

Documento de Trabajo N° 2

Versión reducida



Nanotecnología en la Provincia de Buenos Aires

Capacidades del Sistema Científico-Tecnológico,
aportes al desarrollo socio-productivo,
potencialidades y desafíos futuros



Autoridades

Gobernador de la Provincia de Buenos Aires

Axel Kicillof

Vicegobernadora de la Provincia de Buenos Aires

Verónica Magario

Ministro de Producción, Ciencia e Innovación Tecnológica de la Provincia de Buenos Aires

Augusto Costa

Subsecretario de Ciencia, Tecnología e Innovación

Federico Agüero

Director y equipo de trabajo

Alex Kodric

Denise Roskell

Matías Mancini

Ángela Candreva

Edición:
Equipo de Comunicación
Subsecretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación

Fecha de divulgación: Julio 2021

1. Nanotecnología y nanociencia: definiciones, usos y campos de aplicación

La nanotecnología (NT) constituye una nueva manera de trabajar la materia, y por su transversalidad, involucra prácticamente a todas las ramas de las ciencias con numerosas aplicaciones que buscan concebir nuevos y mejorados bienes y posibles soluciones a demandas sociales [1]. Las nanociencias (NC) se ocupan del estudio del fenómeno y la manipulación de la materia a escala nanométrica¹ (nm), donde las propiedades son diferentes a las de escalas superiores. En tanto, la NT trabaja sobre el diseño, caracterización, fabricación y aplicación de nano-objetos, dispositivos y sistemas controlando el tamaño y la forma a nanoescala. La NC implica multidisciplinariedad, confluencia de conocimientos donde también se asienta la riqueza de las NT.

Los grandes cambios en las propiedades llamadas “intensivas” de las nanopartículas (NP) y nano-objetos se deben al hecho de que están constituidos por una pequeña cantidad de átomos. La clave es que las propiedades físicas y químicas de la materia cambian a escala nanométrica, debido a efectos cuánticos. **La potencialidad que presenta la escala nanométrica es, entonces, la posibilidad de encontrar nuevas**

propiedades que no solamente dependen de su composición sino también del tamaño de la materia.

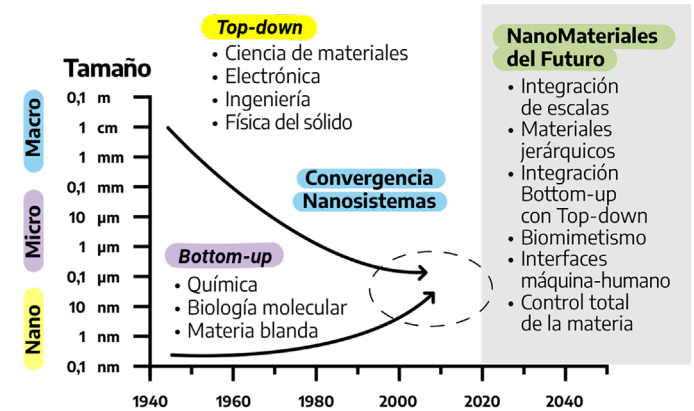
Existen dos métodos diferentes para llegar a producir objetos nanométricos [2]. Por un lado se encuentra el método *top-down* o “de arriba hacia abajo” que consiste en procesos que trabajan a nivel macroscópico y que buscan fabricar objetos cada vez más pequeños, es decir “miniaturizar” objetos. Este método involucra a la ciencia de materiales, a la electrónica (fabricación de chips), a la ingeniería y a la física del sólido. En particular, la fabricación de un dispositivo o Sistema NanoElectroMecánico (NEMS) que pueda traducir señal mecánica en señal eléctrica a escala cada vez menor, es un campo de gran interés en NT, debido a que posibilita el desarrollo de dispositivos con nuevas funcionalidades. Como por ejemplo la miniaturización de transistores, memorias, chips, microprocesadores, robóts y otros componentes electrónicos. Desde otra perspectiva, los constructores moleculares trabajan manipulando los átomos de manera tal de poder fabricar cualquier objeto “de abajo hacia arriba”, lo que se conoce como método *bottom-up*. Este método involucra técnicas estrechamente relacionadas a la síntesis química. Los nanomateriales (NMs) que se fabrican con estos métodos parten de un precursor molecular. La construcción paso a paso mediante reacciones controladas demanda conocer algunas herramientas de la química, pero en ese caso los equipos nece-

sarios son de menor sofisticación que en procesos *top-down*. Por la vía *bottom-up*, pueden fabricarse diferentes NMs y nano-objetos: entre ellos, NP de formas y tamaños controlados, polímeros y películas nanoestructuradas. Además, pueden combinarse materiales inorgánicos y orgánicos en un mismo NM para obtener sistemas complejos. Por ejemplo, ciertas proteínas pueden ser combinadas con distintas NP que aportan diferentes propiedades. De esta forma, se pueden formar tensioactivos que se utilizan en la industria por combinación de proteínas con NP de oro y dióxido de silicio. Otro ejemplo es la combinación de NP de oro con anticuerpos (proteínas) que se usan en diversos test de diagnóstico, que presentan una o dos líneas de color rojizo.

En muchas ocasiones, ambas metodologías de producción de NMs y nanosistemas (NS) pueden ser complementarias, y cuando se asocian se abre un abanico de posibilidades de innovación (**Gráfico 1**). Es interesante resaltar que la convergencia entre los métodos *top-down* y *bottom-up* es un fenómeno que se está dando particularmente en la presente década.

¹ Indica un factor de 10⁻⁹ que representa la milmillonésima parte de algo, (1 nm = una milmillonésima de metro).

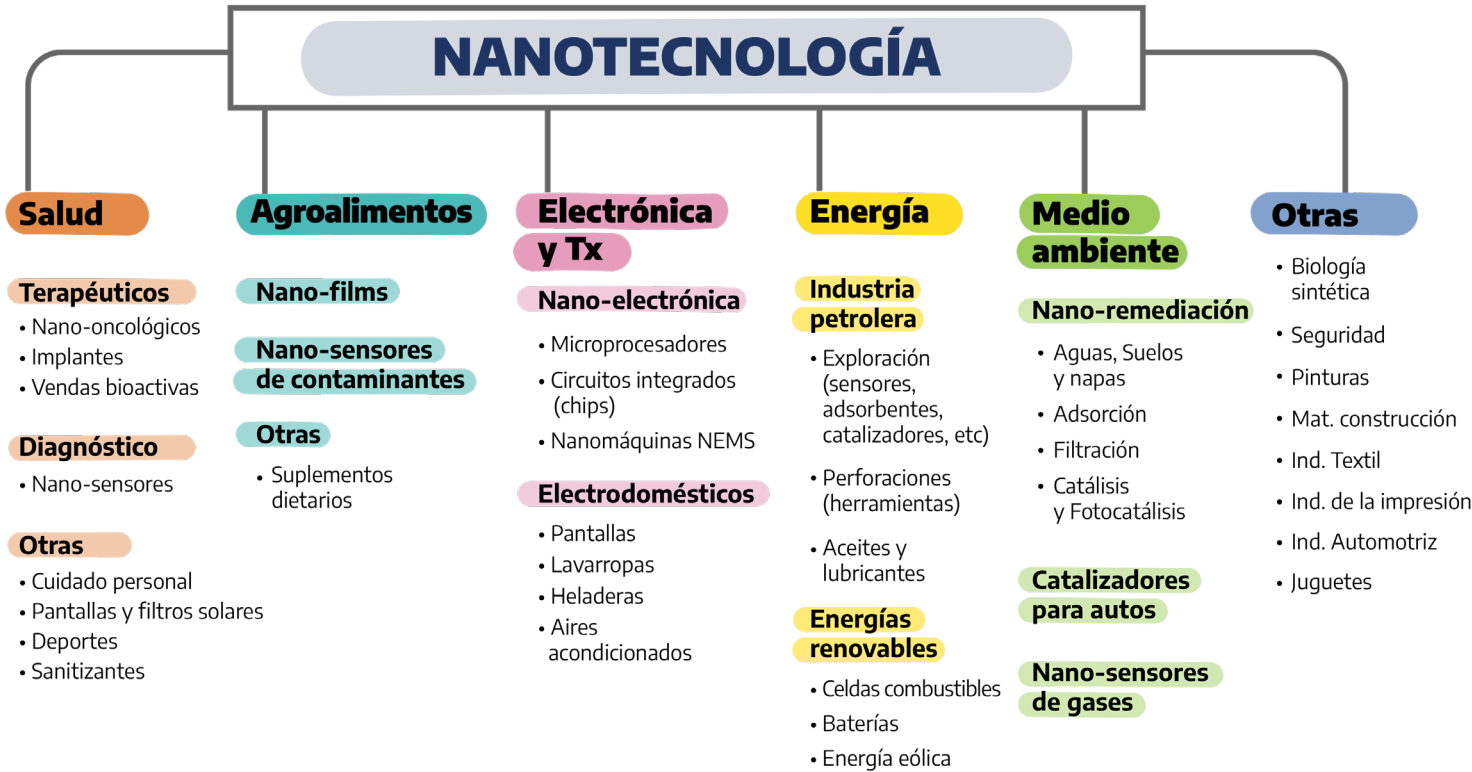
Gráfico 1. Métodos para la fabricación de nanomateriales.
La convergencia en los métodos *top-down* y *bottom-up*.



Fuente: "Nanotecnología. El desafío del siglo XXI." Galo Soler Illia. Colección Ciencia joven Nro 38. Buenos Aires: Editorial EUDEBA, 2012 [2].

Los sistemas funcionales a escala nanométrica o nanosistemas se presentan bajo una enorme variedad de composiciones, tamaños y formas: NP, nanotubos, nanocircuitos, moléculas, bio-moléculas, etc. A partir de investigar y desarrollar a nivel de nanoescala surgieron nuevas aplicaciones y se rediseñaron otras que ya existían. Es así como la NT amplía perspectivas y genera nuevas oportunidades en lo que se refiere al sector salud, sector agroalimentario, en electrónica y telecomunicaciones, sector energético, medio ambiente y otras aplicaciones como lo son la producción de pinturas, la industria textil, la actividad de impresión, la elaboración de plásticos y la industria metalmecánica.

Cuadro 1. Mapa conceptual de áreas temáticas de intervención de la nanotecnología de acuerdo a un enfoque de desarrollo socioeconómico



Nota: Tx: telecomunicaciones. NEMS: Sistemas nanoelectromecánicos Fuente: elaboración propia

2. La nanotecnología en el marco del Sistema Científico y Tecnológico (SCyT) nacional: redes institucionales y políticas públicas sectoriales

Durante los años 90, las economías de los países centrales posicionaron a la NT como una de las tecnologías de propósito general (TPG), lo que se tradujo en un incremento del financiamiento de la misma. En el mismo período, en Argentina existían investigadores en la temática que en su mayoría buscaban continuar con las líneas de investigación iniciadas previamente en estadías de aprendizaje en el exterior. No obstante, en nuestro país la crisis del 2001 postergó la incorporación de la NT a la agenda de las políticas públicas hasta el año 2004, cuando se creó el Programa de Áreas de Vacancia (PAV) impulsado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) dependiente de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (SECyT) [3]. Frente a la falta de diagnósticos y estudios prospectivos por entonces, la ANPCyT organizó un “Taller sobre las Nanociencias y las Nanotecnologías en la Argentina”, a partir del cual se crearon redes de investigación en ambas disciplinas. Como consecuencia el PAV, con

una tendencia hacia la NC, financió la creación de las primeras cuatro redes de investigación en NC que adolecían de vinculación con demandas sociales o productivas [4] [5] [6].

En abril de 2005, el Ministerio de Economía y Producción creó la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) bajo la figura jurídica de entidad de derecho privado sin fines de lucro, como emprendimiento asociado a la empresa trasnacional Lucent y dependiente de ese Ministerio. El objetivo de la FAN sería “sentar las bases y promover el desarrollo de infraestructura humana y técnica para competir internacionalmente en la aplicación de micro y nanotecnologías que aumenten el valor agregado de la producción nacional” [7]. Hacia finales del año 2006, la ANPCyT abrió la convocatoria del Programa de Áreas Estratégicas (PAE), perteneciente al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT), para financiar las áreas seleccionadas como prioritarias en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación “Bicentenario” (2006-2010), configurando a la NT como una tecnología estratégica [5].

A fines de 2007, la FAN pasó a la órbita del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MINCyT), contribuyendo en la instauración de políticas para la cooperación científico-tecnológica en materia de NC y NT en Argentina [8]. A modo de ejemplo, se puede mencionar la creación del Centro Argentino-Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABNN) en apoyo a la in-

vestigación científico-tecnológica en el área y al perfeccionamiento de los recursos humanos y científicos de ambos países.

En el año 2010, en el Marco del Plan “Argentina innovadora 2020”, se presentaron los Fondos Argentinos Sectoriales (FONARSEC) de la ANPCyT, los cuales financiaron parcialmente proyectos que generarían plataformas tecnológicas en tres áreas del sector: nanomateriales, nanointermediarios y nanosensores². Estos Fondos, entre otras cosas, posibilitaron la acumulación de capacidades y fomentaron la creación de plataformas tecnológicas [9].

Durante el 2011, la FAN incorporó a sus actividades la divulgación y difusión de la NT y lanzó el “Programa de Inversión en Emprendimientos de alto contenido en Micro y Nanotecnología” que contaba con dos etapas de financiamiento: Pre Semilla y Semilla³. Posteriormente, en 2015, con el objetivo de incubar empresas a partir de la asistencia a proyectos *spin-off* o a microempresas, la FAN inauguró su edificio en un predio de la UNSAM, en la provincia de Buenos Aires.

Durante 2014 el MINCyT lanzó el Programa NanoPyMEs correspondiente a los Proyectos Regionales Integrados (PRIS), que buscaba resolver problemas o limitantes productivos en los sectores de metalmecánica, agroalimentos, salud y electrónica, a partir de la aplicación de micro y nanotecnología.

² Ver sección 4 de este documento en la que se describen cada uno de los eslabones que componen la cadena de valor de la nanotecnología.

³ Actualmente la FAN posee el Programa de Incubación de Empresas: Etapa Pre Semilla. El programa Pre Semilla es un programa de inversión en emprendimientos nanotecnológicos cuyo fin es el de favorecer y acelerar la puesta en marcha de proyectos innovadores. Este programa facilita un monto de dinero y en tiempos cortos (un año), de manera que le sirva al proyecto innovador para iniciar con la propuesta. Los casos de proyectos exitosos estarían en condiciones luego de pasar a la etapa “Semilla” en la que se apoya técnica y financieramente para continuar con el impulso a la creación de empresas nacionales de base nanotecnológica.

Sobre la base de las iniciativas reseñadas, el país pudo reunir un conjunto de capacidades en NT en el Sistema de CyT nacional. Estas capacidades se concentran mayormente en Institutos y/o Centros de organismos de CyT (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas [CONICET], Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], Comisión Nacional de Energía Atómica [CNEA]) y en las Universidades públicas (Universidad Nacional de la Plata [UNLP], Universidad Nacional de San Martín [UNSAM], Universidad Nacional del Sur [UNS], Universidad Nacional de Mar del Plata [UNMdP], Universidad Nacional de Buenos Aires [UBA] y Universidad Nacional de Córdoba [UNC]). Dichas instituciones conforman los nodos centrales de las redes de investigación desarrolladas en los últimos años. Según datos elaborados por Barrere y Matas, en el año 2013 [10], a partir de la base de datos de la *European Patent Office* (EPO), las disciplinas en las cuales desarrollan mayoritariamente la investigación en NC y NT en el país son Física, Química, Ciencia de los materiales, Ciencia de los polímeros, Ingeniería, Bioquímica y Biología molecular. La investigación en NT y NC, debido a su transversalidad, se caracteriza por actividades multidisciplinarias. Asimismo, requiere del empleo de múltiples técnicas para el desarrollo y caracterización de los nanomateriales y nano-objetos, demandando equipos e instalaciones de elevados costos [2]. Por ello habitualmente la in-

vestigación en NT requiere de redes interdisciplinarias de colaboraciones entre Instituciones Nacionales e Internacionales.

3. Capacidades del Sistema Científico y Tecnológico Provincial (SCTP)⁴ en nanotecnología

3.1. Mapa de Instituciones del SCTP con capacidades en NT: distribución regional

Tomando como referencia a todas las instituciones⁵ del SCTP que trabajan en proyectos asociados a NT⁶, se detectaron un total de 50 Centros, Institutos o Laboratorios de investigación que dedican parte de sus actividades de investigación y desarrollo (I+D) específicamente a esta disciplina. Estas instituciones fueron geolocalizadas; método que permitió identificar 3 nodos principales de I+D en NT en la provincia de Buenos Aires:

- **Nodo Metropolitano:** comprende las ciudades de La Plata, Berisso, Quilmes, Florencio Varela, Lomas de Zamora, Hurlingham, Morón, Merlo, San Martín, Campana y Luján. En total este nodo alberga 41 instituciones que trabajan temáticas referidas a NT.

- **Nodo Centro:** comprende las ciudades de Tandil y Mar del Plata (partido de General Pueyrredón) y lo componen 4 instituciones.
- **Nodo Sur:** comprende la ciudad de Bahía Blanca e incluye 5 instituciones.

Dos cuestiones merecen ser destacadas respecto a la distribución geográfica de los Institutos, Centros y grupos de I+D en NT. En primer lugar, que dicha distribución se encuentra relacionada directamente con la presencia de universidades nacionales en los distritos provinciales. En segundo lugar, debe tenerse en cuenta que, si bien las capacidades del SCTP abarcan tres nodos regionales, el nodo denominado Metropolitano concentra más del 80% de las instituciones que cuentan con líneas de I+D en NT, con preponderancia de las instituciones o grupos dependientes de la UNLP y UNSAM.

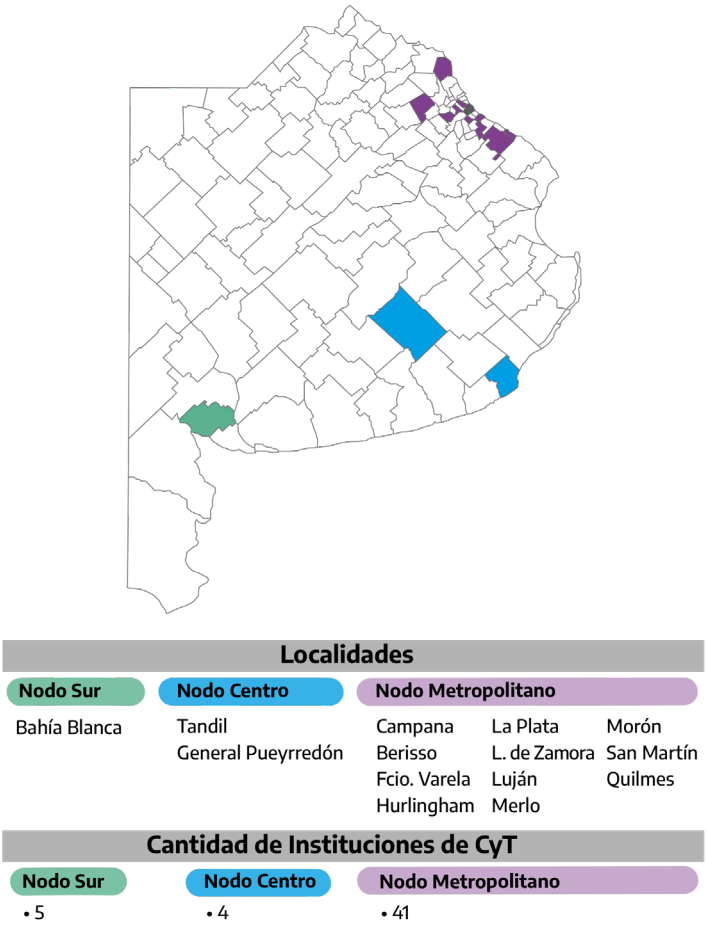
A fin de exponer con mayor claridad la distribución geográfica de las capacidades en NT, se presenta un mapa con la localización de los Institutos, Centros y grupos de I+D en el territorio provincial (**Mapa 1**). Los Municipios en los que fueron detectadas instituciones de I+D son identificados con colores de acuerdo al nodo geográfico. Asimismo, se referencian para cada nodo los Municipios que cuentan con Centros, Institutos o Laboratorios de investigación y el número total de los mismos.

⁴ El Sistema de Ciencia y Tecnología provincial (SCTP) lo componen diferentes actores dedicados a tareas de investigación y desarrollo (I+D) en el territorio bonaerense, ellos son: investigadores, técnicos y personal de apoyo y becarios de investigación. Establecidos en una amplia trama de organismos e instituciones de origen tanto provincial como nacional, incluyendo: organismos nacionales y provinciales de ciencia y tecnología, universidades de gestión pública; centros e institutos de investigación; laboratorios; organismos de promoción científica y tecnológica; prestadoras de servicios tecnológicos; y empresas de base tecnológica de naturaleza público-privada.

⁵ Cuando en el texto se refiere a instituciones se tiene en cuenta el amplio espectro de los ámbitos donde se desarrolla la actividad científico-tecnológica considerándose a los Centros, Institutos, Laboratorios, Grupos o Programas (dependientes de instituciones) detectados.

⁶ El relevamiento se realizó sobre la base de la información disponible en Internet de las páginas y portales de cada institución que desarrolla I+D en la Provincia.

Mapa 1. Distribución regional de las instituciones del SCTP en la provincia de Buenos Aires



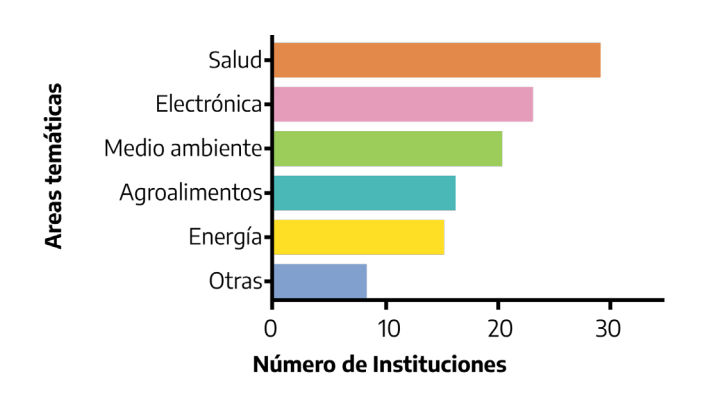
Fuente: elaboración propia

3.2. Descripción del SCTP en relación a las áreas temáticas de desarrollo, sus capacidades y distribución geográfica

Además de su ubicación territorial, otro plano importante para caracterizar a los 50 institutos del SCTP que trabajan en NT consiste en distinguir las distintas áreas temáticas de la NT hacia las que orientan las líneas de investigación de acuerdo a la clasificación detallada en la sección 1.

Es así que, de los 50 Institutos detectados con actividades de I+D vinculadas a la NT concentran sus actividades en las siguientes áreas temáticas: salud (29), electrónica (23), medio ambiente (20), agroalimentos (16), energía (15) y otras (8). El **Gráfico 2** muestra el número de institutos con líneas de investigación en cada área. De esta forma, se constata que las capacidades del SCTP cubren diversos campos de investigación. Se observa, no obstante, un predominio del área de salud, hecho que demuestra el potencial que tiene la NT para aplicaciones en esta materia así como las capacidades que posee la Provincia en la misma. En segundo y tercer lugar aparecen la electrónica y el medio ambiente, respectivamente.

Gráfico 2. Distribución de las instituciones del SCTP según áreas temáticas en las que desarrollan NT



Fuente: elaboración propia

Asimismo, se observa que del total de 50 Institutos detectados, 10 se encuentran asociados a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC), lo que demuestra la presencia directa de la Provincia en el desarrollo del sector. Por su parte, las universidades nacionales alojan un gran número de los Institutos con NT del territorio provincial. En la Región Metropolitana, la UNLP posee 12 instituciones con múltiples dependencias. Entre ellas se destacan el INIFTA, el CINDEFI y una Planta Piloto Multipropósito para Servicios Tecnológicos a la Industria (PLAPIMU-LASEISIC). Dentro del campus de la UNSAM se encuentran 11 instituciones que desarrollan NT. En ese caso, se destaca la presencia de la FAN

(dependiente del MINCyT) y varios Institutos o Laboratorios dependientes de la Escuela de Ciencia y Tecnología (ECyT), como así también el 3iA y el INS, entre otros. La UNQ posee 2 instituciones que realizan actividades de I+D y trabajan en temas relacionados a la NT. Además, existen grupos o instituciones que desarrollan NT y NC en la Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), Universidad Nacional de Lomas de Zamora (UNLZ), Universidad Nacional del Oeste (UNO) y Universidad Nacional de Luján (UNLU). Además, se detectó que la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) posee 1 equipo y 3 Centros de Investigación relacionados con NT pertenecientes a las Facultades Regionales de La Plata, Delta y Haedo.

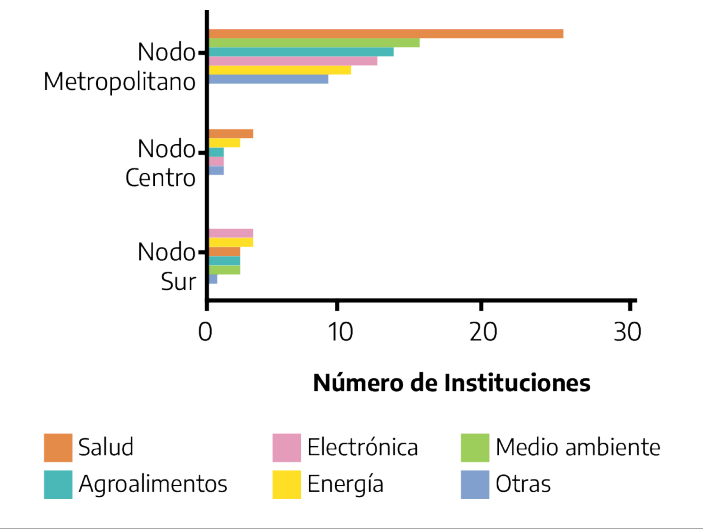
Por su parte, en el Nodo Centro, la Universidad Nacional del Centro (UNICEN) nuclea a 3 instituciones localizadas en Tandil: el CIFICEN, el IFAS y el PLADEMA; y en la UNMDP se encuentra el INTEMA, Instituto que presenta diversas áreas que desarrollan NT. Finalmente, en el Nodo Sur, la UNS presenta varios Institutos que trabajan esta tecnología y también posee la Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI) que es otra institución que aborda la tecnología desde diferentes áreas.

Además de las universidades nacionales, se identificaron otras instituciones que desarrollan NT en la Provincia: el INTI, el INTA que posee 5 dependencias en la Provincia que se dedican a la NT, Y-TEC, y el Centro Atómico Constituyentes (CAC-CNEA)

ubicado en la ciudad de San Martín (dependiente de la Secretaría de Energía de la Nación).

Un último punto para analizar es la presencia de las distintas líneas de investigación por área temática según los nodos regionales. Esto se muestra en el **Gráfico 3**, donde se expone el agrupamiento de las instituciones de ciencia y tecnología que trabajan en NT según su geolocalización y en función de las áreas temáticas de desarrollo.

Gráfico 3. Distribución de las áreas temáticas por nodo regional



Fuente: elaboración propia

En el gráfico puede observarse que el Nodo Metropolitano exhibe una amplia base de conocimientos: es el que posee la mayor densidad de grupos de I+D en NT y presenta desarrollos en todas las áreas temáticas. En simultáneo, se observa una marcada preponderancia en el área de salud, seguida por medioambiente y agroalimentos. En el nodo Centro se destacan salud y energía como objetos de estudio en NT para esta región. En cambio, es muy incipiente la actividad vinculada al medio ambiente, a diferencia de los nodos Sur y Metropolitano. Por último, el Nodo Sur es el que muestra mayor equilibrio en cuanto a las áreas que desarrolla respecto a NT, tal como se observa en Biotecnología (ver al respecto Documento de trabajo 1 [11]).

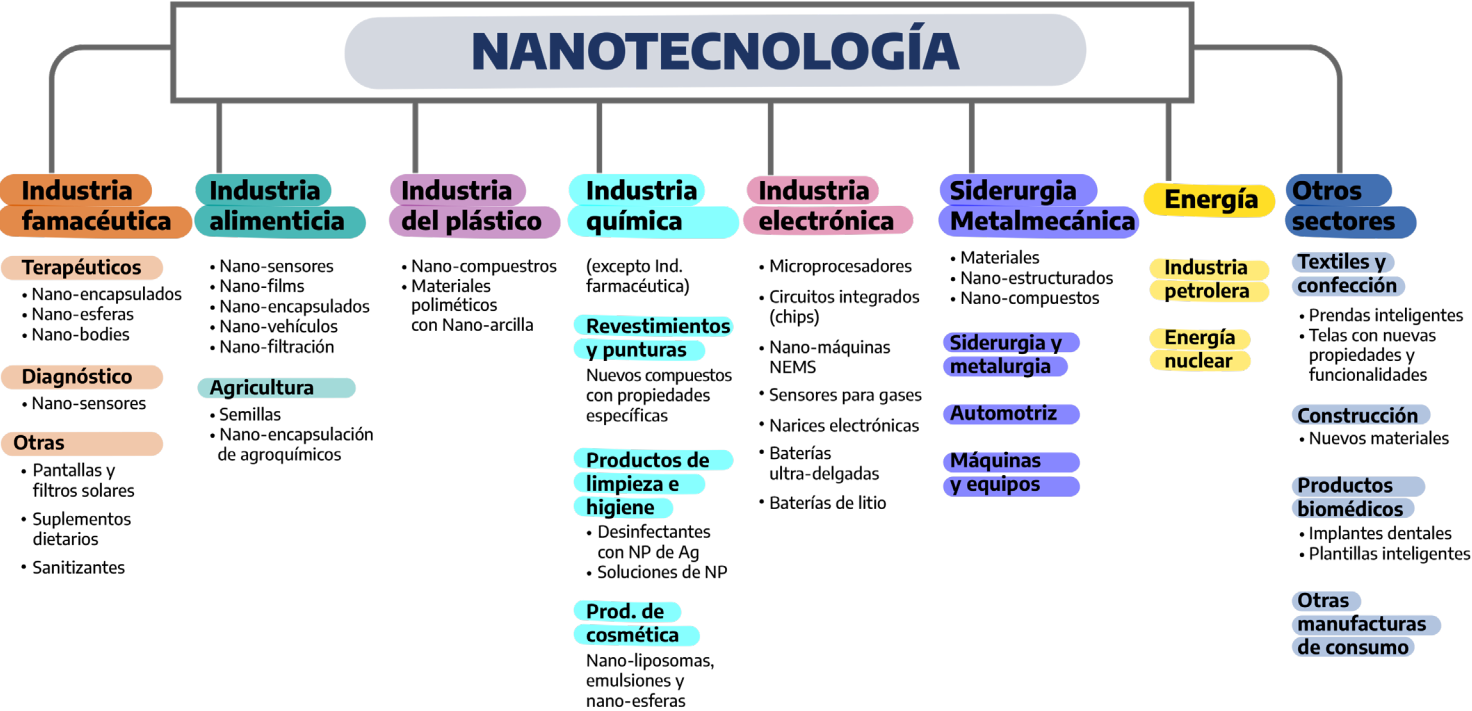
4. Nanotecnología y sector productivo provincial: empresas, desarrollos y aplicaciones

Al basarse en las propiedades y funcionalidades específicas que presentan las partículas a escala nanométrica (por ejemplo color, flexibilidad, conductividad eléctrica y térmica, características ópticas y magnéticas, entre otras), la NT genera posibilidades de diseñar y crear productos novedosos o reformular tradicionales

para incluir prestaciones o características mejoradas. El amplio abanico de oportunidades de innovación abierto por la NT hacia diversas actividades productivas es uno de los motivos, entre otros, por los cuales la NT ha sido considerada una TPG.

A pesar de su carácter transversal, hay algunos sectores donde la NT presenta mayores oportunidades de aplicación (ver **Cuadro 2**), como también se constata al observar los sectores productivos donde operan las empresas nanotecnológicas existentes en el país. Entre estos sectores se destacan la industria electrónica, la generación de energía, la siderurgia y la metalmecánica, la industria química, la industria del plástico y la industria farmacéutica. Desde una perspectiva insumo-producto, la incidencia de la NT se expande en la estructura industrial debido a que distintos sectores encuentran la posibilidad de mejorar sus productos a partir del uso de nanomateriales con nuevas funcionalidades, a lo que debe añadirse la posibilidad de contar con nuevas herramientas y dispositivos concebidos a partir del uso de NT que optimizan el proceso productivo.

Cuadro 2. Mapa de sectores productivos con aplicaciones en técnicas nanotecnológicas



Nota: NP de Ag: Nanopartículas de plata. NEMS: Sistemas nanoelectromecánicos. Fuente: elaboración propia

Continuando el análisis de la incidencia de la NT en el aparato productivo desde una perspectiva de insumo producto, es útil distinguir los distintos segmentos que componen la **cadena de valor en el desarrollo de la NT**⁷. Por un lado, se encuentra la **producción de nanomateriales**, es decir, estructuras de la materia desarrolladas a escala nanométrica que exhiben propiedades dependientes del tamaño y que se encuentra sin procesar o mínimamente procesadas, como nanopartículas, nanotubos, nanofilms, puntos cuánticos o materiales nanoporosos. Por otra parte, se encuentra la **producción de nanointermediarios** (como revestimientos; tejidos; memorias; plásticos, generadores y almacenadores de energía, sensores, componentes ópticos; entre otros), que funcionalizan las NPs o nanoestructuras para su aplicación en productos finales. El tercer eslabón de la cadena está conformado por los **productos nanoenriquecidos**, esto es, los productos finales elaborados a partir de NMs o nanointermediarios que, tal como se mencionó previamente, pueden abarcar distintas industrias. Un cuarto eslabón de la cadena de valor consiste en la producción de las **nanoherramientas** (por ejemplo, nanoscopios, nanomanipuladores, dispositivos de eliminación de capas atómicas y equipamiento de nanolitografía) utilizadas en los otros tres eslabones de la cadena y que incluye a los distintos equipos, maquinaria e instrumentos técnicos, utilizados para operaciones de medición, manipulación, análisis y producción de NMs y nanoestructuras.

Los registros realizados sobre la cantidad de empresas de NT

en el país no muestran números uniformes. El número de empresas difiere, entre otras cuestiones, por la ausencia de criterios homogéneos preestablecidos sobre qué se considera una empresa nanotecnológica y, en este marco, por la diferencia de criterios tomados por los autores para identificarlas. Más allá de las diferencias de números entre los padrones, se desprende un patrón común de todos los trabajos: el sector de NT sigue siendo incipiente y pequeño en términos de la cantidad de instituciones y empresas con desarrollos y productos nanotecnológicos [12].

La gran mayoría de las empresas se dedican a productos finales seguida por nanointermediarios y es muy baja la proporción de empresas en el sector de nanoingredientes. En otros términos, existe una dependencia de suministros de origen nanotecnológico del extranjero y un sesgo de las empresas nacionales a orientar los esfuerzos hacia el aprovechamiento de las ventajas competitivas ofrecidas por la NT en bienes finales [14].

En la **Tabla 1** se muestra la distribución de empresas por sector productivo y regiones (provincia de Buenos Aires (PBA) versus resto del país). El registro se basa en dos fuentes. Por un lado, el padrón de Surtayeva [9], publicado en 2019, por ser el más actualizado de los trabajos publicados y además porque discrimina entre aquellas empresas que ya poseen productos en el mercado y aquellas que aún se encuentran en la etapa de I+D. Por otro lado, se toma el mapa de la FAN (excluyendo el rubro nanoherramientas) por ser la institución referente y donde se incuban varios de los emprendimientos del sector. Del cruce entre estos dos padrones se obtuvo un total de 63 empresas nanotecnológicas

en el país, de las cuales 25 se asientan en la PBA (38,1%). Si bien la Provincia está presente en varios sectores, se destacan los siguientes por tener una alta presencia relativa frente al promedio nacional: industria alimenticia, industria farmacéutica, e industria química incluyendo productos de limpieza y cosmética. De esta forma, se destacan en la Provincia dos polos productivos importantes: el químico y farmacéutico, y el agroalimentario. Contrariamente, llama la atención las pocas empresas de NT dedicadas a la producción de herramientas e instrumentos y electrónica, aunque la metalmecánica sea un sector con una importante presencia en la estructura productiva Provincial.

Tabla 1. Cantidad de empresas nacionales de nanotecnología por sector productivo y región

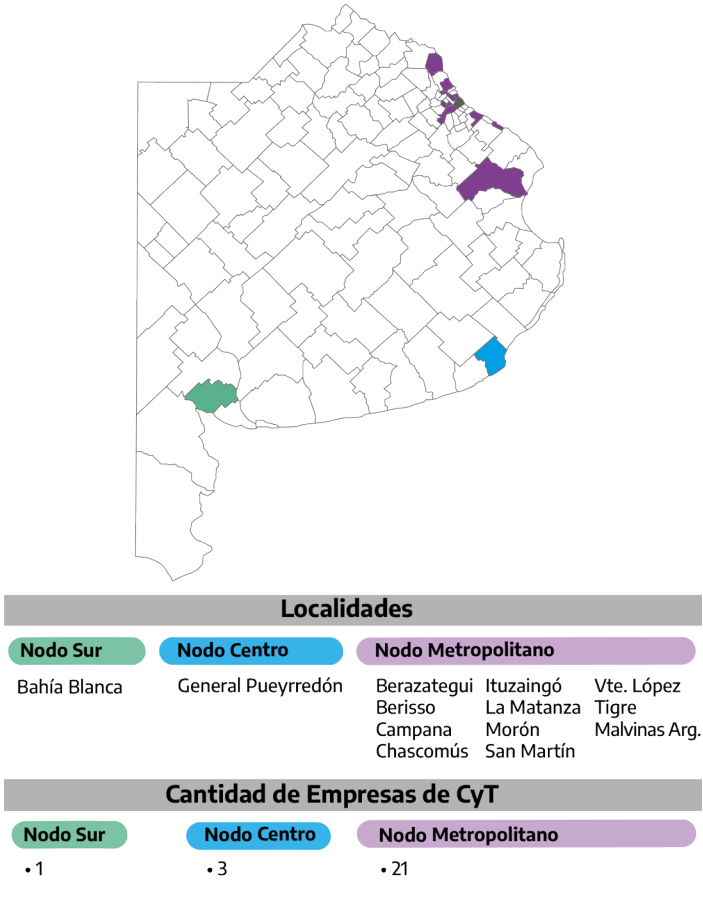
Sector	PBA	Resto país	Total país
Agroindustria y alimentos	3	4	7
Energía y Minería	1	1	2
Sector Aeroespacial	-	2	2
Sector Biomédico	3	3	6
Industria Farmacéutica	6	6	12
Industria Metalúrgica y Siderúrgica	1	1	2
Industria Textil	1	1	2
Instrumentos y equipos, incluyendo dispositivos electrónicos	2	11	13
Medio ambiente	-	1	1
Industria Química (exc. productos farmacéuticos)	6	6	12
Industria del plástico	2	2	4
Total general	25	38	63

Fuente: elaboración propia a partir de datos propios, de Surtayeva [9] y la FAN [15]

⁷ La diferenciación y la identificación de los distintos eslabones en la cadena nanotecnológica han sido propuestas por la consultora Lux Research (2004) [13] y utilizada en varios trabajos para el análisis del sector

Desde el punto de vista geográfico (Ver **Mapa 2**), las empresas bonaerenses tienden a concentrarse en la Región Metropolitana donde se ubican 21 del total de 25 empresas. Se destaca el municipio de San Martín con 7 empresas, aunque otros 10 municipios poseen empresas de NT en el Nodo Metropolitano. Además existen empresas en el Nodo Sur y en el Nodo Centro, en particular en Bahía Blanca (1) y General Pueyrredón (3) respectivamente. Si se compara este mapa con la distribución territorial de los grupos e instituciones con líneas de I+D en NT (ver **Mapa 1**) se puede observar cierta asociación a escala territorial entre el desarrollo de emprendimientos en NT y las capacidades en CyT.

Mapa 2. Distribución regional de las empresas de nanotecnología en la provincia de Buenos Aires



Fuente: elaboración propia

5. Regulaciones de la actividad nanotecnológica en Argentina: instituciones, normas, ética y difusión respecto a las nanotecnologías

Dado el carácter de tecnología emergente y aún no madura en su aplicación, la NT requiere avanzar en la generación de marcos regulatorios y jurídicos que contemplen por un lado normas y estándares de calidad internacionales (propiedad intelectual, derecho internacional, ambiental, laboral, entre otras) pero que, al mismo tiempo, dichas normas y legislaciones consideren las especificidades de la estructura productiva nacional y provincial, y las mismas no sean un desincentivo para su promoción, desarrollo y efectiva absorción en el entramado productivo local.

Las regulaciones podrían abarcar distintas medidas que permitan dar trazabilidad al uso e incorporación de la NT en el entramado productivo provincial [16]: registros; etiquetado; guías y estándares técnicos, etc. Cuando una tecnología aún es reciente, como la NT, el desarrollo de métodos, guías y normas o estándares para caracterizar y etiquetar NMs en productos o procesos permite achicar las brechas de información entre los distintos

actores que intervienen en la cadena [2]. En este aspecto, Argentina participa en el Comité ISO/TC 229 como país observador a través del IRAM. A nivel internacional el marco normativo respecto al uso e implementación de las NTs lo establece la ISO (organización internacional para la estandarización), y los órganos encargados de regular los aspectos médicos, EMA (Agencia Europea de Medicamentos) en la Unión Europea y la FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos) en los Estados Unidos.

No obstante estos avances, es importante notar que tanto a nivel nacional como internacional la regulación internacional actual en materia de NTs es limitada y existen vacíos legales al respecto, siendo aún necesaria la generación de una normatividad apropiada que permita el desarrollo de esta tecnología [17].

6. Oportunidades y líneas de trabajo prospectivas entorno a la nanotecnología en la provincia de Buenos Aires: opinión de un especialista

En el presente apartado se presentan algunas líneas de trabajo prospectivas en materia de oportunidades de la NT para la provincia de Buenos Aires. A fin de profundizar al respecto, se con-

sultó al Ingeniero Daniel Lupi⁸ presidente de la FAN, referente y especialista en ingeniería y diseño de sistemas de control micro y nanoelectrónicos. A continuación se resumen algunas de sus intervenciones en el marco de la entrevista realizada.

i. La diferenciación entre los eslabones de la cadena de valor nanotecnológica es útil para identificar las oportunidades que operan en cada segmento.

A diferencia de la visión predominante en los últimos años, la cual apunta especialmente hacia el desarrollo de nanointermedios y nanoproductos finales, el entrevistado entiende que actualmente pueden encontrarse potencialidades en el área de materias primas nanotecnológicas.

Al respecto, sostiene la posibilidad de innovar en nanomateriales con propiedades mejoradas en base a nanoarcillas, material con el que la provincia de Buenos Aires cuenta con dotaciones para explotar. Por ejemplo, menciona el desarrollo de nuevos materiales en base a nanoarcillas que impactan en la mejora de la calidad de los polímeros. En particular el uso de nanoarcillas confiere a los materiales mayor resistencia mecánica, mayor resistencia al fuego y mayor ligereza. También se pueden emplear las nanoarcillas en procesos de remediación ambiental ya que poseen propiedades filtrantes. Asimismo, el entrevistado menciona las posibilidades que ofrecen las NP de plata y cobre como materias primas para potenciar la industria textil, por

ejemplo, en la fabricación de barbijos con propiedades viricidas y bactericidas.

ii. Debido a su transversalidad, la NT puede contribuir a generar nuevos desarrollos en diferentes sectores productivos ampliando las oportunidades de innovación y favoreciendo a complejizar la estructura productiva del país y de la Provincia.

Entre las diferentes áreas de aplicación de la NT, el entrevistado sostiene que las mayores potencialidades se encuentran en el área de la salud. Otra área relevante es el medio ambiente, aunque todavía las potencialidades en este sector se están explorando y no han logrado consolidarse. Asimismo, también destaca la industria electrónica. Los principales desarrollos a potenciar en este campo se vinculan con los sensores: microsensores y nanosensores. Otras aplicaciones con potencialidades son los nanoencapsulados para diversos productos como alimentos, productos de belleza y cosmética, y los usos en el packaging de alimentos.

iii. Entre las principales barreras al desarrollo del sector se encuentra la insuficiente escala del mercado nacional.

De acuerdo al entrevistado, la escala del mercado nacional es un limitante para el desarrollo de la NT. No obstante, no concibe esta barrera como infranqueable dado que esto está asociado,

⁸ Daniel Lupi es Ingeniero Electromecánico con orientación Electrónica por la Facultad de Ingeniería (UBA, 1975), actualmente preside la FAN y es docente-investigador en la Universidad Nacional de la Matanza en la que desarrolla sus actividades de investigación aplicada relacionada a sistemas de control. Es Master in Strategic Management of Innovation (ESST), por la Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (Suiza). Fue Director del Centro de Investigación en Electrónica e Informática del INTI, y también fue profesor en la UTN - Facultad Regional Buenos Aires y en la UNGS.

al menos en parte, a la tendencia a pensar exclusivamente en el mercado nacional, intentando replicar localmente productos e ideas concebidos en otros países. En ese marco, sugiere no acotarse a la escala de producción nacional y pensar en una escala regional incorporando la posibilidad de exportaciones. Asimismo, debe tenerse en cuenta el carácter incremental de la NT. Aunque desde su aparición a nivel global generó muchas expectativas, debe considerarse que no es una tecnología disruptiva, sino que ofrece oportunidades para innovaciones del tipo incremental. En ese sentido, la NT no crea nuevos productos, sino que modifica la materia de los productos existentes para otorgarles nuevas funcionalidades o propiedades que mejoren sus prestaciones. Si bien estos cambios pueden generar, en algunos casos, productos novedosos que se diferencian marcadamente de las versiones anteriores, en la mayoría de los casos son resultados incrementales.

iv. La compra pública puede actuar como un impulsor del desarrollo nanotecnológico en la Provincia.

Para que este instrumento sea efectivo para el fomento del sector debe priorizarse un enfoque donde el Estado financie e incentive el desarrollo tecnológico, desde su etapa más temprana, por parte de los grupos de investigación en estrecha asociación con el sector productivo. Para esto, los procesos de licitación en la compra pública no deben darse cuando el producto ya apare-

ció en el mercado (situación que además en muchos casos lleva a abastecerse por medio de importaciones) sino que deben licitarse las tareas de investigación y el desarrollo de propuestas de grupos de investigación.

v. Para promover las innovaciones en NT es necesario que el Estado, entre otras cuestiones, contribuya a aminorar los riesgos propios de todo proyecto de investigación científico- tecnológico

Como en todo sector innovativo, los desarrollos tecnológicos implican una alta cuota de riesgo e incertidumbre. Por lo tanto, para fomentar la inversión en NT, desde la etapa de I+D hasta el lanzamiento de productos al mercado, el Estado debe trabajar en aminorar estos riesgos afrontados por los sectores científico-tecnológico y productivo.

7. Comentarios finales

Desde su aparición, la NT ha despertado grandes esperanzas en torno a las posibilidades de generar nuevos productos y satisfacer diversas demandas productivas y sociales. Estas expectativas se fundamentan en que la nanotecnología, al trabajar directamente sobre la materia y cambiar sus propiedades físicas y químicas a escala nanométrica, presenta un carácter transversal con numerosas aplicaciones para

concebir bienes mejorados a partir de nuevas funcionalidades y cualidades. Argentina, como otros países, ha buscado impulsar su desarrollo durante las últimas décadas a partir de la implementación de programas nacionales de ciencia y tecnología que contemplaban explícitamente el desarrollo de la NT. En el marco de estas iniciativas el país, y la Provincia en particular, cuenta con capacidades de I+D y cierto grado de desarrollo en aplicaciones productivas. No obstante la existencia de estas capacidades, el sector de NT mantiene aún un carácter incipiente, fundamentalmente en la esfera productiva que se refleja en el bajo número de empresas que cuentan con productos desarrollados a partir del uso de NT. Cuando el foco se pone en la PBA, se constata que, más allá del carácter embrionario de la NT, la Provincia explica buena parte de las capacidades existentes en ciencia, tecnología e innovación productiva del país. En lo que respecta al sistema de ciencia y tecnología, la PBA cuenta con 50 Centros, Institutos o Laboratorios de Investigación que cubren líneas de investigación en distintas áreas temáticas: salud (mayoritariamente), medio ambiente, energía, alimentos y electrónica. Cuando se analiza la distribución geográfica de estos Centros se destacan algunas características. Por un lado, existe una notable asociación directa entre la ubicación de los Centros y la presencia de universidades nacionales. Por otra parte, hay una importante concentración de Centros en el área metropolitana, la cual contiene más del 80% de las instituciones

con I+D en NT (con preponderancia de las instituciones o grupos dependientes de la UNLP y UNSAM). El 20% restante se reparte entre la región centro, específicamente en las ciudades de Mar del Plata y Tandil, en asociación directa con la UNMDP y la UNICEN respectivamente, y en la región sur, específicamente la ciudad Bahía Blanca, en este caso sostenida por la presencia de la UNS. Asimismo, merece ser destacado que la CIC tiene presencia en 10 de los 50 Institutos, hecho que evidencia una vinculación directa de la Provincia en el desarrollo del sector.

En lo que respecta a las aplicaciones de NT en el sector productivo debe tenerse en cuenta que precisar el registro exacto de la cantidad de empresas es una tarea compleja por una serie de aspectos (entre ellos definir qué se considera un desarrollo de origen nanotecnológico), y por los distintos criterios que deben tomarse (por ejemplo si se consideran o no sólo empresas nacionales, si se exige o no que ya tengan el producto lanzado al mercado, o si se incluye o no el sector de nanoherramientas, entre otras cuestiones). Existen algunos registros elaborados en los últimos años que permiten aproximar el grado de desarrollo productivo de NT en Argentina que, debido a los aspectos mencionados y a las fuentes de información utilizadas en cada caso, no son uniformes en cuanto a la cantidad de empresas. Pero más allá de las divergencias, hay dos patrones comunes a resaltar. Por un

lado, que el número de empresas sigue siendo bajo a nivel nacional. Por otro lado, que la PBA explica un gran porcentaje de estas empresas. Tomando los registros más recientes, se pudo construir un padrón de 25 empresas con asiento en la PBA sobre un total de alrededor de 63 empresas nanotecnológicas del país.

Si bien las empresas provinciales de NT están presente en varios sectores, se destacan los siguientes por tener una alta presencia relativa frente al promedio nacional: industria alimenticia (12%), la industria farmacéutica (24%) y la industria química (24%), incluyendo productos de limpieza y cosmética.

Al igual que lo que ocurre con el SCTP, las empresas bonaerenses tienden a concentrarse en la Región Metropolitana donde se ubican 21 del total de 25 empresas. Si bien son varios los Partidos de dicha Región donde residen empresas nanotecnológicas, se destaca el municipio de San Martín con 7 empresas. Además existen empresas en el Nodo Sur y en el Nodo Centro, en particular en Bahía Blanca y Mar del Plata. La distribución territorial de las empresas replica la de los Centros de I+D, marcando la fuerte base tecnológica de los emprendimientos y la necesidad de articulación entre el sector productivo y el Sistema de CyT a escala territorial.

Por último es importante remarcar que, aún cuando se reco-

noce que la NT es un sector incipiente en términos de la cantidad de instituciones y empresas con desarrollos y productos nanotecnológicos, la Provincia contiene buena parte de las capacidades tecnológicas y productivas en NT existentes en el país. Por lo tanto, existen bases de conocimiento para impulsar y avanzar en el desarrollo de esta tecnología en el territorio provincial en dirección a consolidar su desarrollo. Desde un punto de vista prospectivo pueden identificarse algunas áreas y oportunidades para avanzar:

- Para el desarrollo de la NT es necesario explorar las distintas potencialidades que se abren en todos los eslabones de la cadena de valor nanotecnología. Además de los productos finales nanoenriquecidos, existen posibilidades de avanzar en nanointermediarios y nanomateriales. Un punto para destacar es el referido a las materias primas nanotecnológicas que se pueden explotar en la Provincia y la incorporación de nanotecnologías a los procesos industriales. Un ejemplo concreto de ello son las nanoarcillas que se utilizan para la innovación en materiales con mejores propiedades y que se pueden encontrar en la provincia de Buenos Aires.

- La electrónica es otra área con oportunidades de desarrollo. En este sentido, el desarrollo de baterías de litio surge como un aspecto a considerar para el avance de la nanotecnología en la provincia de Buenos Aires. Esto se debe por un lado

al potencial que brinda el uso de estructuras nanométricas (siendo lo que permite aumentar el desempeño de las baterías), y por otro lado, a que la provincia cuenta con varios sectores clave en su estructura productiva (automotriz y otros equipos de transporte, entre otros) que son demandantes de baterías de litio y que pueden contribuir a su impulso.

- La incorporación de la NT en el área de la salud, se destaca como un punto relevante a profundizar, en especial, aunque no exclusivamente, en la industria farmacéutica. El país y la Provincia cuentan con una industria farmacéutica consolidada, situación que facilita las condiciones para avanzar en la incorporación de NT en el sector. Como por ejemplo, entre otras líneas, se pueden promover y aprovechar oportunidades abiertas en el rubro de nanoencapsulados de diferentes principios activos, en particular los desarrollos orientados a combatir el cáncer. Como así también contribuir al impulso de y la optimización de dispositivos que empleen la NT para el diagnóstico de enfermedades.

8. Glosario de abreviaturas

- **ANPCyT:** Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.
- **CABA:** Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- **CABNN:** Centro Argentino-Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología.
- **CAC:** Centro Atómico Constituyentes.
- **CIC:** Comisión de Investigaciones Científicas.
- **CIFICEN:** Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la provincia de Buenos Aires.
- **CINDEFI:** Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales.
- **CNEA:** Comisión Nacional de Energía Atómica.
- **CONICET:** Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- **CyT:** Científico y Tecnológico.
- **ECyT:** Escuela de Ciencia y Tecnología.
- **EMA:** Agencia Europea de Medicamentos
- **EPO:** European Patent Office.
- **FAN:** Fundación Argentina de Nanotecnología.
- **FDA:** Administración de Medicamentos y Alimentos
- **FONARSEC:** Fondos Argentinos Sectoriales.
- **FONCYT:** Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica.
- **I+D:** Investigación y Desarrollo.
- **IFAS:** Instituto de Física de Arroyo Seco.
- **INIFTA:** Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas.
- **INS:** Instituto de Nanosistemas.
- **INTEMA:** Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales.
- **INTA:** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- **INTI:** Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- **IRAM:** Instituto Argentino de Normalización y Certificación
- **ISO:** Organización Internacional para la estandarización
- **MINCyT:** Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- **NC:** Nanociencia.
- **NMs:** Nanomateriales.
- **NP:** Nanopartícula.
- **NS:** Nanosistemas.
- **NT:** Nanotecnología.
- **PAE:** Programa de Áreas Estratégicas.
- **PBA:** Provincia de Buenos Aires.
- **PLADEMA:** Laboratorio de Plasmas Densos Magnetizados.
- **PLAPIMU-LASEISIC:** Planta Piloto Multipropósito-Laboratorio de Servicios a la Industria y al Sistema Científico.
- **PLAPIQUI:** Planta Piloto de Química.
- **PRIS:** Proyectos Regionales Integrados.
- **PyMEs:** Pequeñas y Medianas Empresas.
- **SECyT:** Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- **SCTP:** Sistema Científico y Tecnológico Provincial.
- **SCyT:** Sistema Científico y Tecnológico.
- **TPG:** Tecnologías de Propósito General.
- **Tx:** Telecomunicaciones.
- **UBA:** Universidad Nacional de Buenos Aires.
- **UNAHUR:** Universidad Nacional de Hurlingham.
- **UNAJ:** Universidad Nacional Arturo Jauretche.
- **UNC:** Universidad Nacional de Córdoba.
- **UNICEN:** Universidad Nacional del Centro.
- **UNLAM:** Universidad Nacional de La Matanza.
- **UNLP:** Universidad Nacional de La Plata.
- **UNLU:** Universidad Nacional de Luján.
- **UNLZ:** Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- **UNMDP:** Universidad Nacional de Mar del Plata.
- **UNO:** Universidad Nacional del Oeste.
- **UNQ:** Universidad Nacional de Quilmes.
- **UNS:** Universidad Nacional del Sur.
- **UNSAM:** Universidad Nacional de San Martín.
- **UTN:** Universidad Tecnológica Nacional.
- **Y-TEC:** Empresa de tecnología creada por YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales) y CONICET.
- **3iA:** Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental.

8. Referencias bibliográficas

- [1] <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>
- [2] Galo Soler Illia (2012). Libro: "Nanotecnología. El desafío del siglo XXI". Colección Ciencia joven Nro 38. Buenos Aires: Editorial EUDEBA.
- [3] Surtayeva y Hurtado (2019). Artículo: "Cambio tecnológico y capacidades políticas e institucionales: La trayectoria de la Fundación Argentina de Nanotecnología". Revista Estado y Políticas Públicas N° 12. ISSN 2310-550X, pp. 97-122.
- [4] Andrini, L. y Figueroa, S. (2008). Artículo: "Governmental encouragement of nanosciences and nanotechnologies in Argentina". Revista: Nanotechnology in Latin America (pp. 27-39). Berlín.
- [5] Programa Áreas de Vacancias (PAV). Programa de Modernización Tecnológica II. Préstamo BID 1201/OC-AR. Bases Convocatoria PAV 2003. http://www.agencia.mincyt.gob.ar/upload/pav2003_bases.pdf
- [6] Vila Seoane (2011). Tesis de maestría: "Nanotecnología: su desarrollo en Argentina, sus características y tendencias a nivel mundial". Instituto de Desarrollo Económico y Social. Grupo Redes. UNGS.
- [7] Decreto 380/2005. Decreto 380, Boletín Oficial 30.643 del 29 de abril de 2005 con las firmas del presidente Néstor Kirchner y los ministros Alberto Fernández, Roberto Lavagna y Daniel Filmus. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-380-2005-105874>
- [8] MINCyT (2012). Argentina Innovadora 2020. Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Lineamientos Estratégicos 2012-2015. <http://www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/022/0000022576.pdf>
- [9] Surtayeva (2019). Tesis de doctorado: "Cambio tecnológico y capacidades políticas, institucionales y organizacionales: análisis de la evolución de la nanotecnología en la Argentina (2003-2015)". UNQ.
- [10] Barrere y Matas(2013). Indicadores de Micro y Nanotecnologías en Argentina 2012. Unión Europea.
- [11] ORBITA. Documento de Trabajo N° 1 (2020). "Bioteconología en Provincia de Buenos Aires: Capacidades del Sistema Científico y Tecnológico, Aportes al Desarrollo Socio-Productivo y Desafíos Futuros"
- [12] López y Pascuini (2019). Incubación de empresas nanotecnológicas en la Argentina: una tipología de casos de innovación. Fundación CECE: Buenos Aires.
- [13] Lux Research Inc. (2004). "Sizing Nanotechnology's Value Chain", Statement of Findings: NY.
- [14] Foladori y col. (2017). Artículo: Sectorial analysis of nanotechnology companies in Argentina. Journal of Nanoparticle Research, 19(6), 186.
- [15] Informe: Quién es quién en Nanotecnología en Argentina. Edición II. (2012). Fundación de Nanotecnología (FAN). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Buenos Aires, Argentina.
- [16] Tanaka (2019) Review. Mundo Nano. Regulación blanda, normas técnicas y armonización regulatoria internacional, para la nanotecnología. <http://dx.doi.org/10.22201/cei-ich.24485691e.2020.24.69621> | 13(24), 1e-27e, enero-junio 2020.
- [17] Laura Elena Vidal Correa (2016). Artículo: "Análisis comparativo de la regulación en nanotecnología en estados Unidos y la Unión Europea." Boletín Mexicano de Derecho Comparado Volume 49, Issue 147, 2016, Pages 277-301.