora a detallar las dos fuentes de material primario consideradas para su consecución:

1. Informes cuantitativos previos, así como publicaciones oficiales sobre nanotecnología, nanomedicina y participación ciudadana en el ámbito territorial de Catalunya (ACCIÓ, 2021; AdB, 2023; Casado et al., 2021; SfC, 2022).
2. Entrevistas cualitativas a grupos de interés o *stakeholders* de los círculos institucionales representativos del ecosistema de innovación.

Para la consecución del punto 2 se enviaron un total de 115 cartas de invitación, recibiendo un total 34 respuestas (30%), 12 positivas (35%) y 22 negativas (65%). De las 12 potenciales entrevistas, 2 no se efectuaron por causas ajenas, restando un total de 10 entrevistas en total realizadas a representantes de: 3 centros de investigación, 2 empresas, 2 organismos de regulación y 3 usuarios (hospitales). 3 entrevistas se efectuaron en persona y 7 por videollamada, con una duración media de 44 minutos, garantizándose la confidencialidad y el anonimato de los/as entrevistados/as.

Por último, es importante indicar que el contenido de los apartados 2, 3 y 4 del informe sigue una estructura análoga común, con un primer listado de componentes relativos a cada círculo representado a través de una tabla, siendo clasificado cada componente según el nombre, actividad, tipo de financiación, tamaño/alcance y año de fundación. Sigue un análisis de cada tabla acompañado de un esquema topológico, donde se representa visualmente la composición específica de cada círculo. Finalmente, se discute la información recogida en las entrevistas en varios apartados temáticos típicamente vinculados con la actividad característica de cada círculo —por ejemplo, las cuestiones relativas a los últimos avances en nanomedicina, o el caso concreto de la nanocería, se discuten en el apartado de investigación/academia; y las relativas a la regulación o la percepción del análisis riesgo-beneficio, en el apartado de políticas regulatorias—. No obstante, todas las cuestiones fueron mencionadas y tratadas de manera transversal independientemente del círculo o entidad institucional representada por el entrevistado/a, como puede comprobarse en los resultados presentados.

2. Investigación e industria de nanotecnología y nanomedicina en Catalunya

2.1. Análisis de los círculos de investigación y de empresas



CENTROS DE INVESTIGACIÓN

Nombre	Actividad	Financiación	Tamaño	Fundación
Centre d'Estudis i Recerca en Tecnologia dels Aliments (CERTA)	Nuevas tecnologías en industria alimentaria	Mixta	Pequeño	1993
Centre for Genomic Regulation (CRG)	Biomedicina	Pública	Grande	2000
Centre de Química Col·loidal i Interficial (QCI)	Química Coloidal	Pública	Pequeño	2007
CERETOX	Nanotoxicología	Pública	Pequeño	2006
Eurecat	Nanotecnología	Privada	Grande	1946
IQS TECH TRANSFER	Biomateriales	Privada	Mediano	2015
Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC)	Bioingeniería, nanomedicina	Pública	Grande	2005
Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2)	Nanociencia, nanotecnología	Pública	Grande	2003
Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC)	Nanomateriales, nanomedicina	Pública	Grande	1986
Institut de Microelectrònica de Barcelona (IMB-CNM, CSIC)	Nanoelectrónica	Pública	Mediano	1985

Institut de Nanociència i Nanotecnologia (IN2)	Nanociencia, nanotecnología	Pública	Mediano	2006
Institut de Química Avançada de Catalunya (IQAC-CSIC)	Nanotecnología química y biomolecular	Pública	Mediano	2007
Institut de Recerca Biomèdica de Lleida (IRBLleida)	Biomedicina	Pública	Grande	2004
Institut de Tècniques Energètiques (INTE)	Radiofísica mèdica, medio ambiente	Pública	Mediano	1971
Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer (IDIBAPS)	Nanobioteconología	Pública	Grande	1996
Institut del Mar d'Investigacions Mèdiques (IMIM)	Biomedicina	Pública	Grande	1947
Leitat Technological Center	Innovación tecnológica	Mixta	Grande	1906
Servei de Desenvolupament del Medicament	Nanomedicina	Pública	Pequeño	1996
TecnATox	Protección medio ambiente y salud	Pública	Pequeño	2008
Vall d'Hebron Institut de Recerca	Biosanidad	Pública	Grande	1994



EMPRESAS

Nombre	Actividad	Financiación	Tamaño	Fundación
ACEFESA	Productos para laboratorio	Privada	Pequeño	1986
Advanced Nanotechnologies	Nanotecnología	Mixta	Micro	2012
AGC Pharma Chemicals Europe	Química farmacéutica	Privada	Grande, multinacional	2019

Ahead Therapeutics	Nanoquímica, biotecnología	Mixta	Micro, start-up	2017
Applied Nanoparticles (AppNPs)	Ingeniería nanotecnológica	Mixta	Micro, spin-off	2013
Almirall	Química farmacéutica	Privada	Grande, multinacional	1943
AMGEN España	Biotechnología, biofarmacéutica	Privada	Grande, multinacional	1990
Aromics	Ciencias ómicas	Mixta	Pequeño	2005
Ascil Biopharm	Farmacología	Mixta	Pequeño	2012
Astrea Materials	Catalizadores de nanotecnología	Mixta	Micro	2016
BASF	Nanotecnología química	Mixta	Grande, multinacional	1969
Bayer Iberia	Química farmacéutica	Privada	Grande, multinacional	1899
Biochemize	Biotechnología	Mixta	Micro	2011
Bicosome	Nanotecnología, cuidado de piel	Mixta	Micro	2012
Cebiotex	Biotechnología	Mixta	Micro, start-up	2012
Celltec UB	Tecnología celular y molecular	Mixta	Micro, spin-off	1998
CENAVISA	Farmacología Veterinaria	Privada	Mediano	1965
CRODA Ibérica	Cuidado personal y de salud	Privada	Grande, multinacional	1998
Devicare	Biotechnología	Mixta	Micro	2012
Ecopol Tech	Nanomedicina, cosmética	Mixta	Micro	2005
Endor Technologies	Nanobiotechnología, cosmética	Privada	Micro	2007
Farmaprojects	Química farmacéutica	Privada	Mediano	1988
Ferrer for good	Medicamentos de prescripción	Mixta	Grande, multinacional	1959

GP Pharm	Biofarmacia	Privada	Mediano	2000
Graphenica Lab	Nanobioelectrónica, biosensores	Mixta	Micro, spin-off	2017
InBrain Neuroelectronics	Nanomedicina	Mixta	Micro, spin-off	2019
Infinitec	Bioteología	Privada	Pequeño	2006
InKemia	Bioteología	Privada	Micro	1997
Nanobots Therapeutics	Nanomedicina	Mixta	Micro, spin-off	2023
Nanoligent	Nanobioteología	Mixta	Micro, spin-off	2017
Nanomol Technologies	Nanomedicina	Privada	Micro, spin-off	2010
Nanonica Europe	Nanoteología, nanomedicina	Privada	Micro, spin-off	2006
Niche Beauty Lab	Nanoteología, cosmética	Privada	Pequeño	2016
Oryzon Genomics	Biofarmacia	Privada	Pequeño	2000
Paperdrop Diagnostics	Nanobioelectrónica, biosensores	Mixta	Micro, spin-off	2016
Roka Furadada	Nanomedicina, cuidado de piel	Mixta	Micro, start-up	2019
Science for Change	Ciencia ciudadana	Mixta	Micro	2019
Sitec PharmaBio	Biofarmacia, nuevas tecnologías	Privada	Micro	2009
Telstar Spain	Industria farmacéutica	Privada	Grande, multinacional	1963

Un análisis de los dos círculos institucionales de investigación y empresas nos devuelve un total de 59 organismos representativos, divididos en 20 centros de investigación (34%) y 39 empresas (66%). De ellos, un 28% tiene menos de 10 años de antigüedad, un 38% fue creado alrededor de la primera década del siglo XXI y un 34% fue fundado a lo largo del siglo XX. Si tenemos en cuenta que no es hasta finales del siglo XX que la investigación científica accede a visualizar y manipular la materia a escala nanométrica (Closa, 2019), podemos inferir que la creación del 34% del total de centros de investigación y empresas a lo largo del siglo XX no está directamente relacionada con la nanotecnología, siendo incorporada ésta a posteriori a sus prácticas. Ejemplo de ello son centros de investigación como Eurecat (1946), el Institut de Tècniques Energètiques (INTE) (1971) o el Institut del Mar d'Investigacions Mèdiques (IMIM) (1947); así como empresas como Almirall (1943), Ferrer for good (1959) o Farmaprojects (1988). La incorporación de nanoaplicaciones a la actividad productiva de estos centros y empresas a finales del siglo XX y principios del XXI fue de la mano del incremento en I+D tanto de inversiones privadas como de fondos públicos dentro del contexto europeo, lo cual se consideraba un indicador de que las investigaciones iban a transformarse en mercancías realizables en el mercado, con la consiguiente recuperación del capital invertido y la obtención de ganancias (Casado & López-Baroni, 2021).

Es quizás el porcentaje más alto (38%), surgido en torno a la primera década del siglo XXI, el resultado del efecto correspondiente en Catalunya a la eclosión a nivel internacional del campo de la nanotecnología (Casado et al., 2021), con la creación de centros de investigación punteros como el Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2) (2003), el Institut de Nanociència i Nanotecnologia (IN2) (2006); y de microempresas como Nanomol Technologies (2010), Nanonica (2006) o Advanced Nanotechnologies (2012), entre otras. El 28% restante de centros y empresas, creados hace menos de 10 años, se corresponde, por lo general, con empresas de tamaño pequeño y micro, como Niche Beauty Lab (2016), Roka Furadada (2019) o Astrea Materials (2016); con start-ups como Nanobots Therapeutics (2023); y con spin-offs como Graphenica Lab (2017), AppNPs (2013) o Nanoligent (2017). El período de fundación de estas empresas les ha permitido ofrecer servicios para la salud o el medio ambiente a través de un uso ya más estandarizado de la nanotecnología, si lo comparamos con el período correspondiente al 38% anterior.

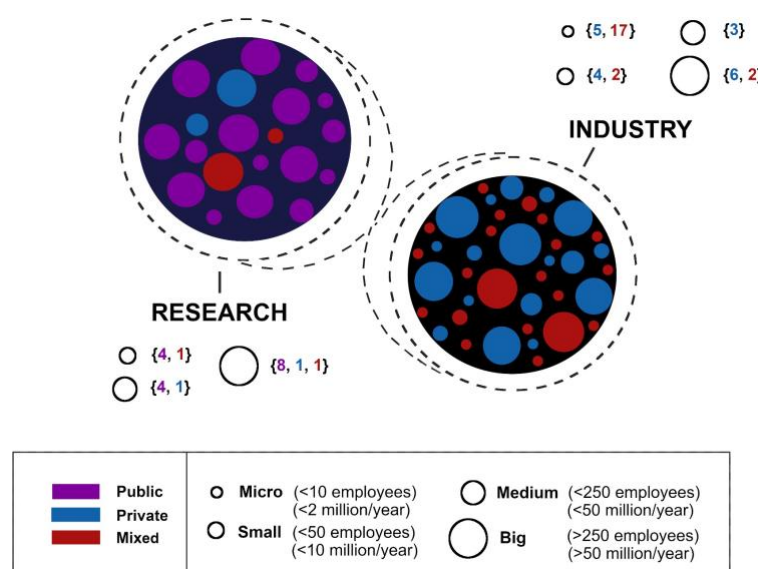


Figura 2. Representación de los círculos de investigación e industria según el tamaño y tipo de financiación de sus componentes.

Si atendemos a la representación gráfica de la figura 2, podemos observar también que la presencia de organismos públicos en el círculo institucional de investigación prevalece muy por encima de la de organismos privados o mixtos, ya sean estos centros de tamaño pequeño, mediano o grande. Concretamente, un 80% del total se corresponde con centros e institutos de carácter público, siendo solo un 10% de carácter privado y otro 10% de carácter mixto. Cabe destacar tanto la ausencia de centros e institutos privados de tamaño pequeño, como la de centros e institutos mixtos de tamaño mediano. Sin embargo, nos encontramos con un escenario diametralmente opuesto en lo relativo al círculo de empresas, donde la presencia total de organismos se divide en componentes de carácter privado y mixto, sin presencia alguna de componentes de carácter público. Concretamente, un 46% del total de componentes corresponde a empresas de carácter privado y un 54% a empresas de carácter mixto.

Asimismo, el porcentaje de grandes empresas privadas con sede en Catalunya, como AMGEN, AGC Pharma Chemicals Europe o Almirall, triplica al de grandes empresas mixtas, como Ferrer for good y BASF, aunque es importante señalar que esta triplicación no se corresponde con cantidades elevadas del conjunto de componentes, sino reducidas {6, 2}, lo que nos indica que hay una variabilidad significativa entre estos componentes en términos relativos. Es decir, que aunque la diferencia porcentual sea, en este caso, considerable (75%—25%), al haber una cantidad baja de componentes, cada uno de ellos puede tener un impacto sustancial en el porcentaje total. Mucho más homogéneo es el escenario del conjunto de empresas de tamaño mediano {3}, donde el carácter es exclusivamente privado, igualándose un poco más en el conjunto de tamaño pequeño {4, 2}, con un 67% privado frente a un 33% mixto.

Sin embargo, sí que es significativamente distinto el conjunto del tejido microempresarial relativo a la nanotecnología y nanomedicina en Catalunya {5, 17} con respecto al conjunto de empresas pequeñas, medianas y grandes. Aquí nos encontramos con un 23% de componentes privados y un 77% de componentes mixtos, lo cual supone un escenario inverso en términos porcentuales al de las grandes empresas. Esto se explica atendiendo al elevado número de spin-offs derivadas de grandes centros de investigación y fundaciones de carácter público, como Nanobots Therapeutics (derivada de IBEC), Paperdrop Diagnostics (de ICN2) o Applied Nanoparticles (de ICN2 e ICREA). Estas microempresas juegan un papel importante en el ecosistema estudiado, puesto que, al tener un foco de servicios mucho más restringido centrado en la nanotecnología, contribuyen significativamente a la introducción de enfoques innovadores y nuevos productos. Ejemplo de esto último es la MotionTx platform, desarrollada por Nanobots Therapeutics; las pruebas de diagnóstico rápido en microfluidos de papel, comercializadas por Paperdrop Diagnostics; la venta de altas concentraciones de nanopartículas coloidales (Applied Nanoparticles); o productos basados en proteínas inmunoestimulantes, por parte Endor Technologies; entre muchos otros.

2.2. Avances e innovación en nanomedicina en Catalunya

Antes de entrar a examinar los datos sobre innovaciones y avances en el campo de la nanomedicina, resulta imprescindible examinar qué es lo que se entiende por innovación. Esto fue lo que se planteó al inicio de cada entrevista a cada entrevistado/a, con el propósito de obtener cierta claridad conceptual al respecto. Un 40% de los entrevistados/as entendía la innovación en términos altamente disruptivos, esto es, como la generación de nuevas ideas y no como aquello que tiene que ver con mejoras o valores añadidos de lo que ya existe. Este 40% se componía de 1 representante de un centro de investigación (I), 1 de una empresa (E), 1 de un organismo de regulación (R) y 1 usuario o representante de hospital (H)¹. A este respecto, el

¹ En lo sucesivo, emplearemos las abreviaturas especificadas para denotar el tipo de stakeholder que se asocia con una respuesta o información particular.

representante de una empresa afirmaba que “innovar no es copiar, sino crear cosas nuevas, en lugar de ver lo que hacen los demás y hacerlo un poco mejor”. Desde un punto de vista formal, podemos definir esta visión de la innovación ($\dot{I}$) como una idea determinada (A) que se produce si y sólo si existe una disrupción (B); esto es, $\dot{I} = A \leftrightarrow B$.

Ahora bien, dentro de este 40% no todos los entrevistados/as entendieron el carácter disruptivo de la misma forma, y los puntos de vista se dividieron en tres clases: i) como generación de nuevo conocimiento *per se*, o haciendo ciencia básica fundamental (1I); ii) como entendimiento de un problema concreto, buscando establecer la conexión entre la herramienta y el problema (1E); y iii) como generación de nuevos beneficios para la sociedad (1R, 1H) (véase figura 3). Por el contrario, otro 40% de los entrevistados/as (2H, 1I, 1R) no percibió la innovación como algo necesariamente disruptivo, sino como un perfeccionamiento de potenciales aplicaciones de lo ya existente. Por ejemplo, una usuaria perteneciente a un hospital declaró que “innovar es hacer algo que ya se conoce, pero a lo que se le aporta un valor añadido”. Desde un punto de vista formal, una innovación ($\dot{I}$) se definiría como algo conocido (A) a lo que se le aporta un valor añadido (A'), es decir, $\dot{I} : A \rightarrow A'$. Ahora bien, la especificación de este valor añadido no siempre fue la misma y varió en tres aspectos: i) valor de funcionalidad, o respecto a aquello que funciona mejor (1I, 1R, 1H); ii) valor de efectividad, o el logro de nuevos resultados deseados (1H); y iii) implementación, o la realización novedosa de un plan ya conocido (1H).

El 20% restante de los entrevistados/as (1I, 1E) se mostró a medio camino entre los dos planteamientos anteriores, entendiendo la innovación tanto como generación disruptiva de nuevas ideas ($\dot{I} : A \leftrightarrow B$) como aplicación de valor añadido a lo ya existente ($\dot{I} : A \rightarrow A'$). En la figura 3 se detalla la posición de cada representante del ecosistema, pudiendo comprobarse que, en principio, no existe una correlación directa entre el tipo de representante entrevistado y el tipo de respuesta ofrecida. En efecto, encontramos representantes de centros de investigación que entienden la innovación tanto de forma más disruptiva como menos disruptiva; y lo mismo sucede con representantes de hospitales y políticas regulatorias, pudiendo pertenecer al mismo conjunto representantes de círculos distintos. A modo de excepción, cabe señalar representantes de empresas que sí se inclinan hacia una definición más disruptiva de la innovación, y usuarios (de hospitales) más proclives por el contrario a una percepción menos disruptiva y más funcional. En razón de esto, podemos identificar una tendencia mayor de patrones de percepción (sobre qué es innovar) de tipo intercircular que intracircular.

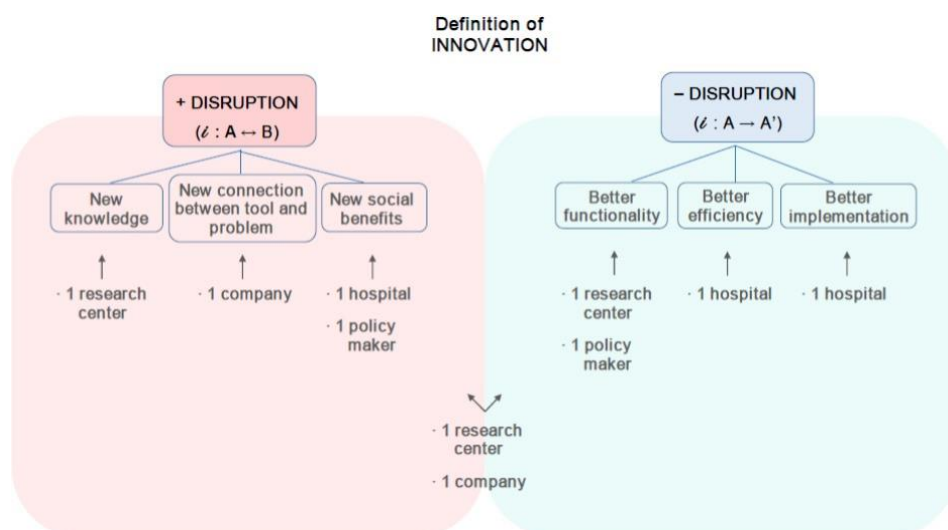


Figura 3. Posición de los agentes entrevistados en función de la definición de innovación.

Si examinamos la manera en que estas definiciones de la innovación se manifiestan en el ámbito de la nanotecnología aplicada a la salud, esto es, en la nanomedicina, un 25% (2I, 2E) del total de las innovaciones señaladas por los entrevistados/as tenía que ver con el *drug delivery* o el transporte de fármacos, como encapsulaciones para cierto tipo de medicamentos. Ahora bien, este caso de innovación no fue considerado por todos/as como algo absolutamente disruptivo o novedoso. Algunos/as (1I, 1E) señalaron que el *drug delivery* no identifica ningún mecanismo nuevo de acción, ni ninguna diana nueva, ni un fármaco completamente nuevo, etc., y que más bien adopta cosas que más o menos funcionan y que tienen problemas, y las mejora.

Por otro lado, un 15% (2I, 1E) de las innovaciones señaladas sí se correspondía con tecnologías percibidas como altamente disruptivas, aunque algunas sobrepasan el ámbito de la nanomedicina. Así, se mencionó la edición genética o CRISPR (1I, 1E), que tiene más que ver con el ámbito de la biotecnología, y los denominados *nanobots* (1I) o robots a escala nanométrica, con tecnología de vanguardia *MotionTx* para el desarrollo de entidades terapéuticas novedosas. También se señalaron (1H) innovaciones en el área de quirófano relacionadas con nuevos materiales, como adhesivos que permiten un contacto más seguro con los tejidos, y de pequeños tubos de malla de metal, o *stent*, que se introducen en la arteria y ayudan a mantenerla abierta. Estas innovaciones se consideraban elementos que permiten una mejor eficiencia de algo previamente conocido, por lo que no poseerían un alto grado de disruptividad. Lo mismo ocurre con determinados tratamientos antibacterianos para superficies, considerados como una implementación novedosa de lo ya existente.

Con todo, el caso más repetido (50%) (3I, 1E, 1R) tiene que ver con todo lo relativo a la enfermedad del coronavirus o COVID-19. La mayoría de respuestas aludían principalmente a la creación de vacunas ARNm, pero también al desarrollo y mejoramiento de equipos de protección (filtros, etc). En este sentido, la 'nanoinnovación' relativa al COVID-19 sí se entiende en términos altamente disruptivos, debido a su capacidad para acelerar la generación de nuevos conocimientos en materia antiviral; la creación de nuevas conexiones entre herramienta y problema; y los nuevos beneficios globales para la sociedad y la salud. En particular, un representante de un centro de investigación de Barcelona afirmó que el caso de la COVID-19 "supuso un cambio brutal, porque permitió probar clínicamente muchos productos demostrando que sí funcionan".

Por otra parte, un 15% (2I, 1E) de las innovaciones señaladas tenía que ver con cremas protectoras solares que incluyen nanopartículas, interpretadas como un tipo de innovación que ofrece una mejor eficiencia de lo ya existente. Otro 10% (1I) guardaba relación con terapias prometedoras en vías de desarrollo para el tratamiento contra el cáncer, como la terapia de células CAR-T, considerada altamente disruptiva. Por último, un 20% (1H, 1R) no contestó a este tema remitiendo una falta de conocimientos o experiencia sobre ello. Puede comprobarse en este sentido una correlación manifiesta entre el tipo de respuesta e innovación señalada, y el tipo de círculo institucional representado. La mayoría de casos mencionados (*nanobots*, *drug delivery*, vacunas, etc) provienen de representantes de centros de investigación (I) y empresas (E), siendo mencionado solo un caso muy sonado (COVID-19) por una representante de un organismo de regulación (R), y algunos en el área de quirófano (*stent*) por una usuaria de hospital (H). De los/as que no contestaron aduciendo una falta de conocimientos/experiencia, ningún/a pertenecía al ámbito académico o empresarial. En consecuencia, en esta ocasión, el tipo de respuestas ofrecidas sí responde en su mayoría a patrones intracirculares, donde el dominio o no de un tipo de conocimiento o experiencia condiciona y puede ofrecer una información más o menos relevante. En la figura 4 puede consultarse la posición de las innovaciones mencionadas de acuerdo con su mayor o menor grado de disruptividad.

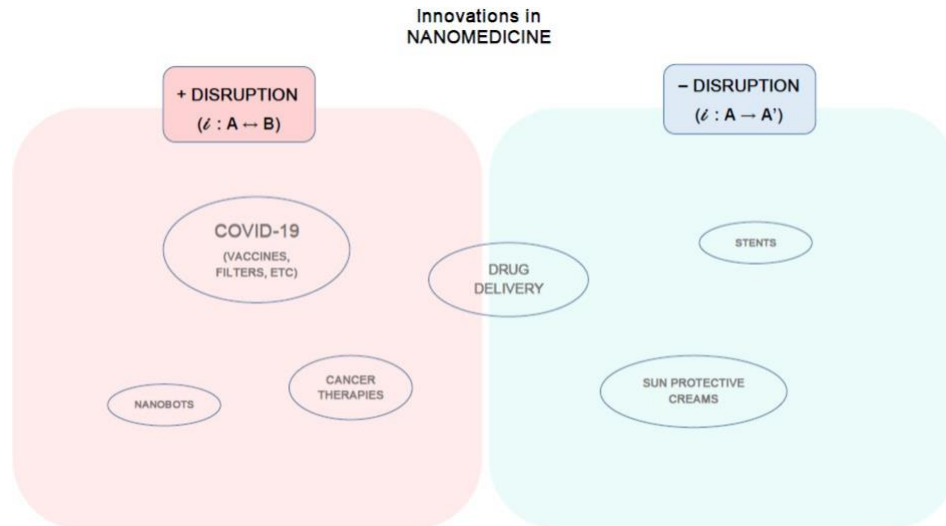


Figura 4. Posición de las innovaciones en función de su mayor o menor grado de disruptividad.

2.3. El caso concreto de la nanocería

Más allá de los casos de innovación anteriormente presentados, dirigimos ahora nuestra atención a un caso concreto particular que, a nuestro juicio, encapsula buena parte de los aspectos innovadores en el ámbito de la nanomedicina. Nos referimos a la nanocería, que son diminutos cristales nanométricos compuestos de óxido de cerio (CeO_2 NPs). Si bien es cierto que la lista de potenciales nanomateriales de uso médico es muy amplia, la elección de la nanocería como ejemplo concreto de análisis para este informe no ha sido arbitraria. Responde a un seguimiento y una evaluación previa de sus características por parte de un equipo de trabajo integrado por científicos especializados en nanotecnología y expertos en ciencias sociales, en colaboración con varias universidades y centros de investigación.

La característica más distintiva de la nanocería a nivel médico reside en que se le asignan una serie de propiedades antioxidantes y efectos antiinflamatorios, que le confieren una relevancia en la lucha contra enfermedades cardíacas, la diabetes, el cáncer, Alzheimer, esclerosis múltiple y todas las condiciones vinculadas con una elevada producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Casals et al., 2021; Ernst & Puentes, 2022; Reed et al., 2014). Por otra parte, la nanocería también puede tener interés como agente preventivo contra el envejecimiento, que está relacionado con el estrés oxidativo y el consiguiente deterioro de las funciones celulares (Karakoti et al., 2008; Strawn et al., 2006). No obstante, al tratarse de un nanomaterial en fases muy tempranas de desarrollo (ensayos preclínicos), de regulación y comercialización, existe mucha incertidumbre material y un conocimiento farmacológico limitado, reportándose efectos prooxidantes adversos (Gulke et al., 2014; Karakoti et al., 2012; Yokel et al., 2014). Es por ello que una exploración sociotécnica temprana de este nanomaterial puede proporcionarnos la flexibilidad necesaria para examinar aspectos diversos antes de su inserción en el mercado, posibilitando la implementación de un ejercicio de anticipación abierta en relación a sus posibles desafíos, riesgos, promesas asociadas, controversias, etc.

De esta manera, la primera cuestión planteada a los entrevistados/as fue si habían oído hablar de la nanocería u otro material con aplicaciones similares. Un 50% (3I, 1E, 1R) respondió afirmativamente a esta pregunta, un 30% de forma negativa (1R, 2H), y un 20% (1E, 1H) negativamente, pero mencionando otros nanomateriales similares. Del conjunto que sí conocía o había oído hablar de la nanocería se distinguen dos grupos. Por un lado, quienes sí conocían el nanomaterial (*p. ej.* a través de colegas pertenecientes a otros grupos de investigación en Catalunya; o por haber usado el cerio para otro tipo de aplicaciones catalíticas), pero no tenían

una opinión formada de ello. Y, por otro lado, quienes, además de conocerlo, emitieron su punto de vista sobre el estado de la cuestión a través de dos percepciones distintas: i) una cierta desconfianza hacia la capacidad del nanomaterial inorgánico para ser bioasimilable en el organismo y eliminarse del cuerpo sin cortar su periodo de vida; ii) una visión escéptica hacia los resultados de las propias investigaciones publicadas. Con respecto a este segundo punto, cabe mencionar la postura emitida por un representante de un centro de investigación de Barcelona, quien declaró que “algunos estudios de generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) se publican tanto para atacar la célula como para lo contrario, y tanto el grupo que estudia una cosa como el que estudia la contraria se consideran expertos”. Es por ello que, a veces, algunos tienden a percibir este tipo de investigaciones como “un tanto sesgadas, según lo que le interese a cada uno vender”.

En cambio, del 30% que respondió negativamente, una representante de un organismo de regulación de Catalunya ofreció detalles a tener en cuenta sobre los distintos escenarios plausibles para una futura regulación del nanomaterial, entendiendo que algo prometedor, aún en fases muy tempranas de desarrollo, debe ir siendo testado. Específicamente, se indicó que para una futura regulación “convendría indicar una serie de parámetros, como la fase del desarrollo de la enfermedad en que se implementaría, si se trata o no de un tratamiento curativo, agudo o preventivo, y en función de ello, diseñar los ensayos clínicos sabiendo qué es lo que se va a evaluar”. El 20% restante tampoco había oído hablar de la nanocería, pero mencionó otros nanomateriales inorgánicos, como la plata o el oro, empleados en nanomedicina para distintas aplicaciones (diagnósticos, terapias, prevención o higiene).

A partir de lo expuesto, se puede observar que el grado de familiaridad con la nanocería está muy vinculado a un círculo concreto del ecosistema, el de investigación, y totalmente desvinculado del círculo de usuarios (hospitales). Los círculos de empresas y políticas regulatorias exhiben una posición intermedia. Esta información podría sugerir que la falta de familiaridad en ciertos círculos, como el de los usuarios en hospitales, responde a las fases todavía tempranas de desarrollo en que se encuentra el nanomaterial, y no necesariamente a una distribución cerrada o desigual del conocimiento. No obstante, validar esta hipótesis demandaría una evaluación más exhaustiva, para lo cual sería necesaria una recopilación de datos más extensa que la presentada en este informe.

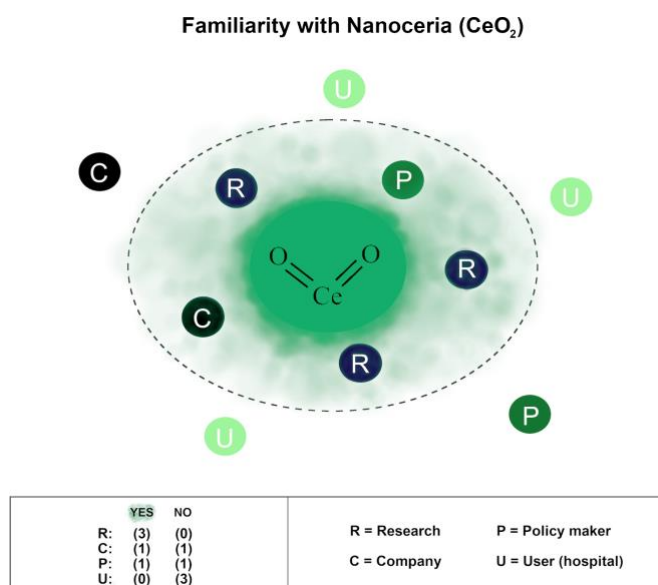


Figura 5. Esquema de familiaridad de la nanocería según la información recopilada.

3. Agencias de regulación e instituciones públicas de nanomedicina en Catalunya

3.1. Análisis del círculo de agencias de regulación e instituciones públicas



Nombre	Actividad	Carácter	Tamaño	Fundación
Agència Catalana de Seguretat Alimentària (ACSA)	Seguridad alimentaria	Público	Mediano	2002
Agència de Qualitat i Avaluació Sanitàries de Catalunya (AQuAS)	Evaluación de tecnologías y calidad	Público	Mediano	1994
Agència de Salut Pública de Catalunya (ASPCAT)	Protección y seguridad en salud	Público	Grande	2009
Agència per la Competitivitat de l'Empresa (ACCIÓ)	Impulso de la competitividad de las empresas catalanas	Público	Grande	2010
Biocat	Coordinación y promoción de ciencias de la vida y salud	Público	Pequeño	2006
Comissió Assessora de Processos Participatius (CAPP)	Procesos participativos	Público	Micro	2018
Comissió de Peticions (CP)	Tramitación de peticiones ciudadanas al Parlamento	Público	Pequeño	2021
Consell d'Associacions de Barcelona (CAB)	Desarrollo del asociacionismo	Público	Micro	2007
Consell de Ciutat	Consulta y participación ayuntamiento-ciudadanía	Público	Mediano	2004
Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA)	Impulso del sistema de investigación catalán	Público	Grande	2000
Leitat Technological Center	Evaluación de productos de protección individual	Mixto	Grande	1906
Nanomed Spain	Coordinación de agentes en i+d+i en nanomedicina	Mixto	Pequeño	2005
Oficina de Ciència Ciutadana	Fomento de la ciencia ciudadana	Público	Pequeño	2012
Servei de Desenvolupament del Medicament (SDM)	Nanomedicina	Mixto	Micro	1996

Un análisis del círculo institucional de políticas regulatorias nos devuelve un total de 14 organismos representativos, divididos en agencias de salud, seguridad y evaluación de diferente clase; comisiones, consejos y oficinas; y centros de coordinación y procesos participativos. De ellos, un 10% fue creado en torno a la última década, un 70% fue creado en torno a la primera década del siglo XXI, y un 20% durante el siglo XX. Al igual que ocurría en los círculos de investigación y empresas, el porcentaje más elevado de organismos relativos a políticas regulatorias tiene su origen en torno a la primera década de este siglo. Agencias como ACSA (2002), ASPCAT (2009) o ACCIÓ (2010) nacen durante este intervalo temporal, aunque su actividad principal es más amplia y abarca ámbitos que sobrepasan la nanotecnología y la nanomedicina, como el de la salud, la alimentación o la competitividad empresarial. Es por ello que el nacimiento de este tipo de instituciones no está directamente relacionado con la eclosión a nivel internacional, y más concretamente en el territorio catalán, del campo de la nanotecnología, a pesar de coincidir linealmente en el tiempo. Lo mismo sucede con consejos como el CAB (2007) y el Consell de Ciutat (2004); con centros como Biocat (2006); o con instituciones públicas como ICREA (2000). En este sentido, la única plataforma dedicada a la coordinación específica de actividades e instituciones de nanomedicina es Nanomed Spain (2005), la cual está coordinada por el Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC).

No es de extrañar, por tanto, que el 10% de instituciones relacionadas con procesos de regulación y participación ciudadana creadas en la última década esté compuesto por comisiones como CAPP (2018) y CP (2021), cuya contribución se limita de manera muy marginal o residual, hasta ahora, al fenómeno de la nanotecnología y la nanomedicina. El 20% de instituciones restantes, creadas durante el siglo XX, se corresponde con agencias públicas que, de manera directa o indirecta, sí han trabajado con tecnologías emergentes como las que aquí se estudian, específicamente de cara a su evaluación y posterior regulación, como AQUAS (1994), infraestructuras públicas como el SDM (1996) y empresas como Leitat (1906).

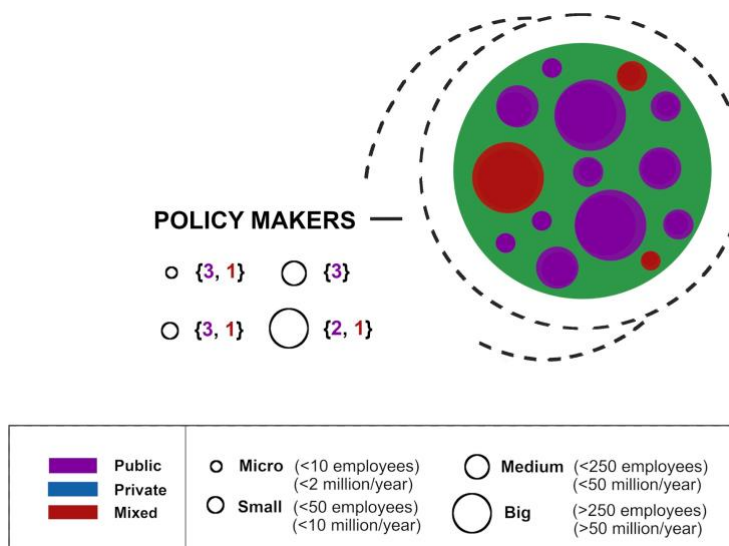


Figura 6. Representación del círculo de regulación pública según el tamaño y tipo de financiación de sus componentes.

Por otro lado, en la figura 6 se puede apreciar que alrededor de un 80% de los organismos del círculo de políticas regulatorias son de carácter público, independientemente de si estos son de tamaño grande, mediano, pequeño o micro. Resulta digno de atención la ausencia de organismos de carácter privado, y solo un 20% de carácter mixto. La estructura y prevalencia de agencias públicas y privadas en Catalunya, al igual que en cualquier otra región, dependen en gran medida del marco legal y regulatorio específico de la zona, así como de la naturaleza de las industrias presentes. Ahora bien, en general, la regulación de aspectos clave

como la salud, la seguridad, el medio ambiente y servicios públicos es llevada a cabo por agencias públicas, ya que estas áreas a menudo se consideran responsabilidades del gobierno en beneficio del interés público, por lo cual no es de extrañar la prevalencia de organismos públicos dentro del ecosistema de la nanotecnología y la nanomedicina en Catalunya. Además, puede apreciarse cómo determinadas funciones regulatorias se gestionan de manera descentralizada, como ocurre con agencias como AQuAS, ACSA o ASPCAT, pertenecientes a la Generalitat de Catalunya.

3.2. Regulación en sociedad

En la intersección entre la innovación y el usuario final surge un desafío crucial: la regulación de productos. En este apartado trataremos de ello aplicado al ámbito de la nanomedicina, esto es, a las distintas etapas y procesos de regulación que se corresponden con aquellos dispositivos nanomédicos que pueden ser incorporados como productos de cara a su uso por el usuario final. A través de la información recogida mediante el mismo método sistemático de entrevistas, presentaremos una serie de visiones, explicaciones y controversias asociadas a la regulación nanomédica en sociedad.

Iremos introduciendo las percepciones y explicaciones recopiladas por parte de los/as representantes de agencias y organismos de evaluación y regulación, y posteriormente incorporaremos las demás, tanto las más positivas como aquellas más críticas o desfavorables. Esto nos ayudará a entender tanto “desde dentro” como “desde fuera” algunos de los aspectos centrales de la regulación. Los resultados se dividieron en un 50% (2I, 1H, 2R) de percepciones típicamente positivas o favorables hacia los procesos actuales de regulación, y un 40% (1I, 2E, 1H) de percepciones más desfavorables o críticas con los mismos. Un 10% (1H) no ofreció ninguna opinión al respecto. Es pertinente destacar que en todos los círculos del ecosistema se identificó la presencia de, al menos, un agente representativo con una perspectiva favorable hacia los procesos regulatorios actuales. No obstante, se observó que el círculo empresarial fue el más crítico y el que manifestó una inclinación más negativa hacia dichos procesos. En ambos conjuntos se pueden distinguir diversos tipos de razones que merecen la pena desglosarse y analizarse de forma detallada.

Los entrevistados/as que representan a la parte regulatoria de organismos en Catalunya señalaron que el asesoramiento y la evaluación que realizan de nanomateriales y tecnologías sanitarias, aunque gestionado de manera descentralizada, viene marcado por las pautas y exigencias regulatorias a nivel europeo (Regulation EU, 2021). “Esto significa que a la hora de producir un nanomaterial de cualquier tipo y ponerlo en el mercado, lo primero que hay que hacer es registrarlo en el marco europeo de REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)”, indica una representante de un organismo de regulación. Este es el marco con el que más se trabaja a nivel europeo en nanomateriales, puesto que siempre se ha considerado que un nanomaterial es muy similar a un producto químico. “El hecho de que inicialmente no existieran obligaciones expresas y sólo se emitieran recomendaciones de uso, hace que este tipo de etapas ayuden a mejorar la seguridad de un producto en el mercado, tratando de minimizar el número de riesgos imprevistos” asegura otra representante de un organismo de regulación en Barcelona.

Sin embargo, estas exigencias conllevan una serie de efectos que no siempre son percibidos de una manera tan positiva o favorable. La regulación también es vista como “un proceso lento y excesivamente costoso, y con un riesgo enorme de fracaso”, según comenta un representante de un centro de investigación. Esto dificulta que las micro, pequeñas y medianas empresas puedan hacer crecer un determinado producto prometedor, desalentando una apuesta más decidida por la innovación en la actividad productiva de este tipo de empresas. “Es necesario invertir una gran cantidad de dinero en pasar todos los filtros, etapa por etapa, con el riesgo de quedarte en la estacada”, declaró un representante de una empresa de nanotecnología en Barcelona. Este tipo de problemáticas no son ignoradas por parte de los/as representantes de políticas regulatorias entrevistados/as. Así, una representante de un

organismo de regulación argumentó que “son las empresas más pequeñas quienes tienen la tarea de conocer cómo funciona el ecosistema al que pertenecen, y replantearse a qué monstruo deben atacar”. O lo que es lo mismo: ellas son las que tienen que convencer a una empresa multinacional que no tenga en su packline una determinada tecnología (*p. ej.*, la nanocería) para que apueste por ella, con el riesgo económico que ello implica.

Además, si bien es cierto que la regulación es generalmente un proceso largo, lento y costoso, existen casos recientes en los que dicho proceso se ha acelerado debido a un desequilibrio en la relación riesgo-beneficio. Este es el caso de la COVID-19, ejemplo citado como caso de éxito por algunos entrevistados/as (2I, 2E, 2R), donde un producto nanotecnológico innovador en medicina (vacunas ARNm) consigue reportar unos beneficios en términos de salud para la sociedad. “La relación riesgo-beneficio durante la COVID-19 se encontraba totalmente a favor del beneficio, y esto trajo consigo una aceleración anómala de los procesos de regulación”, comenta un representante de un centro de investigación. No obstante, otros entrevistados/as (1I, 3H) también resaltaron una serie de deficiencias asociadas al incremento de celeridad de las etapas regulatorias y productivas de un sistema que no se encontraba debidamente preparado, ni equipado para ello. Estas deficiencias tienen que ver con saturaciones del propio sistema médico, y con una dilatación de los plazos para la realización de pruebas en fases regulatorias. Además, tal saturación del sistema médico se ha traducido, según la experiencia de una representante de un hospital de Barcelona, en “listas de espera para pacientes que llegan a extenderse hasta dos años”.

A consecuencia del tipo de deficiencias señaladas, algunos entrevistados/as (1I, 1E, 1R) se mostraron proclives a probar nuevos dispositivos médicos con nanotecnología fuera del marco de regulación de Europa, como en China (vía SFDA) o en los Estados Unidos (vía FDA), donde se percibe, en algunos casos, un sistema menos colapsado y, en otros, una regulación más laxa. En la figura 7 pueden apreciarse dos esquemas, uno con las percepciones descritas hacia el sistema regulatorio asociado con la nanotecnología en medicina, y otro con las percepciones hacia el caso concreto de la COVID-19.

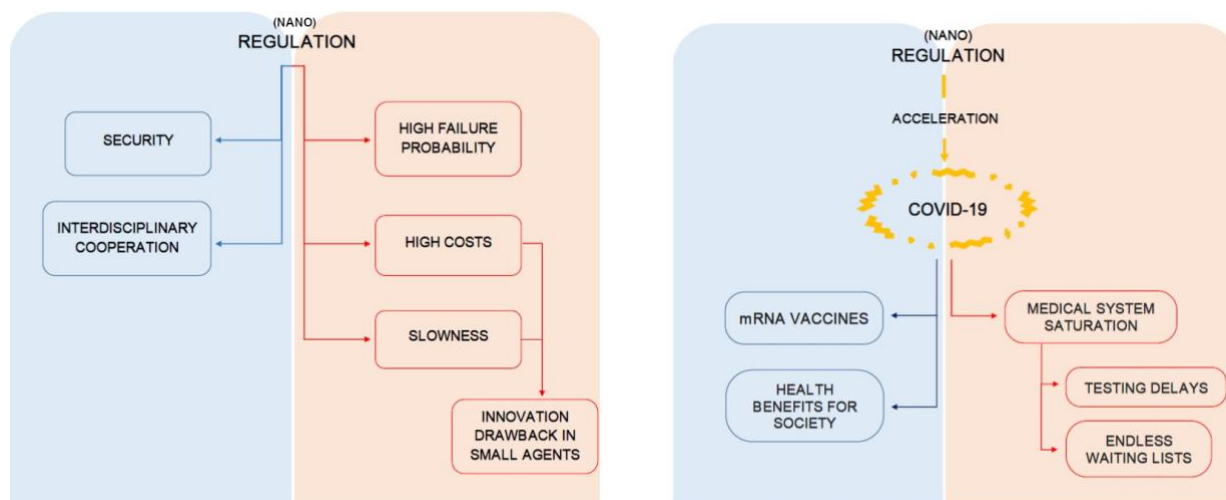


Figura 7. En el esquema de la izquierda se recogen las percepciones favorables (azul) y desfavorables (rojo) hacia la (nano)regulación en general; en el de la derecha, hacia un caso concreto (COVID-19).

3.3. Percepción de riesgo-beneficio futuro

Asimismo, en cuestiones de regulación, el análisis riesgo-beneficio es considerado siempre un factor clave para formular políticas en relación con productos biomédicos, sanitarios, medioambientales, etc. (WMA, 2022). Este análisis implica evaluar los riesgos potenciales asociados a un producto o actividad en comparación con los beneficios que aporta, siendo fundamental para la elaboración de ejercicios de prospectiva o construcción de escenarios futuros. Es por ello que se les preguntó a los/as entrevistados/as de qué forma percibían ese

tipo de análisis prospectivo, independientemente de si pertenecían o no a algún tipo de organismo regulatorio. Adicionalmente, se les preguntó cuáles serían desde su punto de vista los beneficios y riesgos (sociales, éticos, legales, etc.) más relevantes en el ámbito de la nanomedicina, tanto a corto como largo plazo.

Las respuestas a la primera cuestión revelan una distribución equitativa, dividida de manera uniforme en un 50% (1I, 1E, 2R, 1H), caracterizado por una percepción positiva, y un 50% (2I, 1E, 2H), caracterizado por una percepción más escéptica o negativa. Ahora bien, la complejidad e importancia de esta división radica en que no responde a una ordenación intracircular, sino a patrones transversales más allá de la índole o el carácter representativo de cada círculo. Como puede apreciarse, únicamente es en el círculo de políticas regulatorias (R) donde se comparte internamente un mismo patrón de respuesta. Tomando como referencia esta división, en el primer conjunto podemos identificar varios argumentos esgrimidos a favor del análisis riesgo-beneficio futuro en lo relativo a la nanomedicina:

1. *Optimización de recursos*: “si tenemos como beneficio tratar una enfermedad como el herpes labial mediante el uso de nanopartículas, por ejemplo”, relata el representante de un centro de investigación, “el riesgo económico será muy alto en comparación con otro tipo de enfermedad más severa, donde el riesgo de muerte sí sea más elevado”. Así, y puesto que un nanomaterial sintético nuevo implica unos estudios clínicos muy costosos, este tipo de análisis nos permite identificar y abordar los riesgos más significativos, centrándonos en aquellos que tienen un mayor impacto en la salud.
2. *Promoción de la transparencia*: para que un nanomaterial pueda ser un producto médico, este tiene que ser clasificado dentro de la clasificación europea del riesgo, como indican las respuestas de las representantes de políticas regulatorias entrevistadas. “Ello implica tener que explicitar y demostrar de forma clara cuál es su intención de uso”, indica una de ellas, promoviendo una suerte de “rendición de cuentas” en el proceso regulatorio.
3. *Fomento de una visión holística y multidisciplinar*: ya que el análisis riesgo-beneficio no solamente implica pensar en una funcionalidad técnica, sino en “a quién va dirigido, quién lo pagará, etc”. Esto nos “obliga” a poner en marcha una visión lo más amplia posible que permita considerar aspectos diversos.
4. *Mayor garantía de seguridad*: otros entrevistados/as sostenían que al evaluar los riesgos asociados a un determinado producto, contribuimos a prevenir posibles impactos negativos en la población (*p. ej.* mediante un enfoque *safety-by-design*).
5. *Potenciación de la innovación*: si algo es prometedor tiene que testarse desde etapas iniciales, pensando en qué momento se utilizará, dónde y de qué manera podría ubicarse, etc. Esto impulsa la innovación y fomenta la creación de nuevos productos.

Por el contrario, en el segundo conjunto, caracterizado por una percepción pesimista/escéptica, podemos identificar los siguientes argumentos principales²:

1. *Incertidumbre y complejidad*: la naturaleza incierta y compleja de nuevos nanomateriales, como la nanocería, impide llevar a cabo un análisis riguroso y preciso del riesgo-beneficio futuro. “Hay una infinidad de variables posibles no estudiadas y resulta inviable pasar de un estudio concreto, limitado a un número finito de impactos, a uno con aspiraciones más serias a nivel de implementación general”, afirma un representante de un centro de investigación.
2. *Limitaciones en la evaluación a largo plazo*: ya que no es posible un análisis riesgo-beneficio en nanomateriales cuyos impactos a largo plazo son aún desconocidos. Puede analizarse, por ejemplo, el estado de agregación, sabiendo que la forma nanoestructurada tiene unas propiedades diferentes a la forma macro, pero a

² El número de argumentos en contra aquí es menor que el de argumentos a favor, a pesar de que el porcentaje de ambas posiciones sea el mismo. Ello se debe a que varios argumentos en contra fueron repetidos por distintos entrevistados/as.

medida que pasa el tiempo resulta más difícil predecir cómo se va a comportar ese material, pudiéndose formar incluso un material distinto al estudiado (*p. ej.*, nanopartículas inorgánicas como óxidos de hierro pueden generar óxidos distintos por contacto con otro componente).

3. *Intereses comerciales o sesgos de confirmación*: puede producirse cierta “asimetría de información” en lo relativo a determinados resultados que confirmen o respalden nuestras hipótesis previas, descartando otros resultados que contradigan tales hipótesis. Sirva como ejemplo la percepción citada en el apartado 2.3 sobre la nanocería relativa al escepticismo sobre los estudios de generación de especies reactivas de oxígeno (ROS).

Adicionalmente, se les preguntó a los entrevistados/as cuáles serían desde su punto de vista los riesgos y beneficios asociados a la nanomedicina, tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, podemos distinguir 3 tipos de riesgo (R) y 4 beneficios (B) señalados:

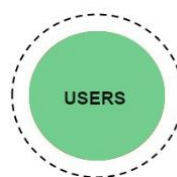
- R1. Costes muy elevados, imposibles de asumir para determinadas empresas o instituciones con poca antelación.
- R2. Delegación de una responsabilidad excesiva por parte del usuario en el conocimiento experto (médicos, investigadores, etc.)
- R3. Generación de expectativas infundadas, producto del *hype* o la *phobia* ante lo desconocido o novedoso, y no de hechos constatables.
- B1. Posibilidad de ofrecer soluciones a problemas de la gente, generando una sensación de esperanza y nuevas oportunidades.
- B2. Mejoras en productos de cosmética y cuidado personal (tratamientos antiedad, protección solar, etc.)
- B3. Vacunas efectivas contra enfermedades (COVID-19).
- B4. Mejoramiento en el transporte de fármacos, células fotovoltaicas, recubrimiento de tejidos y, en general, la salud de las personas.

Por otro lado, a largo plazo podemos distinguir 5 tipos de riesgo (R) y 6 beneficios (B):

- R1. Potencial toxicidad de materiales en el uso humano una vez introducidos en el mercado, debido a factores no previstos (*p. ej.* interacción de determinados nanomateriales con elementos biológicos).
- R2. Bioacumulación de nanomateriales (inorgánicos, *p. ej.*, la nanocería) en el organismo.
- R3. Pérdidas de dinero por parte de inversiones en productos que fracasan al no superar las fases de regulación.
- R4. Desencanto y desengaño por parte de la sociedad al no ver cumplidas las altas expectativas inicialmente depositadas en un determinado nanoproducto.
- R5. Monopolio de una única empresa sobre un determinado producto, capaz de conseguir un potencial mejoramiento humano.
- B1. Posibilidad de ofrecer soluciones a problemas de la gente, generando una sensación de esperanza y nuevas oportunidades.
- B2. Consecución de curas a enfermedades actualmente incurables, como el cáncer o enfermedades neurodegenerativas.
- B3. Mayor generación de empleo y puestos de trabajo, además de un mayor conocimiento interdisciplinar y formación de personal.
- B4. Mejoramiento en el transporte de fármacos.
- B5. Equidad o un acceso universal a los beneficios en la salud derivados de estas tecnologías.
- B6. Facilitación de tratamientos menos invasivos para los pacientes.

4. Usuarios y sociedad de nanomedicina en Catalunya

4.1. Análisis del círculo de usuarios y sociedad



USUARIOS Y SOCIEDAD

Nombre	Tipo	Actividad	Ámbito	Alcance	Fundación
10alamos9	Evento (anual)	Festival de divulgación de nanociencia y nanotecnología	Público	Nacional	2014
Ace Alzheimer Center Barcelona	Organización sin ánimo de lucro (OSAL)	Servicios a personas con Alzheimer	Privado	Local/regional	1996
Associació Catalana de Comunicació Científica (ACCC)	OSAL	Comunicación científica	Mixto	Local/regional	1990
Associació de Familiars de malalts d'Alzheimer de Barcelona (AFAB)	OSAL	Servicios a personas con Alzheimer	Mixto	Local/regional	1986
Ateneu Barcelonès	Cultura (asociación)	Actividades culturales	Mixto	Local/regional	1860
Biennal Ciutat i Ciència	Evento (bianual)	Foro de debate y divulgación entre ciencia y ciudadanía	Público	Internacional	2019
Bojos per la Ciència	Educación	Cursos científico-tecnológicos para estudiantes de Bachillerato	Privado	Local/regional	2016
Canòdrom	Cultura (entidad)	Innovación digital y democrática	Público	Local/regional	2016
Centre de Cultura Contemporània de Barcelona (CCCB)	Cultura (entidad)	Cultura urbana y contemporánea	Público	Local/regional	1994
Congrés Anual de Nanociència i Nanotecnologia (CANN)	Evento (anual)	Congreso para el intercambio de la actividad investigadora	Público	Internacional	2018

Escolab	Educación	Visitas escolares a centros de investigación	Público	Nacional	2007
Federació Catalana d'Entitats contra el Càncer (FECEC)	OSAL	Mejorar la calidad de pacientes con cáncer	Mixto	Local/regional	2001
Festa de la Ciència	Evento (anual)	Foro de ciencia ciudadana	Público	Local/regional	2007
Genigma	Educación	Involucración de la ciudadanía en investigación del cáncer	Público	Internacional	2019
Grau en Nanociència i Nanotecnologia	Educación	Formación interdisciplinar (física, química, biología y matemáticas)	Público	Internacional	2010
Hospital Clínic de Barcelona	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación	Público	Internacional	1906
Hospital Comarcal de l'Alt Penedés	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Público	Nacional	1995
Hospital de Barcelona	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, docencia	Privado	Internacional	1990
Hospital de l'Esperança	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Público	Nacional	1933
Hospital de l'Esperit Sant	Hospital, fundación	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Público	Nacional	1917
Hospital de Palamós	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Público	Nacional	1986
Hospital de Sant Joan Despí Moisès Broggi	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Público	Nacional	2010
Hospital del Mar	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación	Público	Nacional	1983
Hospital El Pilar	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación	Privado	Local/regional	1893
Hospital Germans Trias i Pujol	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Público	Nacional	1983
Hospital HM Nou Delfos	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Privado	Internacional	1966
Hospital Municipal de Badalona	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Público	Nacional	1932

Hospital Sanitas CIMA	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación	Privado	Nacional	2011
Hospital Sant Joan de Déu	Orden hospitalaria	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Privado	Internacional	1867
Hospital Sant Joan de Déu de Manresa	Hospital, fundación	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Privado	Local/regional	1932
Hospital Sant Pau i Santa Tecla	Hospital, fundación	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Privado	Local/regional	1370
Hospital Sant Rafael	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados	Público	Nacional	1969
Hospital Universitari de Bellvitge	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Público	Internacional	1972
Hospital Universitari Dexeus	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, docencia	Privado	Nacional	1935
Hospital Universitari General de Catalunya	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, docencia	Privado	Nacional	1983
Hospital Universitari Parc Taulí	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Público	Local/regional	1986
Hospital Universitari Sagrat Cor	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Privado	Nacional	1985
Hospital Universitari Vall d'Hebron	Hospital	Asistencia sanitaria, servicios médicos especializados, investigación, docencia	Público	Internacional	1955
ICONAN2024	Evento (anual)	Conferencias de nanomedicina y nanobiotecnología	Mixto	Internacional	2024
InspiraCiencia	Educación	Concurso de relatos de inspiración científica	Público	Nacional	2010
Jornades Ciència Ciutadana	Evento (anual)	Foro para la ciencia ciudadana	Público	Internacional	2022
Màster en Nanociència i Nanotecnologia (UB)	Educación	Formación de posgrado en nanociencia y nanotecnología	Público	Internacional	2016
Màster Universitari en Nanociència i	Educación	Formación de posgrado en nanociencia y nanotecnología	Público	Internacional	2014

Nanotecnologia Avançades (UAB)					
Museu de Ciències Naturals	Cultura (museo)	Divulgación de las ciencias naturales	Público	Nacional	1882
Museu Nacional de la Ciència i la Tècnica	Cultura (museo)	Difusión de la cultura científica	Público	Local/regional	1984
NanoCaedre	Educación	Proyecto de hibridación de arte y ciencia	Mixto	Local/regional	2019
NanoEduca	Educación	Programa de nanotecnología en Secundaria y Bachillerato	Público	Local/regional	2016
Nanoescopista	Educación	Productora para el impulso de programas científico-culturales	Mixto	Local/regional	2020
NanoHUB Clúster MAV	OSAL	Conexión de organizaciones relacionadas con la nanotecnología	Mixto	Local/regional	2019
NanoInventum	Educación	Proyecto de divulgación nanotecnológica en Primaria	Público	Local/regional	2017
Nano-relatos	Educación	Concurso de obras de nanociencia en Secundaria y Bachillerato	Mixto	Nacional	2021
Setmana de la Ciència	Evento (anual)	Festival de divulgación científica y participación ciudadana	Público	Internacional	1991
Societat Catalana de Nanociència i Nanotecnologia (SCN ²)	OSAL	Asociación para la conexión entre nanociencia y sociedad	Mixto	Local/regional	2016

Un análisis del círculo institucional de usuarios y sociedad relacionado con la nanomedicina en Catalunya nos devuelve un total de 54 componentes, divididos en 7 eventos (13%), 6 organizaciones sin ánimo de lucro (OSAL) (11%), 11 programas o proyectos educativos (20%), 24 hospitales (45%) y 6 entidades culturales (11%). Como habíamos señalado en el apartado introductorio, la inclusión de esta “cuarta hélice” viene a identificar la innovación no solo como algo proveniente de las interacciones entre instituciones tradicionales (centros de investigación, empresas y agencias regulatorias), sino también de la interacción con y entre los usuarios finales, así como de su participación radicalmente activa desde el principio en los procesos de innovación.

Es por ello que hemos incluido como stakeholders, además de potenciales actores del ecosistema de innovación, a los/as participantes de determinados eventos efectuados en Catalunya, como festivales de divulgación de nanociencia y nanotecnología (10almenos9) o de ciencia en general (Setmana de la Ciència); foros de debate entre ciencia y ciudadanía (Biennal Ciutat i Ciència, Festa de la Ciència); o ciclos de conferencias sobre nanociencia (ICONAN2024). También se han incluido distintas OSAL, algunas relacionadas con enfermedades en las que la nanomedicina podría tener una importante incidencia, como el cáncer o el alzhéimer (Ace Alzheimer Center Barcelona, Federació Catalana d'Entitats contra el Càncer); y otras dedicadas a la comunicación científica y el acercamiento de la nanotecnología a la sociedad (Associació Catalana de Comunicació Científica, Societat Catalana de Nanociència i Nanotecnologia).

Por otro lado, también se han incorporado programas, concursos y proyectos educativos específicamente enfocados a la nanociencia para usuarios de diferente nivel (primaria, secundaria, educación superior, etc.), como NanoCaedre, NanoEduca, Genigma o el Màster Universitari en Nanociència i Nanotecnologia Avançades; y entidades culturales comprometidas con la innovación y la cultura científica (Canòdrom, Museu Nacional de la Ciència i la Tècnica, Ateneu Barcelonès). Por último, el porcentaje más significativo de usuarios se corresponde con hospitales de Catalunya (enfermeros/as, pacientes, doctores, camilleros/as, etc.), que son *stakeholders* clave, tanto en la evaluación clínica, como en la aplicación y adopción en la práctica médica de nanotecnologías innovadoras.

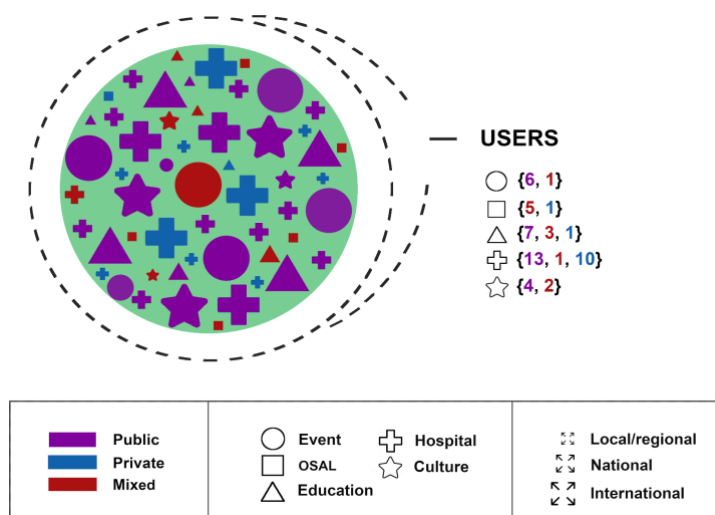


Figura 8. Representación del círculo de usuarios según el tipo, tamaño y carácter de sus componentes.

Si examinamos la figura 8, podemos observar una presencia mayor de componentes de carácter público (56%) frente a componentes privados (22%) y mixtos (22%). Concretamente, no

se contabilizan agentes privados en lo relativo a eventos y entidades culturales, y sí una presencia notable de estos en hospitales. El carácter mixto es el predominante en las OSAL, mientras que el escenario se encuentra algo más repartido en el ámbito de la educación, aunque con una prevalencia hacia el carácter público. Por otro lado, si analizamos el alcance de dichos componentes en términos de su cobertura geográfica, podemos advertir una mayor presencia de eventos (congresos, festivales, foros, etc.) de alcance internacional (70%); en cambio, la totalidad de las OSAL abarcadas son de alcance local/regional (100%). Un escenario más equilibrado lo encontramos en términos educativos, con un 36% de programas, cursos y proyectos de alcance local/regional, un 28% de alcance nacional y un 36% internacional. En lo que respecta a hospitales, se detecta una preponderancia de instituciones de alcance nacional (54%) frente a un 25% internacional y 21% local/regional. Por último, puede subrayarse un predominio de entidades culturales de alcance local/regional (70%).

4.2. Percepción del usuario en sectores relacionados con la nanomedicina

Hemos venido describiendo la nanomedicina como un campo no solamente científico o técnico, sino sociotécnico, esto es, con implicaciones e interdependencias directas en ámbitos como la atención médica, el mundo de la cultura, la educación y los usuarios finales. La inclusión ahora de percepciones acerca del rol que juegan los usuarios finales en el ecosistema de la nanomedicina en Catalunya no solo nos permite seguir enriqueciendo la perspectiva integral del ecosistema en cuestión, sino especialmente comparar las perspectivas de diversas partes para identificar áreas de consenso, barreras, discrepancias, aceptación, etc. Y ello con la finalidad instrumental de obtener elementos informativos críticos, como mencionamos en la introducción, para llevar a cabo actividades orientadas a constituir y robustecer una serie de capacidades relacionales de tipo anticipatorio entre una red de actores diversos.

En primer lugar, se les preguntó a los entrevistados/as, de acuerdo con su experiencia laboral y/o personal, qué tipo de percepciones creían que pueden existir actualmente, tanto en la sociedad general como en el usuario en particular, hacia nuevas tecnologías emergentes como la nanotecnología en el ámbito del cuidado y de la salud. Un 60% (3I, 2E, 1R) coincidió en la existencia de una mala percepción general del usuario hacia la nanotecnología en el sector cosmético; y concretamente, en el área de la dermocosmética y el cuidado de la piel. El 40% restante (1R, 3H) no se pronunció en relación con el sector cosmético. Las respuestas de ese 60% son variadas y no necesariamente coincidentes entre sí. Por un lado, se argumentó (1I, 1E, 1R) que esa mala percepción no está directamente relacionada con pruebas de eficacia o seguridad, y que proviene del temor a lo desconocido. Al ser la nanotecnología un fenómeno todavía en fase de estudio y con un alto grado de incertidumbre, “lo desconocido tiende a percibirse como algo malo y, por ende, potencialmente tóxico”, planteaba la representante de un organismo de regulación. Esta percepción del cliente, además, tiende a influir mucho en el sector cosmético de cara a que un producto tenga éxito en el mercado, ya que se trata de un producto que no influye en mecanismos farmacológicos o inmunológicos, aplicándose sobre piel sana y alterando solo su aspecto. De ahí que la percepción del cliente tenga mucho más peso a efectos de mercado que en otro tipo de mercados, como el de los medicamentos, por ejemplo.

Por otro lado, esa mala percepción también fue justificada (2E, 1E) en una dirección distinta, argumentándose que sí puede haber una penetración transdérmica de la nanopartícula y llegar al torrente sanguíneo, generando toxicidades asociadas. Además, se añadió que, si bien hay ciencia en cosmética, no todo lo que está en el mercado ha sido probado científicamente. “Por ejemplo, no hay obligación de demostrar que una crema antiarrugas previene las arrugas y, sin embargo, puede venderse como tal”. Por tanto, aun cuando se puede identificar una mala percepción hacia la nanotecnología en el sector cosmético, la justificación que nos encontramos de ello es bien diferenciada e incluso contradictoria, de acuerdo con la información recopilada.

Por un lado, se aduce un cierto temor infundado (miedo a lo desconocido); y, por otro, la existencia de un temor fundado (riesgo real de toxicidad). En este sentido, ambas justificaciones responden a una tendencia o patrón intercircular que aúna a centros de investigación, empresas y organismos regulatorios. Solamente el círculo de usuarios (hospitales) se queda fuera de esta ecuación, pero no porque presente una percepción propia aparte digna de ser reseñada, sino porque no se han emitido opiniones o respuestas debido a la falta de información o conocimiento de ello, lo cual nos hace indicar que, en el contexto de este informe, dicho círculo se encuentra alejado del sector cosmético dentro del ecosistema de la nanotecnología aplicada al cuidado y la salud.

Por el contrario, el escenario percibido en el ámbito sanitario y farmacológico de nanomateriales por parte de los entrevistados/as es muy diferente. En torno a un 70% (2I, 2E, 3H) coincidía en la buena aceptación del usuario hacia la nanotecnología y, en general, hacia cualquier innovación que pueda resolver problemas de salud. “Cuanto más grave o difícil de resolver sea el problema, menos barreras tenderá a presentar el paciente”, afirma el representante de una empresa de nanotecnología sanitaria. La justificación atribuida al respecto aquí es coincidente y remite a una cuestión de funcionalidad. Puesto que no se percibe igual un problema de arrugas que una llaga o que una enfermedad que amenaza con la muerte, la nanotecnología en el contexto sanitario es percibida como una nueva oportunidad, como una nueva esperanza. Algunos representantes de hospitales citaron diversas experiencias afines con pacientes, en situaciones donde “a los pacientes se les presentaba un ensayo novedoso y la mayoría presentaba una disposición general a colaborar”. También se advirtió que “los pacientes enfermos suelen confiar en su médico, sin saber exactamente qué tipo de medicamento se están tomando, al ser esta la persona experta que les está ayudando”. Asimismo, se destacó una participación y un feedback muy positivo en las distintas charlas y actividades de difusión organizadas en hospitales.

Por otra parte, otro 30% (1I, 2R) no estimaba tan evidente que la percepción general del usuario y de la sociedad civil respecto a innovaciones nanotecnológicas para la salud fuese tan positiva. Un representante de un centro de investigación expresó que, al cursar su máster de nanotecnología en Catalunya, hace más de una década, la nanomedicina se percibía como una disciplina altamente prometedora. “Se discutía, por ejemplo, la posibilidad de que los nanobots curasen el cáncer de forma inminente, y había cierto temor a que estos nanobots pudieran ejercer un control no deseado sobre las personas”. No obstante, el entrevistado percibe ahora que la atención y la discusión pública se ha desplazado hacia otros campos como la biomedicina, la genética o la medicina personalizada, y la nanotecnología ha quedado como un fenómeno algo olvidado que no ha terminado de cumplir las altas expectativas depositadas al inicio. Otros entrevistados/as confesaban que sí hay una parte innegable de la sociedad muy reacia a cualquier tipo de innovación tecnológica que incorpore un producto químico intencionadamente a su cuerpo. Al ser preguntados por la naturaleza de esta reacción, reconocían la dificultad a la hora de lidiar con el poder e influencia de determinados periódicos o revistas, los cuales modelan una forma de pensar. También se señaló que estas visiones pueden llegar a estar muy influenciadas por “la ciencia ficción”; por obsesiones varias como “analizar compulsivamente las etiquetas de los productos”; o ideas de “control totalitario mundial” mediante el uso de nuevas tecnologías.

En cualquier caso, el patrón observado en este bloque de respuestas con respecto a las percepciones hacia la nanotecnología en el sector médico difiere del patrón del bloque de respuestas en el sector cosmético. De ahí que el grado de pertenencia representativa al círculo de usuarios (hospitales) por parte de los entrevistados/as, por ejemplo, se antoje un factor importante a la hora de detectar una percepción positiva en cuanto a la aceptación del usuario hacia la nanotecnología.

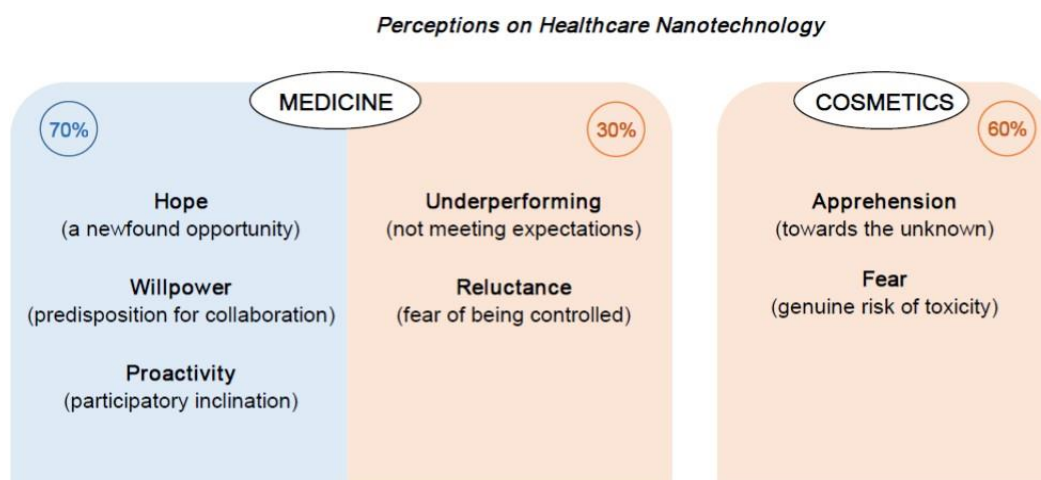


Figura 9. En azul se recogen las percepciones favorables de la nanotecnología en el ámbito de la salud, y en rojo las percepciones desfavorables, así como sus correspondientes porcentajes.

4.3. Participación en la coproducción del conocimiento sociotécnico

Finalmente, en esta última sección previa a las conclusiones, presentaremos y analizaremos aquellos resultados obtenidos a partir de preguntas específicas sobre la participación o experiencia de stakeholders en ejercicios colaborativos destinados a la coproducción de conocimiento sociotécnico. Es por ello que se le preguntó a los entrevistados/as por tres cuestiones comunes: i) qué medios de participación pública han empleado en su trayectoria profesional y personal, en caso de haberlo hecho; ii) qué tipo de interacciones suelen mantener con otros stakeholders y público en general; iii) qué potencial de mejora podrían tener este tipo de procesos, en caso de haberlo, en el contexto particular de su labor.

Un primer conjunto del 80% (2I, 2E, 3H, 1R) respondió afirmativamente a la primera cuestión, un segundo conjunto del 10% (1I) de manera negativa y un 10% (1R) de forma dubitativa. En el primer conjunto, compuesto por representantes de todos los círculos, se destaca la alusión a cursos de divulgación, conferencias, podcasts y charlas en distintos eventos del territorio catalán, tanto públicos (ACCIÒ, 10alamenos9, Setmana de la Ciència, etc.) como privados (charlas informativas en hospitales a pacientes sobre una determinada enfermedad). En el segundo conjunto, compuesto íntegramente por representantes de centros de investigación, se argumenta que, por lo general, el científico no es buen comunicador y este tipo de participaciones son más efectivas llevadas a cabo por personal del departamento de comunicación del centro en cuestión. En el tercer conjunto, compuesto por representantes de agencias de regulación, se pone de manifiesto una postura a medio camino entre las dos anteriores. A saber: se identifica una participación en medios de interacción pública, pero de una manera muy limitada debido a la escasa pluralidad en la interacción, lo que caracterizaba a dicha participación como más bien cerrada y reducida.

Con respecto a la segunda cuestión, en un conjunto del 30% (1I, 1R, 1H) se expone un tipo de interacción muy homogénea y lineal. Es decir, una interacción consistente en relaciones de dos tipos: o bien entre colegas del mismo gremio o muy similares (*p. ej.* investigadores que se dedican a trabajar emulsiones concretas); o bien entre colegas de gremios afines en torno a un objeto común muy específico (*p. ej.* la nanocería). En otro conjunto del 30% (2I, 1R) se hace hincapié en un tipo de interacción algo más compleja o sistémica, definiéndose por relaciones más heterogéneas entre distintos círculos del ecosistema. Por ejemplo, “empresas que desean utilizar la nanotecnología de nuestro centro de investigación”, responde el representante de un centro de investigación: o “hospitales interesados en comprar nanopartículas a empresas de un

tipo determinado”, declara la representante de una agencia de regulación. En el último conjunto de respuestas relativas a la segunda cuestión (40%) (2E, 2H) se recoge un tipo de interacción más característicamente sociotécnica, esto es: resaltando una interacción más transversal que llega con más fuerza hasta el usuario final.

Sin embargo, en el conjunto anterior es necesario puntualizar dos visiones diferenciadas de interés con respecto al tipo de usuario final incluido en estas interacciones. Así, por un lado (1E, 1H), se pone de relieve la importancia del cliente final en la cadena de valor relativa al ámbito de la salud cosmética, el cuidado de la piel, etc. En este sentido, la misión de la cadena de valor se percibe exclusivamente enfocada al cliente final, quien habitualmente es borrado de las discusiones, pero sin el cual no tendría sentido la producción de dicha cadena (“una especie de despotismo ilustrado de todo para el pueblo, pero sin el pueblo”, confiesa el representante de una empresa). Y, por otro lado (1E, 1H), en cuestiones más específicamente farmacológicas, se entiende que el paciente no es el interlocutor adecuado, puesto que, “al ser quien sufre una determinada enfermedad, el diálogo puede conducir a promesas infundadas”, manifiesta el representante de otra empresa. Por el contrario, se recomienda un diálogo aún más abierto y general que incluya interacciones entre campos mucho más amplios, como entre arte y ciencia, de cara a descubrir, innovar y buscar nuevos horizontes.

Por lo que se refiere a la tercera cuestión planteada, un conjunto del 80% (2I, 2E, 1R, 3H) se caracteriza por una contundente percepción positiva y favorable del potencial de mejora que pueden tener este tipo de procesos de participación abierta en el contexto particular de su actividad laboral. En este conjunto, a su vez, el potencial de mejora se entiende y percibe de cuatro formas distintas:

- a) *Círculo de retroalimentación*: lo producido en un laboratorio ha sido mayoritariamente generado con fondos públicos, de manera que es un dinero que ha invertido la sociedad y que genera un producto que le “es devuelto”. Por tanto, el potencial de mejora radica en la toma de conciencia respecto a la necesidad de que esos fondos sean restituidos mediante la provisión de cualquier forma de beneficio o asistencia a la sociedad.
- b) *Generación de valor diversificado*: la productividad académica e investigadora se centra en exceso en la especialización técnica, lo cual fomenta una interacción más lineal y homogénea, pero el potencial de mejora no radica únicamente en la generación de artículos especializados, o *papers*, sino en la generación de trabajo, empleo, capacidades, conocimiento, formación, etc.
- c) *Identificación temprana de impactos futuros*: ampliar el campo de acción y tener en cuenta varias miradas e interpretaciones desde el inicio de la innovación nos puede permitir identificar de forma temprana posibles sesgos, barreras, beneficios, percepciones, etc.
- d) *Recursos para incrementar presión*: teniendo en cuenta que los sistemas de evaluación están muy bien establecidos, se pueden abrir caminos más rápidos como sistemas de presión para provocar cambios en los modelos instaurados, o la creación de nuevos modelos más acordes con esos procesos abiertos de coproducción de conocimiento sociotécnico.

Por contra, en un conjunto del 20% (1I, 1R) podemos identificar una visión más escéptica y pesimista hacia el potencial de mejora que pueden tener experiencias participativas como las descritas en la actividad laboral relativa a procesos de innovación en nanomedicina. Las razones emitidas que operan en este tipo de expresión escéptica o pesimista son de dos tipos:

- a) *Delegación en el saber experto*: aunque se plantee un tipo de interacción horizontal entre un sujeto experto y un sujeto lego, el desequilibrio epistémico del segundo con respecto al primero es tal —en torno al objeto en cuestión— que ello provoca que

finalmente se acabe delegando la responsabilidad en el primero. Esto nos lleva al mismo lugar de salida, haciendo que estas experiencias participativas sean interesantes a nivel de difusión, pero redundantes en cuanto a contenido.

- b) *Dificultad interventiva*: realizar una difusión correcta no garantiza conseguir un interés suficiente en públicos a quien les pueda aportar una determinada innovación. La afluencia de público siempre es una sorpresa y no puede garantizarse una constancia significativa para llevar a cabo una disrupción real en términos interventivos.

5. Conclusiones

A la luz del objetivo establecido al inicio del informe, que tenía que ver con la obtención sistemática de elementos informativos críticos para llevar a cabo actividades orientadas a constituir y robustecer capacidades relacionales anticipatorias más abiertas, se ha logrado trazar a través de los distintos apartados y subapartados un mapa topológico del ecosistema de innovación de la nanotecnología y la nanomedicina en Catalunya conforme al periodo señalado. Para ello, se tuvo en cuenta un *modelo de cuádruple hélice* (CH) compuesto por centros de investigación, empresas, políticas regulatorias y usuarios (hospitales), siguiendo un enfoque conceptual en línea con los denominados *ecosistemas de innovación* (EDI). Con ello se puso en práctica un mecanismo metodológico que atendiera tanto a las vinculaciones y relaciones a nivel intracircular como intercircular del ecosistema.

Este enfoque ha permitido una comprensión más profunda de las dinámicas y desafíos presentes en cada círculo —por ejemplo, en el hecho de que representantes de empresas se inclinaran hacia una definición más disruptiva de la innovación, y usuarios (hospitales) fueran más proclives a una percepción menos disruptiva y más funcional—, si bien es importante destacar que las temáticas clave fueron exploradas a través de entrevistas cualitativas con stakeholders y representantes de todos los círculos analizados. A pesar de la asignación inicial de temas a círculos específicos, se adoptó una metodología inclusiva al evaluar todas las temáticas desde la perspectiva de todos los entrevistados/as, tratando cuestiones de regulación con representantes de empresas, centros de investigación y hospitales; y cuestiones técnicas más especializadas, como los últimos avances en materia de nanomedicina, con usuarios (hospitales), agencias de regulación o empresas.

Este enfoque reveló patrones transversales en las respuestas, indicando que ciertos temas cruciales trascienden las fronteras de los círculos representados. Por ejemplo, la percepción del análisis riesgo-beneficio en materia de regulación no respondió a una ordenación intracircular, sino a patrones transversales más allá de la índole o el carácter representativo de cada círculo. Del mismo modo, los medios de participación pública empleados por los distintos representantes en su trayectoria profesional y personal no se encontraban necesariamente sectorizados, sino que fueron comunes a todos los círculos. También, la percepción mostrada sobre el concepto de innovación por algunos representantes de hospitales y políticas regulatorias, por ejemplo, tenía más en común con representantes de centros de investigación que con representantes del mismo círculo que representaban.

Por otro lado, esta perspectiva metodológica ha enriquecido el análisis al revelar conexiones y sinergias que pueden no ser evidentes en un enfoque más sectorizado. Así, para que uno de los ejemplos discutidos en el informe, el de la nanocería (como nanopartícula en vías de potencial desarrollo y regulación), pueda ser incorporada a nivel regulatorio dentro del ecosistema, necesita de la actividad no solamente del círculo de investigación que le es más característico en el presente (centros de investigación), sino de la implicación de los demás círculos del ecosistema (regulación, usuarios y empresas). Ello no responde sino a la lógica intercircular del ecosistema mismo.

En consecuencia, este informe ha proporcionado una visión global y, al mismo tiempo, detallada y compleja de los desafíos y oportunidades del ecosistema analizado, lo cual pone en valor su utilidad operativa, proporcionando la base de elementos informativos críticos necesarios para respaldar la implementación de actividades orientadas a constituir y robustecer una serie de capacidades relacionales de anticipación en una red de actores diversos.

6. Referencias

- Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, 84(4), 98-107.
- Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, 31(3), 306-333.
- Agència per la Competitivitat de l'Empresa (ACCIÓ). (2021). *Informe tecnològic "La nanociència i la nanotecnologia a Catalunya"*.
<https://www.accio.gencat.cat/ca/serveis/banc-coneixement/cercador/BancConeixement/ei-c-nanociencia-nanotecnologia-catalunya>
- Ajuntament de Barcelona. (2023). *Barcelona Ciència, 12 anys de polítiques científiques*.
<https://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/bitstream/11703/129906/1/BarcelonaCiencia-15Anysdepolitiquescientifiques-CAT.PDF>
- Arenal, A., Armuña, C., Feijoo, C., Ramos, S., Xu, Z., & Moreno, A. (2020). Innovation ecosystems theory revisited: The case of artificial intelligence in China. *Telecommunications Policy*, 44(6), 1-27.
- Carayannis, E., & Campbell, D. (2009). 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, 46(3/4), 201-234.
- Casado, M., Díaz-Marcos, J., Guimerà, G., Mendoza, J., Ponce, R., Serena, P., & Tenorio, M. (2021). *Llibre blanc de les nanotecnologies: Una visió ètica i social dels avenços de la nanociència i la nanotecnologia*. Generalitat de Catalunya.
- Casado, M., & López-Baroni, M. (2021). La nanotecnología como problema bioético. In *Libro blanco de las nanotecnologías: una visión ético-social ante los avances de la nanociencia y la nanotecnología* (pp. 67-100). Aranzadi, S.A.U.
- Casals, G., Perramón, M., Casals, E., Portolés, I., Fernández-Varo, G., Morales Ruiz, M., Puentes, V., & Jiménez, W. (2021). Cerium Oxide Nanoparticles: A New Therapeutic Tool in Liver Diseases. *Antioxidants*, 660(10).
- Castillo, L., Lavín, J., & Pedraza, N. A. (2014). La gestión de la triple hélice: fortaleciendo las relaciones entre la universidad, empresa, gobierno. *Multiciencias*, 14(4), 438-446.
- Closa, D. (2019). *Nanomedicina: la revolución de la medicina a escala molecular*. RBA Libros, S.A.
- Edgerton, D. (2004). The linear model did not exist: Reflections on the history and historiography of science and research in industry in the twentieth century. *The science-industry nexus: History, policy, implications*, 31-57.
- Ernst, L. M., & Puentes, V. (2022). How Does Immunomodulatory Nanoceria Work? ROS and Immunometabolism. *Front. Immunol.*, 13, 750175.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1998). The Triple Helix: a Model for Innovation Studies. *Science & Public Policy*, 25(3), 195-203.
- Freeman, C. (1987). *Technology, policy, and economic performance: lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Galvao, A., Mascarenhas, C., Marques, C., Ferreira, J., & Ratten, V. (2019). Triple helix and its evolution: a systematic literature review. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 10(3), 812-833.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. SAGE Publications.
- Godin, B. (2006). The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework. *Science, Technology & Human Values*, 31(6), 639-667.

- González Tapia, A., Lavín Verástegui, J., & Pedraza Melo, N. A. (2020). El papel de los actores de la cuádruple hélice en el emprendimiento tecnológico de Tamaulipas. *Paradigma económico. Revista de economía regional y sectorial*, 12(2), 93-124.
- Grulke, E., Reed, K., Beck, M., Huang, X., Cormack, A., & Seal, S. (2014). Nanoceria: factors affecting its pro- and anti-oxidant properties. *Environ. Sci.; Nano*, 1, 429-444.
- Ibarra, A. (2012). Epistemic networks: new subjects for new forms of (scientific) knowledge production. *Science, Technology and Innovation Studies (STI-Studies)*, 8(1), 61-74.
- Ibarra, A., & Larrañaga, J. (2011). De las redes teóricas a las constelaciones de elementos teóricos: las prácticas científicas en la Ecología de Poblaciones. *Metatheoria*, 1(2), 167-193.
- Karakoti, A. S., Monteiro-Riviere, N. A., Aggarwal, R., Davis, J. P., Narayan, R. J., Self, W. T., McGinnis, J., & Seal, S. (2008). Nanoceria as Antioxidant: Synthesis and Biomedical Applications. *JOM*, 60(3), 33-37.
- Karakoti, A. S., Munusamy, P., Hostetler, K., Kodali, V., Kuchibhatla, S., Orr, G., & Baer, D. R. (2012). Preparation and characterization challenges to understanding environmental and biological impacts of ceria nanoparticles. *Surface and Interface Analysis*, 44(5), 882-889.
- Kline, S., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. In *The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth* (pp. 275-305). National Academy Press.
- López, S., Mejía, J., & Schmal, R. (2006). Un acercamiento al concepto de la transferencia de tecnología en las universidades y sus diferentes manifestaciones. *Panorama socioeconómico*, 24(32), 70-81.
- Lundvall, B. (1985). *Product Innovation and User-Producer Interaction*. Aalborg Universitetsforlag.
- Mercan, B., & Götkas, D. (2011). Components of innovation ecosystems. *International Research Journal of Finance and Economics*, 76(76), 102-112.
- Moore, J. F. (1993). Predators and prey: A new ecology of competition. *Harvard Business Review*, 71(3), 75-86.
- Otárola, M. C., & de Zárate, J. R. (2022). Barcelona no es Silicon Valley: una aproximación crítica al modelo "hélices de la innovación". *Athenea Digital. Revista de pensamiento e investigación social*, 22(1).
- Peris-Ortiz, M., Ferreira, J. J., Farinha, L., & Fernandes, N. O. (Eds.). (2018). *Multiple Helix Ecosystems for Sustainable Competitiveness*. Springer International Publishing.
- Reed, K., Cormack, A., Kulkarni, A., Mayton, M., Sayle, D., Klaessig, F., & Stadler, B. (2014). Exploring the properties and applications of nanoceria: is there still plenty of room at the bottom? *Environ. Sci.: Nano*, 1, 390-405.
- Regulation (EU) 2021/2282 of the European Parliament and of the Council, of 15 December 2021, on health technology assessment and amending Directive 2011/24/EU. (n.d.). *Official Journal of the European Union*, (L458/1).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R2282>
- Sábato, J., & Botana, N. (1968). Ciencia y Tecnología en el Desarrollo Future de América Latina. *Revista de la Integración*, 1(3), 15-36.
- Scaringella, L., & Radziwon, A. (2018). Innovation, entrepreneurial, knowledge and business ecosystems: Old wine in new bottles? *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 59-87.
- Science for Change. (2022). *Diagnosi dels projectes de ciència ciutadana i natura de Catalunya*.
https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/educacio_i_sostenibilitat/educacio_per_a_la_sostenibilitat/ciencia-ciutadana-natura/Diagnostic-projectes-cc.pdf
- Strawn, E. T., Cohen, C. A., & Rzigalinski, B. A. (2006). Cerium oxide nanoparticles increase lifespan and protect against free radical-mediated toxicity. *FASEB J*, A1356(20).

- Urbano, D., Guerrero, M., Ferreira, J. J., & Fernandes, C. I. (2018). New technology entrepreneurship initiatives: Which strategic orientations and environmental conditions matter in the new socio-economic landscape? *The Journal of Technology Transfer*, 1-26.
- Vasconcelos Gomes, L. A. d., Facin, A. L. F., Salerno, M. S., & Ikenami, R. K. (2018). Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends. *Technological forecasting and social change*, 136, 30-48.
- Villaveces, J. (2006). Nuevas políticas de ciencia y tecnología. In *Universidad e investigación científica* (pp. 193-205). Clacso.
- World Medical Association (WMA). (2022, September 6). *WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects*. The World Medical Association. Retrieved November 24, 2023, from <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>
- Yokel, R. A., Hussain, S., Garantziotis, S., Demokritou, P., Castranova, V., & Cassee, F. (2014). The yin: an adverse health perspective of nanoceria: uptake, distribution, accumulation, and mechanisms of its toxicity. *Environ. Sci.: Nano*, 1, 406-428.