

# Creatividad, procesos formativos y desarrollos de investigación en la nanoescala

Un abordaje antropológico

Viviana Lebedinsky

Colección Ciencia, innovación y desarrollo

EDICIONES **UNGS**



Universidad  
Nacional de  
General  
Sarmiento



**Creatividad, procesos formativos y desarrollos  
de investigación en la nanoescala**

Un abordaje antropológico



**Viviana Lebedinsky**

**Creatividad, procesos formativos  
y desarrollos de investigación  
en la nanoescala**

Un abordaje antropológico

EDICIONES **UNGS**



Universidad  
Nacional de  
General  
Sarmiento

---

Lebedinsky, Viviana

Creatividad, procesos formativos y desarrollos en investigación en la nanoescala : un abordaje antropológico / Viviana Lebedinsky. - 1a ed. - Los Polvorines : Universidad Nacional de General Sarmiento, 2018.

Libro digital, PDF - (Ciencia, innovación y desarrollo ; 13)

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-630-369-9

1. Nanotecnología. 2. Nanociencia. I. Título.

CDD 620.5

---

## EDICIONES **UNGS**

© Universidad Nacional de General Sarmiento, 2018

J. M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines (B1613GSX)

Prov. de Buenos Aires, Argentina

Tel.: (54 11) 4469-7507

ediciones@ungs.edu.ar

www.ungs.edu.ar/ediciones

Diseño gráfico de colección: Franco Perticaro

Diagramación: Eleonora Silva

Corrección: Gabriela Ventureira

Hecho el depósito que marca la Ley 11723

Prohibida su reproducción total o parcial

Derechos reservados



Libro  
Universitario  
Argentino

# Índice

Prefacio .....	9
Agradecimientos .....	13

## Parte I

### Nanociencia y nanotecnología

#### La creación de un nuevo espacio conceptual

Capítulo I. Introducción.....	17
Capítulo II. Los procesos formativos en ciencia y el desarrollo de investigaciones actuales en nanociencia y nanotecnología .....	31

## Parte II

### Investigaciones en la frontera del conocimiento

#### y procesos formativos

Prefacio .....	51
Capítulo III. Las especificidades del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas, en el contexto del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN) .....	53
Capítulo IV. Motivaciones y esquemas cognitivos en la frontera del conocimiento. Un estudio acerca de los nanomateriales con aplicaciones biomédicas .....	61
Capítulo V. Aportes antropológicos, filosóficos e históricos en el estudio de la creatividad y la innovación: el caso de la nanociencia y la nanotecnología.....	87

## Parte III

### Aplicaciones y conclusiones. Formas creativas de interacción con la materia

Prefacio .....	109
----------------	-----

Capítulo VI. Superficies que atrapan. Aportes en el estudio del concepto de container .....	111
Capítulo VII. Escribir en la nanoescala .....	121
Capítulo VIII. ¿Cómo se crea a un investigador?.....	131
Bibliografía .....	151
Lista de figuras .....	155

# Prefacio

Este libro se origina en una investigación propuesta en el contexto de un Proyecto de Investigación Plurianual (PIP) (2009-2011), del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). El estudio del caso de la nanociencia y la nanotecnología fue el elegido para la realización de dicha investigación.

En el contexto del proyecto precedentemente aludido, el objetivo de la investigación a desarrollar a partir del año 2011 era el de aportar nuevos elementos de análisis que permitieran profundizar la reflexión antropológica de los temas en estudio, tales como los referidos al conocimiento tácito y al codificado, a la “creatividad”, la innovación y los procesos de aprendizaje, con énfasis en el examen de los conceptos de habilidad (*skill*), técnica, tecnología, conocimiento científico, conocimiento técnico y conocimiento tecnológico.

Siendo los precedentemente formulados algunos de los temas de reflexión más importantes en las elaboraciones que se presentan, a continuación examinaremos brevemente cómo se desarrolló esta investigación.

## La investigación en sus orígenes

En el año 2011, en el comienzo de la investigación en la que el presente libro se basa, me reuní con Eduardo Dvorkin para intercambiar ideas acerca de la realización del trabajo. Doctor en Ingeniería Mecánica (Massachusetts Institute of Technology, MIT), el diálogo que mantuvimos estaba focalizado, principalmente, en la relevancia de las habilidades (*skills*), en la creación y uso de representaciones cognitivas expertas y en la adquisición y desarrollo de esas representaciones –por parte de los científicos que realizan actividades de investigación en nanociencia y nanotecnología–, uno de los aspectos importantes a examinar en la investigación.

El interés en profundizar el examen en dichas habilidades, focalizando la atención en el caso de los científicos de diferentes disciplinas que convergen en la exploración de la materia en la escala nanométrica (una millonésima parte del milímetro), con énfasis en el caso de los químicos, se basaba en la relevancia atribuida al desarrollo de las habilida-

des aludidas, en el estudio de los mundos inaccesibles a simple vista, de átomos y moléculas.

Las habilidades en la creación y uso de representaciones expertas, específicamente aquellas centradas en el caso de los fenómenos subyacentes y en los procesos dinámicos en el tiempo que los científicos en foco consideran en sus respectivas investigaciones, son algunos de los tópicos que examinamos en dicha reunión. A los temas aludidos se añaden los problemas que la creación y uso de representaciones cognitivas expertas plantean al aprendizaje.

La consulta acerca de las diferentes escalas en el estudio de los mundos macroscópicos, microscópicos y nanoscópicos y acerca de las leyes que rigen el comportamiento de los objetos y de los fenómenos en cada una de dichas escalas (las leyes de la mecánica clásica en el caso de los mundos macroscópicos y microscópicos y las de la mecánica cuántica en el de los mundos nanoscópicos) fue otro importante tema de reflexión durante la reunión.

Teniendo en cuenta su especialidad en los modelos de comportamiento multiescala, es decir, aquellos modelos ideados en base a la combinación de diferentes escalas, y considerando las particularidades que presenta el desarrollo de las habilidades en la creación y uso de representaciones cognitivas expertas a nivel nanoscópico, la sugerencia del doctor Eduardo Dvorkin fue que consultara al doctor en Físicoquímica (University of Cambridge, UK) Federico Williams.

Luego de nombrarme a algunos de los referentes considerados entre los más importantes del área de nanociencia en la Argentina, Federico Williams me recomendó consultar a dichos investigadores, quienes –añadió– “además de ser excelentes científicos son muy buenas personas”.

Una respuesta más que alentadora para el comienzo de una investigación.

La etapa de lectura y reflexión bibliográfica acerca de los problemas de aprendizaje que la nanociencia plantea a nivel más general, se continuaba con otra etapa de lectura, conceptualización y elaboración, focalizada en los artículos más relevantes de cada uno de los científicos considerados.

Al gran nivel de complejidad, especificidad y profundidad de los artículos acerca de los cuales había reflexionado para la preparación y elaboración de las entrevistas con cada uno de los referentes aludidos, se añadía la abundancia de material que, a través del diálogo mantenido con cada uno de ellos –en entrevistas estructuradas, semiestructuradas

y en profundidad– y de la observación exploratoria en los laboratorios respectivos, se generaba en el transcurso de la investigación.

Es por dicha razón que este libro se basa en solo una parte de la investigación realizada, con una salvedad: parte de la investigación que por la profundidad que el examen del caso requiere no ha podido ser incluida en este libro –siendo, por ello, objeto de elaboraciones futuras– ha sido considerada en las reflexiones que se presentan.

Y esto es así porque los científicos consultados no solo se sitúan entre los referentes más importantes del país en el área en estudio por las investigaciones que realizan y por los procesos formativos a cuyo desarrollo contribuyen, sino también porque, según hemos detectado en el transcurso de la investigación, los científicos en foco desarrollan sus actividades en un campo de relaciones cuyo estudio consideramos de gran relevancia profundizar.

Nuevos hallazgos fueron surgiendo en el transcurso de la investigación, tales como, por ejemplo, los referidos al concepto de *insight*. Qué especificidades presentan los *insights* examinados en el libro y qué nos enseñan respecto de la creatividad son algunos de los aportes que, en base a la reflexión acerca de la investigación realizada, se presentan a continuación.



# Agradecimientos

Son numerosas las personas a quienes deseo expresar mi agradecimiento en este libro.

A Eduardo Dvorkin y a Federico Williams, a quienes aprecio y respeto mucho, por las respuestas expertas que ambos formularon ante la consulta que les realicé en el comienzo de la investigación. Esas respuestas me condujeron a algunos de los referentes más importantes del área en estudio, haciendo posible un diálogo fructífero que contribuyó a enriquecer las elaboraciones que se presentan.

A los científicos en nanociencia y nanotecnología consultados en el transcurso de este estudio, por la generosidad intelectual y la disponibilidad con la que me invitaron a recorrer el asombroso mundo de la nanociencia y la nanotecnología.

Por la complejidad y abundancia del material obtenido, solo una parte de la investigación realizada ha podido incluirse en este libro. Quiero agradecer muy especialmente a Roberto Salvarezza y a Omar Azzaroni por su contribución y por haberme permitido ilustrar, a través de imágenes y diagramas, algunos de los desarrollos efectuados.

A Gabriel Yoguel, por su apoyo para que realizara la investigación, a partir de cuyas elaboraciones y reflexiones se origina este libro.

Una versión previa del manuscrito del presente libro fue presentada a referato. Este constó de dos etapas. Aun cuando algunas de las apreciaciones formuladas por los evaluadores en la primera etapa, en 2016, puedan ser objeto de debate, sus comentarios y sugerencias me permitieron mejorar las elaboraciones y reflexiones acerca de los hallazgos realizados en el transcurso de la investigación y enfatizar las especificidades de un caso que presenta elementos de excepción para profundizar el estudio de la creatividad y los procesos formativos.

Un agradecimiento muy especial a aquellos evaluadores que en la segunda etapa, en 2017, contribuyeron con su elevada valoración del libro a precisar, aún más, la versión que se presenta y a la Universidad Nacional de General Sarmiento por posibilitar su publicación.

Los capítulos han sido objeto de elaboraciones y reelaboraciones.

Los capítulos II y IV han sido mejorados gracias a las sugerencias, correcciones y agregados realizados por el doctor Roberto Salvarezza en el año 2015.

Versiones preliminares de algunos de los capítulos que componen este libro fueron presentadas en ponencias en diferentes congresos.

El capítulo V se basa en una versión presentada en el III Congreso Latinoamericano de Historia Económica y en las XXIII Jornadas de Historia Económica, en San Carlos de Bariloche, en octubre de 2012. Los organizadores y participantes de la mesa “Historia de las innovaciones y las tecnologías” contribuyeron, con sus comentarios, a la mejora del capítulo.

El capítulo VI fue elaborado en base a una versión presentada en MAGic2015: *Anthropology and Global Health: Interrogating Theory, Policy and Practice*, Universidad de Sussex, en septiembre de 2015. Organizada por EASA Medical Anthropology Network y RAI Medical Anthropology Committee, MAGic2015 es la primera conferencia internacional que se focaliza, exclusivamente, en antropología y salud global.

A los organizadores del panel “Containers and the Material Life of Global Health” y a sus participantes, mi agradecimiento por los aportes, comentarios, sugerencias e interrogantes planteados.

La elaboración del capítulo VII se basa en una versión presentada en el simposio *Beyond Perception*, Universidad de Aberdeen, en septiembre de 2015.

Quiero agradecer a los organizadores de la sesión “Drawing, Writing and Anthropology” (Postgrad and Early Career Session) por haberme permitido participar en el simposio, y muy especialmente a Tim Ingold por su calidez y por haberme posibilitado compartir esa increíble experiencia antropológica acerca de una obra que es fuente de inspiración.

**Parte I**  
**Nanociencia y nanotecnología**  
**La creación de un nuevo espacio**  
**conceptual**



# Capítulo I. Introducción

## Objetivos del libro

El objetivo del libro que se presenta es el de aportar elementos de análisis en el estudio de la creatividad, en base a una investigación que se realiza desde 2011 entre científicos que desarrollan sus actividades en nanociencia y nanotecnología.

En forma complementaria, la idea es que los elementos mencionados sean considerados, a su vez, en el examen de los procesos formativos en nanociencia, en alusión a las disciplinas científicas que convergen en la exploración de la materia en la nanoescala (una millonésima parte del milímetro).

La incidencia de los procesos formativos en el desarrollo de la creatividad es otro de los aspectos acerca de los cuales se reflexiona en el libro.

Haber elegido focalizar la atención en el estudio de la creatividad es por demás pertinente si consideramos su relevancia en la resolución de problemas, en la generación de nuevas ideas y conceptos en los casos de descubrimientos científicos e invención tecnológica y en el desarrollo de las investigaciones que se efectúan en la frontera del conocimiento. Dichas investigaciones están estrechamente relacionadas con potenciales contribuciones en ciencia básica y en la realización de aplicaciones tecnológicas.

El caso elegido para profundizar el estudio de la creatividad está estrechamente relacionado con el examen del nuevo espacio conceptual que el diseño del microscopio de efecto túnel, el *scanning tunneling microscope* (STM por su sigla en inglés) contribuyó a crear.

Las reflexiones acerca del nuevo mundo de átomos y moléculas en la escala nanométrica que, una vez diseñado y construido, el STM permitió descubrir, condujeron a completar y profundizar los objetivos precedentemente planteados a través de la formulación de numerosos interrogantes, algunos de los cuales se presentan brevemente a continuación.

¿Cómo llegan los científicos a formular las interpretaciones expertas y, más aún, aquello que proponemos denominar interpretaciones creativas expertas, que contribuyen a explicar los hallazgos que esos

científicos realizan en las investigaciones que efectúan en la frontera del conocimiento?

¿Cómo inciden los procesos formativos en el desarrollo de la creatividad y, más específicamente, cuál es su contribución en los diseños creativos? ¿Cuáles son las formas creativas de interacción con la materia que el microscopio de efecto túnel posibilita realizar? ¿Cómo se forma un investigador?

La formulación de los objetivos e interrogantes del libro, así planteados, está también estrechamente relacionada con el interés por profundizar el concepto de representación en química, que la bibliografía específica en nanociencia y nanotecnología considera de gran relevancia.

En efecto, al no estar disponibles a la percepción directa, las propiedades moleculares y procesos requieren, por parte de los químicos (entre los científicos que convergen en la exploración de la materia en la nanoescala enfatizados en esta investigación), la formulación de representaciones o sistemas representacionales que puedan mediar entre aquello que dichos científicos no pueden visualizar y algo que puedan llegar a ver.

Las representaciones pueden ser generadas por los científicos a través de instrumentos tales como el microscopio de efecto túnel, un buen ejemplo para reflexionar acerca del concepto de representación, considerando la posibilidad de dicho instrumento de tornar visibles mundos hasta ese entonces invisibles a simple vista en la escala nanométrica.

Cómo fue ideado el microscopio de efecto túnel es otro de los aspectos importantes a profundizar en el libro. Baste señalar en esta introducción que, una vez diseñado y construido, la imagen que dicho microscopio permite obtener, junto con la abundante información provista por una multiplicidad de otras técnicas, plantea a los científicos y expertos de diferentes disciplinas y enfoques un nuevo problema: el de la interpretación.

Las interpretaciones expertas y, más específicamente, los elementos a considerar en la formulación de esas interpretaciones son, por dicha razón, objeto de reflexión en este trabajo.

Uno de los aportes del libro en el estudio de dichas interpretaciones expertas se focaliza en el examen de las “interpretaciones específicas de una imagen” (Boden, 2004), cuya importancia consiste en su contribución a la generación o surgimiento de *insights*. Al respecto cabe señalar que el concepto de *insight* es uno de los elementos a profundizar a lo largo del libro.

La importancia de centrar la atención en el examen de las interpretaciones expertas está estrechamente relacionada con los desafíos que

los científicos tienen que enfrentar al intentar resolver los problemas en estudio, en el contexto de los abordajes multitécnicos en los cuales efectúan sus investigaciones.

El examen de la contribución de las interpretaciones específicas de una imagen aporta importantes elementos de análisis en las elaboraciones acerca de la creatividad.

Las reflexiones respecto del concepto de esquema cognitivo como procesador (D'Andrade, 2000 [1995]) constituyen otro de los aportes del libro respecto del estudio de la creación de interpretaciones expertas.

Conceptualizados como representaciones cognitivas, los esquemas cognitivos como procesadores son considerados, en el libro, en estrecha relación con las motivaciones y en forma conjunta con el desarrollo de habilidades cognitivas, de la *expertise* en la interpretación y de aquello que proponemos denominar interpretaciones creativas expertas. Todos estos elementos son componentes importantes a considerar en el estudio de la creatividad.

La creatividad en el diseño de los sistemas, con énfasis en el caso de los sistemas de autoensamblado molecular, es otro de los aspectos a profundizar en el libro. Dicho aspecto es considerado en estrecha relación con la reflexión acerca de la incidencia de los procesos de aprendizaje en entramados formativos altamente especializados.

En base a las elaboraciones de Tim Ingold en sus estudios acerca de la creatividad (Hallam e Ingold, 2007), las reflexiones en torno a dicho concepto se focalizan en las especificidades de la creación de "lo nuevo" en ciencia, por combinación de incrementos cualitativos en los conocimientos adquiridos a través de procesos de aprendizaje, en aquello que hemos denominado entramados formativos altamente especializados, con énfasis en el examen de los diseños de sistemas de autoensamblado molecular.

Conceptualizada como un proceso de crecimiento, de cambio, como un proceso fluido de devenir a la existencia (Hallam e Ingold, 2007), la creatividad es examinada focalizando el estudio en el movimiento hacia la frontera del conocimiento.

El *insight* acerca del cual se reflexiona, en este caso, está estrechamente relacionado con el examen de los procesos de aprendizaje, con énfasis en las adquisiciones y desarrollos de teorías, conceptualizaciones, habilidades, prácticas, *expertises* y desarrollos de investigación, considerados en las distintas etapas del proceso formativo en foco.

El STM es un microscopio que no solo permite “ver” sino también interactuar con la materia, razón por la cual algunas de las formas creativas de interacción son examinadas en este libro.

Al respecto, la creatividad es explorada, por un lado, en relación con el diseño de la forma de un dispositivo ideado para investigar la materia viviente en foco, a través de su interacción con el STM.

La forma del dispositivo aludido es la de una superficie plana que, al transformarse en acanalada, repentinamente atrapa. A través de la interacción del STM (o de alguna de sus variantes) con la materia, el dispositivo así concebido permite aportar nuevos conocimientos en ciencia básica, conocimientos que amplían y profundizan el espacio conceptual que el STM contribuyó a crear.

Junto con el estudio de las combinaciones en la creación de “lo nuevo” en ciencia, la idea de transformación, considerada en relación con la formulación de ideas creativas (Boden, 2004), es un nuevo aporte del libro en los estudios acerca de la creatividad.

Se exploran algunas de las habilidades que los investigadores desarrollan respecto de la idea de diseño como anticipación o “imaginación del futuro” (Ingold, 2012), específicamente relacionadas con el descubrimiento científico. “Ver en el futuro” (Ingold, 2012), de especial relevancia en las investigaciones que se realizan en la frontera del conocimiento, es una de las habilidades cuyo desarrollo se debe considerar en los procesos de crecimiento, de cambio, de proceso fluido de devenir a la existencia (Hallam e Ingold, 2007), como los considerados en entramados formativos altamente especializados.

En el estudio de las formas de interacción del STM con la materia, la creatividad es explorada, también, en relación con la idea de transformación de la superficie en estudio. La posibilidad de modificar una superficie agregando nuevas propiedades es objeto de especial atención.

En el caso de la escritura en la nanoescala a través de la interacción de la superficie en foco, con el STM la transformación aludida es conceptualizada a partir de una idea de combinación, en este caso, la de las acepciones aditiva y reductiva de la línea considerada como trazo (Ingold, 2007).

El concepto de analogía es otro elemento de gran relevancia a considerar en los estudios acerca de la creatividad. Al respecto, dado que en la escritura en la nanoescala las habilidades perceptivas –visual y táctil– están mediadas, la reflexión se focaliza en aquello que proponemos denominar analogías perceptivas.

El estudio acerca de la escritura en la nanoescala y, más específicamente, acerca de la formulación de la analogía perceptiva, arrojaría un *insight* que permitiría detectar una nueva etapa disruptiva respecto de la focalizada por Tim Ingold en *Lines. A Brief History* (2007), concerniente a la transición de los manuscritos medievales a los textos impresos modernos, en las reflexiones del autor acerca de la historia de la escritura en el mundo occidental. Teniendo en consideración que el sentido de escritura que Tim Ingold enfatiza en *Lines* (2007) está estrechamente relacionado con los trazos visibles efectuados por los hábiles movimientos de la mano en el proceso de dar forma a las líneas en una superficie considerada, la idea formulada por Tim Ingold respecto de la transición aludida es que con el surgimiento de la impresión tipográfica se produjo una disrupción. Esta consistió en la interrupción de la relación más inmediata entre el gesto manual y la inscripción gráfica respecto de la forma creada.

Los referentes consultados en esta investigación son algunos de los científicos más importantes en el área de nanociencia y nanotecnología en la Argentina. Dichos referentes pertenecen al Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la ciudad de La Plata y, más específicamente, a dos de los cuatro grupos especializados en nanociencia y nanotecnología –entre los sectores que componen dicho instituto–: el denominado “Estudio de sistemas moleculares y materiales nano/microestructurados”, coordinado por el doctor Roberto Salvarezza, y el Laboratorio de Materia Blanda, coordinado por el doctor Omar Azzaroni.

Uno de los aspectos a considerar respecto de la relevancia de haber elegido focalizar la investigación en el INIFTA para profundizar el estudio acerca de la creatividad, está estrechamente relacionado con las reflexiones acerca de las ideas de Boden (2004), referidas a la importancia del conocimiento experto dominio-específico en el desarrollo de la creatividad. La idea según la cual la creatividad requiere de conocimiento experto se complementa con otra de las formulaciones de la autora cuando señala que cuanto más imponente es la creatividad, más conocimiento experto estaría comprendido, de modo característico, en dichos desarrollos creativos (Boden, 2004).

En las elaboraciones de la autora, la noción de *expertise* también fue enfatizada por Michael Polanyi, quien afirmaba que todas las habilidades y todos los “*insights* intuitivos” se basan en el conocimiento tácito (*tacit knowledge*) (Boden, 2004).

La idea es que aun cuando una gran cantidad de conocimiento sea explicitado o pueda ser explicitado, algún conocimiento –que podríamos considerar no articulado– siempre permanece como remanente y nuevos *insights* que surgen de dicho conocimiento tácito no pueden ser captados de forma inmediata por el pensamiento consciente (Boden, 2004).

La importancia de la *expertise* acerca de la cual se reflexiona, entonces, está relacionada con el potencial surgimiento de *insights*, uno de los elementos de gran relevancia a considerar en los estudios de la creatividad.

El caso en el que se focaliza la investigación presenta elementos de excepción para reflexionar acerca de las formulaciones precedentes, por varias razones.

Considerando la importancia atribuida por el INIFTA a la adquisición y desarrollo de *expertises*, la elaboración que se presenta permite la exploración y profundización de las *expertises* adquiridas y desarrolladas entre los referentes del INIFTA en foco en este libro.

La relevancia del caso que se presenta consiste en que aporta, también, elementos de excepción en el examen de las especificidades de la relación dinámica que el experto y el “novicio” o “novato” establecen en el proceso formativo. Dichos elementos contribuyen así a reflexionar acerca de cómo se concibe la formación de los investigadores que desarrollan sus actividades en nanociencia y nanotecnología y a profundizar el estudio de la incidencia de los procesos formativos en el desarrollo de la creatividad, así como el estudio de su aporte en las investigaciones que los científicos realizan.

En el análisis de la relación dinámica que el experto y el “novicio” o “novato” establecen en el proceso formativo, que es considerada clave en la creación de conocimiento, también se exploran las concepciones del experto acerca de la creación de nuevas *expertises* por parte del “novicio” o “novato” en la etapa doctoral. A través del aprendizaje de técnicas de punta que contribuyen al incremento del conocimiento y a agregar valor a la investigación, la adquisición de dichas habilidades y *expertises* permite –en la concepción del experto– interactuar con otros grupos de investigación en el exterior, grupos con los cuales el “novicio” o “novato” en la etapa posdoctoral continúa relacionándose y profundizando su investigación.

Al respecto, el trabajo conjunto que permite la formación en dichos grupos de investigación contribuye a continuar consolidando y profundizando el desarrollo de la nanociencia y nanotecnología en la Argentina y en el exterior.

En el contexto de una investigación más amplia en desarrollo, el estudio focalizado en el INIFTA también permite explorar y profundizar las especificidades que dicho instituto presenta para la complementariedad y la colaboración con otros grupos en el marco del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN), con énfasis en algunos de sus integrantes, en Buenos Aires, Bariloche y La Plata.

La alusión a los integrantes del CINN en Buenos Aires, Bariloche y La Plata, en cuyo contexto se profundiza el examen entre los referentes focalizados en el INIFTA, permite situar temporalmente la investigación que se desarrolla a partir del año 2011 en aquello que hemos conceptualizado como una tercera etapa de la nanociencia y la nanotecnología en la Argentina, etapa a la que hemos denominado de consolidación.

A partir del estudio del caso elegido, la periodización propuesta en forma de hipótesis aporta elementos de análisis en el examen de la conformación de la nanociencia y la nanotecnología en el país. Esta es considerada en estrecha relación con los desarrollos que se van produciendo en dicho espacio conceptual a nivel internacional.

El caso examinado también presenta características de excepción para profundizar algunas formulaciones relacionadas con el examen de los objetivos y de los procesos formativos del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN).

Compuesto por algunos integrantes en Buenos Aires, Bariloche y La Plata, la conformación del CINN desde el año 2008 caracterizaría la tercera etapa de consolidación de la nanociencia y nanotecnología en el país, previamente aludida.

El estudio acerca de cómo fueron surgiendo las ideas acerca de la experiencia formativa de los referentes en foco y el examen de su contribución en el desarrollo de las respectivas concepciones acerca de los propios procesos formativos de cada uno de los referentes adquieren gran relevancia. Esto es así no solo para el estudio de esta etapa de consolidación, sino también por la contribución que esas experiencias y conceptualizaciones pueden aportar en la profundización de dicha etapa.

Como integrantes del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología, los científicos consultados pueden aportar ideas a la formulación de objetivos y procesos formativos de dicho centro, que es considerado relevante en la “articulación de las capacidades de excelencia existentes en el país” y en la creación de capacidades científicas. Es importante hacer notar que el CINN es un centro de excelencia que pone el énfasis en “la interdisciplinariedad”, en la “generación de conocimien-

tos básicos” y en la “formación de recursos humanos” que contribuyan al desarrollo de la nanotecnología.

La investigación realizada en el INIFTA aportó nuevos elementos de análisis para profundizar el estudio en algunos aspectos de los temas que habíamos propuesto examinar. Nuevos hallazgos fueron surgiendo en el transcurso de la investigación como, por ejemplo, los referidos a los conceptos de *insight imaginativo* y de *insight crucial*, acerca de cuya relevancia se reflexiona en el estudio de la creatividad.

El examen de los procesos cognitivos como, por ejemplo, los relacionados con el potencial surgimiento de los *insights* cruciales, desarrollados a partir de procesos de aprendizaje en entramados formativos altamente especializados en nanociencia y nanotecnología, examen cuya importancia se enfatiza en este libro, se complementa con algunas reflexiones adicionales sobre los procesos formativos aludidos.

Algunas de esas reflexiones conllevan aspectos relevantes a considerar en el estudio del desarrollo de habilidades como aquellas relacionadas con la elaboración de diseños creativos.

En un mundo donde los desafíos que se presentan son de una elevada complejidad y donde se multiplican de manera creciente los escenarios desconocidos (Dixon y Murphy, 2016), una de las habilidades cuyo examen puede aportar importantes elementos de análisis en los estudios de la formación y el aprendizaje es aquella relacionada con la elaboración de diseños creativos que, como los señalados en este libro, se desarrollan en investigaciones transdisciplinarias en la escala nanométrica, en la frontera del conocimiento.

Una vez formulados algunos de los temas más importantes en estudio, se presenta a continuación un resumen de los capítulos que componen el libro.

## **Partes y capítulos que componen el libro**

El libro está organizado en tres partes. La “Parte I. Nanociencia y nanotecnología. La creación de un nuevo espacio conceptual” está compuesta por dos capítulos.

En el “Capítulo I”, que corresponde a la introducción, se presentan los objetivos a profundizar en el estudio, se sintetizan y describen algunos de los aspectos más importantes que conforman cada uno de los capítulos del libro.

En el “Capítulo II. Los procesos formativos en ciencia y el desarrollo de investigaciones actuales en nanociencia y nanotecnología”, el objetivo se focaliza en el proceso que condujo a la creación del microscopio de efecto túnel que contribuyó a la aparición de un nuevo espacio conceptual, el de la nanociencia y la nanotecnología.

Teniendo en cuenta que la exploración de esos mundos invisibles en la nanoescala solo es posible a través de la mediación de técnicas e instrumentos, la reflexión acerca del concepto de técnica adquirió gran relevancia en la investigación. Dicha noción es examinada en base a las elaboraciones de François Sigaut, con énfasis en la propuesta del autor acerca de “las ideas para observar” (1987, 2010).

El concepto de representación es analizado en el “Capítulo I” en base a la reflexión acerca de la idea de combinación de representaciones mentales que no estaban conectadas previamente.

La idea de creatividad por combinación conceptual contribuye –según argumentamos– a la formulación de un nuevo concepto, el del microscopio de efecto túnel.

En el capítulo se examina el abordaje elegido por los científicos para empezar a resolver el problema referido a la carencia de una herramienta o instrumento apropiado para el estudio que se proponían efectuar, el de rompecabezas o *puzzle*, abordaje que se analiza en estrecha relación con el concepto de *insight*.

Los componentes emocionales vitales que acompañan al pensamiento creativo son otros aspectos de gran importancia considerados en dicho capítulo, y son examinados en el contexto de las actividades creativas en foco.

El objetivo propuesto en el capítulo se complementa con el estudio de los procesos creativos que el STM permitió: la realización de nuevos descubrimientos científicos en ciencia básica, con énfasis en aquellos efectuados en la frontera del conocimiento, y el desarrollo de aplicaciones creativas.

El caso elegido para profundizar dicho estudio se focaliza en uno de los referentes importantes en nanociencia y nanotecnología consultados en la investigación: Roberto Salvarezza.

Se analizan algunas conceptualizaciones acerca de las técnicas –que el científico considera en estrecha relación con las especificidades de la información que dichas técnicas proveen en la nanoescala– y se reflexiona acerca del problema que la interpretación de la información obtenida plantea, en el contexto de un abordaje multitécnico.

La importancia de la contribución transdisciplinaria en la escala nanométrica por parte de los científicos que exploran la materia desde sus respectivas especialidades, así como los desafíos que dicha contribución plantea al desarrollo de la educación en nanociencia y nanotecnología, son otras de las reflexiones consideradas en el capítulo. Estas son ejemplificadas en base a algunos aspectos de las investigaciones que Salvarezza y un grupo de científicos desarrollan en la frontera del conocimiento.

La “Parte II. Investigaciones en la frontera del conocimiento y procesos formativos” se compone de tres capítulos.

En el “Capítulo III. Las especificidades del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) en el contexto del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN)”, se aportan elementos de análisis para reflexionar acerca de las particularidades que el INIFTA presenta para la complementariedad con los otros integrantes del CINN, en Buenos Aires, Bariloche y La Plata, y se reflexiona acerca de la incidencia de dichas especificidades en las investigaciones que los científicos realizan y en el desarrollo de los procesos formativos.

En el “Capítulo IV. Motivaciones y esquemas cognitivos en la frontera del conocimiento. Un estudio acerca de los nanomateriales con aplicaciones biomédicas”, el estudio del concepto de representación es profundizado en estrecha relación con el de interpretación, en base a una de las *expertises* más relevantes entre las detectadas en la presente investigación en nanociencia y nanotecnología: la “*expertise* en la interpretación”.

El estudio de las “interpretaciones expertas” se focaliza en el examen de las “interpretaciones específicas de una imagen” (Boden, 2004). Su importancia en las elaboraciones que se presentan en el capítulo consiste en la contribución de las interpretaciones específicas de una imagen, en la generación o surgimiento de *insights*. Estos son de gran relevancia en las reflexiones acerca de la creatividad.

A través del examen de algunos hallazgos realizados por Roberto Salvarezza y el grupo de científicos junto a quienes desarrolla sus investigaciones en la frontera del conocimiento, el objetivo del capítulo es el de profundizar el estudio de la relación entre motivaciones y esquemas cognitivos, con especial énfasis en la detección de las habilidades cognitivas que contribuyen al desarrollo de dichas investigaciones, así como a sus posibles aplicaciones.

También se reflexiona acerca de la importancia de focalizar la atención en las conceptualizaciones acerca de los temas de investigación res-

pecto de los cuales los científicos en foco se consideran consolidados, en relación con aquellos temas que se sitúan en la frontera del conocimiento.

Se analiza el aporte de las investigaciones realizadas en la frontera del conocimiento al desarrollo de la ciencia en términos de informaciones y conocimientos y a sus posibles aplicaciones, y se reflexiona acerca de cómo dichas informaciones y conocimientos pueden influir, a su vez, en la formulación de nuevas conceptualizaciones, configuraciones, reconfiguraciones conceptuales y teorizaciones.

En este capítulo se examinan las motivaciones de los científicos que investigan en la frontera del conocimiento y se reflexiona acerca de su relevancia en el descubrimiento científico; se exploran también las habilidades cognitivas que contribuyen a la realización de las investigaciones en foco y la incidencia de las motivaciones en el desarrollo de las habilidades cognitivas. En base a las elaboraciones de Roy D'Andrade (2000 [1995]), se enfatiza la importancia de focalizar el examen en el concepto de esquema cognitivo en la creación de interpretaciones complejas, de gran relevancia en las investigaciones en estudio.

En el “Capítulo V. Aportes antropológicos, filosóficos e históricos en el estudio de la creatividad y la innovación: el caso de la nanociencia y la nanotecnología”, el examen se focaliza en el proceso formativo de Omar Azzaroni dentro del contexto de aquello que hemos denominado un entramado formativo altamente especializado. La adquisición y desarrollo de teorías, conceptualizaciones, conocimientos, habilidades, prácticas y *expertises* en el transcurso del proceso formativo del científico, son algunos de los aspectos analizados por su relevancia –según hipotetizamos– en el desarrollo de la creatividad.

Las reflexiones acerca de la creatividad se centran en este capítulo en las elaboraciones de Tim Ingold en *Creativity and Cultural Improvisation*. En base al estudio de escritos filosóficos de comienzos del siglo XX, Ingold distingue una acepción de creatividad que enfatiza la producción de la “novedad” (*novelty*) a través de la recombinación de elementos ya existentes, de una noción más relacionada con un proceso de crecimiento, cambio y movimiento continuo, un proceso fluido de devenir a la existencia (Hallam e Ingold, 2007).

Es en el contexto de dicho proceso formativo que en el capítulo se reflexiona acerca del concepto de *insight*.

La “Parte III. Aplicaciones y conclusiones” está subdividida en dos secciones. La sección “Formas creativas de interacción con la materia” se compone de dos capítulos. En el “Capítulo VI. Superficies que atrapan.

Aportes en el estudio del concepto de container”, la transformación de la superficie plana en un *container* es estudiada en estrecha relación con la idea de creatividad (Boden, 2004).

Allí se reflexiona sobre la creatividad en el diseño de la forma de un dispositivo ideado para investigar la materia viviente en foco, a través de un microscopio que no solo permite ver sino también interactuar con la materia, aportando así nuevos conocimientos en ciencia básica y ampliando y profundizando el nuevo espacio conceptual que el diseño del STM o alguna de sus variantes contribuyó a crear.

En base a la investigación realizada, el caso específico de transformación es examinado a partir del estudio de *insights* relacionados con descubrimientos científicos y con la creación de nuevos espacios conceptuales, *insights* que proponemos considerar para reflexionar acerca de la formulación de ideas creativas.

En el “Capítulo VII. Escribir en la nanoescala” se aportan nuevos elementos de análisis a la reflexión sobre aquello que distingue al STM de microscopios anteriores en términos de interacción con la materia en la nanoescala.

En el capítulo se reflexiona acerca de qué significa escribir en la nanoescala, se conceptualiza la escritura como construcción y se examina en qué consiste el acto de inscripción cuando se efectúa, por ejemplo, en una superficie de oro.

En base a las elaboraciones de Tim Ingold en *Lines* (2007), se presenta nueva evidencia empírica en las reflexiones sobre la historia de la escritura y, de forma más general, sobre la historia de la notación y de la línea, suponiendo –esta última– una historia de las relaciones cambiantes entre líneas y superficies y de sus posibles transformaciones.

El concepto de *insight* acerca del cual se reflexiona en este capítulo se relaciona con la detección de una nueva etapa disruptiva respecto de la abordada por Tim Ingold en *Lines* (2007), referida a la transición de los manuscritos medievales a los textos impresos modernos en la historia de la escritura en el mundo occidental.

La sección “La formación de los investigadores” está compuesta por el “Capítulo VIII. ¿Cómo se crea a un investigador?”. A través de las actividades de estudio, investigación y aplicación en la frontera del conocimiento examinadas en las diferentes partes que componen el libro, se reflexiona sobre la especificidad de los hallazgos realizados y se aportan nuevos elementos de análisis para profundizar el estudio acerca de uno de los interrogantes en foco en el capítulo –¿cómo se forma a un investi-

gador?-, con énfasis en algunas de las especificidades que la nanociencia y la nanotecnología presentan.

La profundización del estudio acerca del concepto de *insight*, con énfasis en el “*insight* intuitivo”, el “*insight* imaginativo” y el “*insight* crucial”, aporta importantes elementos de análisis en el estudio de los procesos creativos a ser considerados en los procesos formativos y en el desarrollo de las investigaciones que los científicos realizan, con énfasis en las que efectúan en la frontera del conocimiento.



# Capítulo II. Los procesos formativos en ciencia y el desarrollo de investigaciones actuales en nanociencia y nanotecnología

## Introducción

Cómo tornar accesibles mundos inaccesibles o invisibles a simple vista es uno de los aspectos a considerar para profundizar la complejidad que plantea el estudio de la nanociencia y la nanotecnología, que está estrechamente relacionado con todas las disciplinas científicas que convergen en la exploración de la materia en la escala nanométrica, es decir, una millonésima parte del milímetro.

Al idear el microscopio de efecto túnel, *scanning tunneling microscope* (STM) por su nombre en inglés, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer realizaron una contribución significativa al descubrimiento de ese “nuevo mundo” por el cual ambos científicos recibieron el premio Nobel de Física en 1986.

A través del examen del extraordinario trabajo conjunto desarrollado por Gerd Binnig y Heinrich Rohrer en el relevante proceso de creación de un nuevo concepto, de un nuevo tipo de microscopio, de una nueva técnica y de un nuevo método, así como de otras interacciones clave, el objetivo del presente capítulo consiste en aportar elementos de análisis que permitan profundizar el estudio de la creatividad respecto del complejo proceso que posibilitó el descubrimiento de ese *nuevo mundo*.

Teniendo en consideración el objetivo antes aludido, el análisis se focaliza, por un lado, en la detección de aspectos relevantes en los desarrollos creativos ligados a procesos de descubrimiento científico e invención tecnológica, con énfasis en los efectuados por los premios Nobel en foco.

El objetivo propuesto en el capítulo se complementa, por otro lado, con el estudio de los procesos creativos que –a partir del diseño y la construcción del STM– posibilitan nuevos descubrimientos científicos en ciencia básica, con énfasis en los que se realizan en la frontera del conocimiento, y el desarrollo de aplicaciones creativas.

El caso elegido para profundizar el estudio de la creatividad, a cuyo desarrollo contribuye la técnica de microscopía de efecto túnel, se centra

en uno de los referentes importantes del área de nanociencia y nanotecnología consultados en la investigación: Roberto Salvarezza.

Entre las razones de dicha elección es importante enfatizar que luego de doctorarse en Bioquímica en la Universidad de Buenos Aires con especialidad en Fisicoquímica y siendo integrante del Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), Salvarezza se especializó en la técnica de microscopía de efecto túnel con discípulos de Heinrich Rohrer y Gerd Binnig, en el transcurso de los estudios posdoctorales que realizó a partir de 1988 en el Departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad Autónoma de Madrid. A su regreso a la Argentina, en 1992, el científico creó el primer Laboratorio de Microscopía de Efecto Túnel del país en el INIFTA, en la ciudad de La Plata, del cual era su director en el momento de las entrevistas que le realicé en 2011.

Pudiendo considerarse, entre sus cargos más importantes, el de presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el aporte de Roberto Salvarezza a la formación de un grupo y líneas de investigación en la Argentina es una contribución importante al desarrollo de la nanociencia y nanotecnología en el país.

En base a la detección de aspectos relevantes en los procesos creativos, el objetivo del capítulo es también el de aportar elementos de análisis y reflexión que puedan ser considerados en los procesos formativos.

## **Ideas para observar**

Teniendo en cuenta que la relevancia del microscopio de efecto túnel se encuentra estrechamente relacionada con el descubrimiento del nuevo mundo que el STM permite explorar: el de la materia en la nanoescala, y que el acceso a esos mundos invisibles solo es posible a través de la mediación de técnicas e instrumentos, a continuación examinaremos la conceptualización de técnica en el abordaje metodológico propuesto por François Sigaut.

La reflexión sobre dicha noción nos aportará elementos de análisis en el estudio del microscopio de efecto túnel, el cual –a su vez– contribuirá al enriquecimiento de la conceptualización en foco.

En “Des idées pour observer” (1987), François Sigaut focaliza la atención en la necesidad de detectar “nuevas ideas para observar”, en una

formulación que podría ser considerada como un requisito metodológico en el desarrollo de los estudios en tecnología.

En dicho artículo, una de las *ideas a observar* que consideramos de gran relevancia en el análisis que proponemos concierne a la noción de técnica.

En la conceptualización de François Sigaut, aquello que define una técnica es la aplicación de un principio o conjunto de principios mecánicos o físicos, a los que el autor considera respecto de una actividad como, por ejemplo, una actividad de investigación. Es importante enfatizar que en dicha elaboración conceptual, el autor incluye las numerosas aplicaciones que dichos principios (como aquel en el cual se basa el STM) posibilitan.

Los aspectos considerados por François Sigaut en su elaboración del concepto de técnica son de una enorme relevancia en nuestro análisis –según argumentamos– ya que la creación misma del concepto de microscopio de efecto túnel, realizada en forma conjunta por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig, solo fue posible luego del descubrimiento del principio en base al cual el nuevo microscopio funcionaría y de las nuevas posibilidades que la aplicación de dicho principio permitiría, y no antes de que Heinrich Rohrer y Gerd Binnig advirtieran –entre otras múltiples posibilidades– que la obtención de imágenes era potencialmente factible.

En base a la reflexión de las indicaciones metodológicas enfatizadas por François Sigaut respecto de las ideas para observar, el descubrimiento del principio en cuestión es analizado a continuación focalizando la atención en los aspectos claves en el desarrollo de una actividad –la investigación realizada por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig– ligada al descubrimiento de dicho principio y que, en base a las elaboraciones de François Sigaut, proponemos conceptualizar como “actividad creativa”.

### **La relevancia del microscopio de efecto túnel en el descubrimiento de un nuevo mundo**

Si bien el microscopio de efecto túnel es estudiado en otras investigaciones (Mody, 2011), el haber focalizado la reflexión en el discurso pronunciado por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig al recibir el premio Nobel –tal como desarrollaremos a continuación– se relaciona con el potencial aporte del examen de ese discurso al desarrollo del enfoque elegido en este capítulo.

Si reflexionamos acerca del discurso pronunciado por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig al recibir el premio Nobel (*the Nobel lecture*), uno de

los aspectos a examinar respecto del proceso de descubrimiento del principio en el que se basa el microscopio de efecto túnel es que los científicos en cuestión no solo no se habían propuesto idear un microscopio, sino que carecían de experiencia tanto en el diseño del instrumento como en lo concerniente a las ciencias de superficie.

Otro de los elementos a considerar en el análisis refiere al hecho de que uno de los científicos, Heinrich Rohrer, tenía experiencia, por un lado, en el efecto túnel, fenómeno que lo intrigaba, y por el otro, en la medición en angstroms –unidad de longitud equivalente a la cienmillonésima parte de un centímetro (0,000.000.01cm)–, en la cual dicho científico se proponía realizar los estudios.

Aquello que intrigaba a Heinrich Rohrer estaba estrechamente relacionado con el “estudio local del crecimiento y de las propiedades eléctricas de delgadas capas aisladas”, y lo interesante respecto del análisis de la incidencia de la relación experiencia-intriga en el descubrimiento del principio en cuestión es que a partir de la experiencia del científico en dicho fenómeno, adquirida a través de la lectura de varios ejemplos, de la realización de alguna actividad de investigación en ese tema y de la reflexión acerca de la actividad de otros científicos en sus intentos por resolver los problemas en estudio, Heinrich Rohrer había llegado a conceptualizar el fenómeno que lo intrigaba en un problema interesante.

Es importante señalar que el comienzo de la colaboración científica entre Heinrich Rohrer y Gerd Binnig se desarrolla a partir del planteo –por parte de Heinrich Rohrer– de convertir dicho problema interesante en un problema a resolver.

El comienzo de la resolución del problema empieza a desarrollarse entonces a partir de la colaboración científica realizada por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig, y las expectativas –por parte de Heinrich Rohrer– acerca del potencial aporte de Gerd Binnig en dicha resolución parecen corresponderse, en la narrativa, con el hecho de que el relato –hasta ese momento a cargo de Heinrich Rohrer– se continúe con el realizado por Gerd Binnig.

Según el relato de Gerd Binnig, el comienzo de la resolución del problema por ambos científicos empieza a desarrollarse a partir de una discusión basada nuevamente en ideas de Heinrich Rohrer, relacionadas esta vez con el estudio de un tema en el cual el científico había anticipado que no tenían experiencia: las ciencias de superficies y, más específicamente, de superficies no homogéneas.

¿En qué consistía la discusión según Gerd Binning? En cómo estudiar, localmente, las delgadas capas tratadas con óxido que crecen en superficies metálicas no homogéneas.

Ese intercambio de ideas es de crucial importancia para comenzar a resolver el problema planteado ya que, a partir de su desarrollo, ambos científicos advierten la carencia de una herramienta o instrumento apropiado de estudio.

Luego de detectar dicha carencia, el abordaje elegido por los científicos para empezar a resolver el problema es el del rompecabezas o *puzzle*. Más específicamente, Heinrich Rohrer y Gerd Binning comienzan realizando el armado de un rompecabezas de ordenamientos de contactos túneles (*tunneling contacts*) en formas específicas para detectar si estos podían proporcionarles *insights*.

En lo precedentemente aludido, es interesante que ambos científicos hayan recurrido en un mismo párrafo del discurso a los conceptos de rompecabezas y de *insight*. Al respecto es importante focalizar la atención en la idea que subyace en ambos conceptos. Por un lado, el concepto de rompecabezas o *puzzle* supone “la idea de un problema intrincado, difícil, pero solucionable”; por otro lado, la búsqueda de *insights* está relacionada con una capacidad, la de “discernir la verdadera naturaleza de una situación” (*The Heritage Illustrated Dictionary of the English Language*, 1973).

Podríamos argumentar que en la elección de un abordaje que relaciona la idea de rompecabezas con la de *insight* subyace una expectativa favorable a la resolución de un problema.

Como resultado de la discusión entre ambos científicos y en estrecha relación con el abordaje del problema por ellos elegido, una de las grandes contribuciones de Gerd Binning al desarrollo de su colaboración científica con Heinrich Rohrer es la idea de *vacuum tunneling*, una combinación de conceptos vinculada con el estudio de la corriente túnel de electrones en condiciones de vacío. Dicha idea remota, distante hasta ese momento del centro de su actividad científica –según Gerd Binning–, resultó un relevante aporte a la resolución del rompecabezas.

Gerd Binning expresa su asombro cuando relata que solo se enteró muchos años más tarde de que otros científicos habían estado trabajando en una idea similar a la suya. Uno de ellos –según detectan– estaba intentando algo más experimental, relacionando la idea de *vacuum tunneling* con la de una punta o extremo posicionable.

Heinrich Rohrer y Gerd Binning se empiezan a dar cuenta de las posibles implicancias del desafío experimental antes aludido y –según ar-

gumentamos— de las nuevas posibilidades de aplicación del principio de electrones en condiciones de vacío, principio según el cual la corriente túnel de electrones decrece exponencialmente con la distancia en condiciones de vacío.

En efecto, respecto de las nuevas posibilidades de aplicación de dicho principio, ambos científicos advierten que la utilización de la punta o extremo posicionable permitiría realizar mediciones de corriente de electrones en el túnel y, a partir de dichas mediciones basadas en la detección de las posiciones de los átomos en una muestra, obtener las imágenes en tres dimensiones y en escala y tiempo real por medio de una computadora.

El entusiasmo de ambos científicos respecto de las implicancias que el desafío experimental podía suponer se convierte en asombro cuando advierten que entre las múltiples aplicaciones de la punta o extremo posicionable utilizada en relación con el principio de *vacuum tunneling*, no solo era posible obtener pruebas de espectroscopías locales sino que el escaneo podría proporcionar imágenes espectroscópicas y, más aún, imágenes topográficas de la muestra en estudio.

La extraordinaria sorpresa de Heinrich Rohrer y Gerd Binnig anticipaba la creación de un nuevo concepto y de un nuevo tipo de microscopio: el microscopio de efecto túnel.

Las preocupaciones expresadas por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig acerca del mejoramiento de la resolución de la imagen que podían obtener permite apreciar aún más la extraordinaria reflexión de ambos científicos sobre la creación del nuevo concepto. En efecto, aproximadamente dos años más tarde de su creación por parte de Heinrich Rohrer y Gerd Binnig, y poco tiempo antes de la obtención de las primeras imágenes, ambos científicos se enteran de la existencia de un artículo en el cual los autores describen un microscopio que —según Heinrich Rohrer y Gerd Binnig— tenía mucho en común con el principio operativo básico del microscopio que devendría el microscopio de efecto túnel, aunque se diferenciaba por la distancia de la punta o extremo posicionable respecto de la superficie de la muestra.

En el caso del microscopio descrito en dicho artículo, la punta o extremo posicionable estaba situada a una distancia considerable de la superficie de la muestra, de modo que el voltaje tenía que ser muy elevado produciendo, en consecuencia, un tipo de emisión de corriente diferente al de la corriente túnel de electrones. En el artículo, los autores discutían aspectos relacionados con la mejora de la resolución de la imagen, para

lo cual algunos de los intentos que proponían estaban vinculados con la corriente de electrones en condiciones de vacío o *vacuum tunneling*. En su relato, Heinrich Rohrer y Gerd Binnig hacen la extraordinaria reflexión a la que hicimos referencia. Ambos científicos argumentan que “si los autores de dicho artículo hubieran combinado –aunque más no fuera en sus mentes– la noción de corriente de electrones en condiciones de vacío (*vacuum tunneling*) con la de escaneo, y si además de combinar ambas nociones, hubieran calculado dicha resolución (de imagen), probablemente habrían arribado a la formulación de un nuevo concepto, la *scanning tunneling microscopy*”.

Lo extraordinario de la reflexión consiste en que supone la idea de creatividad por combinación de conceptos. Esta es presentada en el relato de forma indirecta a la propia contribución de Heinrich Rohrer y Gerd Binnig, y referida a los autores del artículo mencionado a quienes ellos consideraban más cerca que ningún otro científico de llegar a la creación del nuevo concepto de microscopio de efecto túnel.

Es importante enfatizar una consideración adicional acerca de la forma en que la idea de combinación de nociones en la creación de un nuevo concepto es elaborada por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig en el relato. La idea está precedida por la frase “aunque más no fuera en sus mentes”, para diferenciarla de la implementación del nuevo concepto creado en un microscopio de nuevo tipo. En efecto, si un nuevo concepto había sido creado, el microscopio de efecto túnel todavía tenía que ser construido.

El instrumento ideado en base al nuevo concepto creado por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig fue desarrollado aproximadamente en un período de dos años. El énfasis que el relato de los científicos pone en las cualidades de quien sería el artífice de la realización técnica de dicho instrumento, la afición del artesano en cuestión por lo excepcional o lo inusitado, considerada en relación con las habilidades manuales y cognitivas en las que se había especializado, contribuirían a plasmar el proyecto de los científicos de manera satisfactoria.

El adjetivo *portentoso* utilizado por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig para calificar el advenimiento del nuevo instrumento construido en 1981, y respecto del cual todavía no conocían su alcance, anticipaba –en su significado– su potencialidad para sorprender y maravillar.

Una vez finalizada la construcción del instrumento, todavía quedaba un problema por resolver: la difusión acerca de su existencia. Los aspectos que rodearon a la difusión del STM y el examen detallado de los múltiples y variadas dificultades que los científicos tuvieron que enfrentar

exceden los límites de este capítulo. No obstante, no podemos dejar de señalar que el estudio de las interacciones que Heinrich Rohrer y Gerd Binnig establecen con otros especialistas y expertos adquiere especial relevancia en el examen de la difusión del STM y de las posibilidades que dicho microscopio ofrece. Las relaciones que Heinrich Rohrer y Gerd Binnig establecieron con científicos de reconocidas universidades de Estados Unidos en su primer experimento con oro les permitió obtener los primeros apoyos científicos en cuanto a las potencialidades que el STM anticipaba.

El “ejercicio con oro” no solo tuvo gran importancia en el desarrollo del método, sino que las imágenes que ambos científicos obtuvieron y que permitían apreciar las diferentes propiedades de esa superficie son aquellas relacionadas con las potencialidades del STM y, más aún, con el descubrimiento de un nuevo mundo.

Las relaciones que Heinrich Rohrer y Gerd Binnig establecen con expertos en otras técnicas de caracterización de superficie, más específicamente, a partir de los problemas que se plantean al intentar combinarlas, y con especialistas en otras disciplinas como, por ejemplo, la química y la biología constituyen un elemento adicional a considerar en el estudio de las interacciones. Otras interacciones de gran relevancia en el relato son las que Heinrich Rohrer y Gerd Binnig establecen al realizar las pruebas de las potencialidades del microscopio de efecto túnel en química. En efecto, los resultados obtenidos en esta disciplina no solo son unos de los más significativos en cuanto a la observación, estudio y comportamiento de las superficies químicas examinadas con un STM, sino que el desarrollo mismo de la prueba les permite a los científicos familiarizarse con una nueva técnica: la del microscopio de efecto túnel.

Este aspecto no es menor en el análisis que profundizaremos a continuación, si consideramos que uno de esos científicos provenía, en calidad de profesor visitante, de la Universidad Autónoma de Madrid. Como anticipamos en la introducción de este capítulo, años más tarde, en 1988, Roberto Salvarezza realizaría sus estudios posdoctorales en el Departamento de Física de la Materia Condensada de dicha universidad, especializándose en la técnica de microscopía de efecto túnel con uno de los grupos STM que no solo habían adquirido *expertise* en dicha técnica sino que, a través de su aporte en el desarrollo de las pruebas en base a la utilización del STM, habían contribuido a que el concepto mismo de microscopio de efecto túnel continuara desarrollándose aun luego de su construcción en 1981.

Es importante enfatizar también la relevancia de la interacción de Heinrich Rohrer y Gerd Binnig con los grupos más avanzados que trabajaban en STM. Dicha interacción se basa en la contribución de esos grupos a la aceptación del microscopio de efecto túnel y a la resolución atómica de las imágenes obtenidas.

El aporte de los denominados grupos STM es tan importante que gracias a la repercusión de algunos resultados presentados por dichos grupos en un evento crucial como la reunión de *The American Physical Society*, en 1985, el microscopio de efecto túnel es finalmente aceptado y la resolución atómica, oficializada.

Anticipado por una serie de premios recibidos desde fines de 1983, en 1986 Heinrich Rohrer y Gerd Binnig obtendrían el premio Nobel por el diseño del microscopio de efecto túnel.

En base a las elaboraciones de Boden (2004) argumentamos, además, que el espacio conceptual que el diseño del microscopio de efecto túnel permitió crear es también un espacio de posibilidades para el surgimiento de otras ideas y formulaciones conceptuales. El caso del microscopio de fuerzas atómicas, de gran relevancia en las reflexiones de Roberto Salvarezza en este capítulo, podría ser uno de los ejemplos.

### **El examen de los procesos creativos. La experiencia AHA!**

Si profundizamos la reflexión acerca del caso de los premios Nobel precedentemente expuesto, uno de los aspectos que llaman la atención es la adjetivación que acompaña a los descubrimientos, utilizada por dichos científicos en la elaboración de su discurso al recibir el premio Nobel. A continuación, la reflexión acerca de dicho aspecto se realiza en estrecha relación con el examen de los procesos creativos, considerando algunas elaboraciones del artículo de Paul Thagard y Terrence Stewart “The AHA! Experience. Creativity Through Emergent Binding in Neural Networks” (2010).

En dicho artículo, los autores proponen que la creatividad humana –al menos en alguna de sus variedades– requiere la combinación de representaciones mentales que previamente no estaban conectadas, dando por resultado –como en el caso de los premios Nobel que hemos examinado– la creación de nuevas ideas, nuevos conceptos, nuevas invenciones tecnológicas, etcétera.

El pensamiento creativo también presenta componentes emocionales vitales que acompañarían a los descubrimientos científicos y a los que los autores se refieren con la expresión “The AHA! Experience”, es decir, la experiencia AHA! Esos componentes emocionales estarían estrechamente relacionados con la relevancia atribuida por los científicos a dichos descubrimientos y han sido considerados también en otros trabajos (Boden, 2004).

Si bien el énfasis de Paul Thagard y Terrence Stewart se focaliza en los mecanismos del sistema neuronal de la creatividad, la teoría de la creatividad por ellos propuesta incluye otros mecanismos que se desarrollan en distintos niveles de análisis, incluidos –además del sistema neuronal, en el cual los autores se especializan– los niveles molecular, psicológico y social.

La incidencia que Paul Thagard y Terrence Stewart atribuyen a los aspectos sociales en el desarrollo de la creatividad es de gran relevancia, si bien en el artículo es examinada muy brevemente por los autores. En tal sentido, una de las contribuciones más importantes del presente capítulo es la de aportar elementos de análisis que permitan profundizar el examen de la incidencia de los aspectos sociales en el estudio de la creatividad, lo cual realizaremos focalizando la atención en aquello que, en base a las elaboraciones de François Sigaut, hemos propuesto conceptualizar como “instancias de actividad creativa”.

Existirían, por lo menos, dos aspectos relevantes a considerar en el aporte específico realizado por Gerd Binning. Por un lado, su concepción de la idea de *vacuum tunneling* como una idea remota, distante hasta ese momento –según Binning– del centro de su actividad específica y, por otro lado, la relevancia de la puesta en movimiento de esa idea remota.

Lo interesante para nuestro análisis en aquello que respecta al aporte de este capítulo, vinculado con el examen de la relación entre el aspecto emocional y la incidencia de lo social en el desarrollo de la creatividad, está relacionado con la puesta en movimiento de esa idea remota y su relevancia en potenciales descubrimientos futuros.

En efecto, el *insight* que como consecuencia de la discusión Gerd Binning pone en movimiento desde su memoria de larga duración, es el resultado de distintas interacciones sociales que hemos propuesto conceptualizar como “instancias de actividad creativa”. La relevancia del desencadenamiento de ese *insight* –según hipotetizamos– reside en que, a partir justamente de dicha instancia de actividad creativa, el movimiento del *insight* se produce desde la “memoria de larga duración” hacia la

“memoria de trabajo”, creando a su vez las condiciones de posibilidad para la creación potencial de nuevas combinaciones de representaciones futuras. En efecto, una vez que la combinación de conceptos que subyace en la idea de *vacuum tunneling* se encuentra activa en la “memoria de trabajo”, la interacción con el experimentalista posibilita la creación de una nueva combinación de representaciones, en este caso, entre ese concepto y el de escaneo, lo cual permite a su vez la creación de un nuevo concepto: el del microscopio de efecto túnel.

### **Del descubrimiento científico y la invención tecnológica al desarrollo de nuevos descubrimientos**

Paul Thagard y Terrence Stewart (2010) argumentan también que siendo la combinación de representaciones una parte crucial de la creatividad en una variedad de dominios como, por ejemplo, los del descubrimiento científico y la invención tecnológica, con frecuencia dichos dominios se intersectan.

La reflexión acerca de las investigaciones en la frontera del conocimiento en relación con las potenciales contribuciones en ciencia básica y del desarrollo de las aplicaciones que realizaremos a continuación, nos reenvía a un problema adicional y no menor a considerar respecto de aquello que Paul Thagard y Terrence Stewart denominan teorías cognitivas de la combinación conceptual. Dicho problema consiste, según los autores, en que las combinaciones de representaciones aludidas han estado, en gran medida, restringidas a las representaciones verbales, si bien –según añaden– las combinaciones de representaciones (entre ellas, las conceptuales) pueden incluir también la percepción en sus distintas variedades.

La relevancia de esta reflexión para nuestro análisis en nanociencia y nanotecnología está estrechamente relacionada con el problema de la información. En efecto, reflexionando acerca de aquello que Paul Thagard y Terrence Stewart aluden como “representaciones neuronales” denominándolas “multimodales” y considerando que estas incluyen información que puede ser visual, auditiva, táctil, olfativa, gustativa, cinética y emocional, así como verbal, la relevancia de focalizar la atención en las técnicas está estrechamente relacionada con la información que potencialmente pueden proveer.

Al respecto, el microscopio de efecto túnel permite, por un lado, “visualizar las imágenes de una muestra en tres dimensiones y captar los más pequeños detalles de una superficie que está siendo escaneada” en escala real (ver sitio oficial web de los premios Nobel). Entre otros usos, el STM también permite “tocar” los átomos e incluso “asirlos”, despegar los átomos de una superficie, trasladarlos y luego depositarlos, a través de técnicas constructivas.

Un desarrollo posterior derivado del STM, el microscopio de fuerzas atómicas (AFM), permitió superar las limitaciones del STM, que necesita trabajar con muestras conductoras. Este microscopio trabaja con todo tipo de superficies, incluido el material biológico. El AFM no solo permite visualizar en la nanoescala sino también efectuar otras formas específicas de interacción con la materia, como en el caso de la obtención de las “propiedades elásticas” de células, proteínas y polímeros, lo cual se realiza –según explica Salvarezza– utilizando la punta del AFM.

A las habilidades requeridas en la utilización del STM, que podrían profundizarse en base a la conceptualización de “inteligencia técnica” (Sigaut, 1995), se añaden las relacionadas con la interpretación de las imágenes obtenidas, no obstante lo cual –explica Salvarezza en una de las entrevistas que realizamos en 2011– *“la complejidad más importante en nanociencia y nanotecnología es conceptual”*. En efecto, continúa el científico, *“como en el mundo de la materia en la escala nanométrica la información es elusiva, la complejidad del abordaje de un problema consiste en que este requiere de la utilización de n técnicas y de diferentes enfoques para resolverlas”*. La formulación precedente supone el aporte de distintas *expertises* y especialidades disciplinarias como, por ejemplo, las provenientes de la física, la química, la biología, es decir, una contribución interdisciplinaria o, más específicamente, “transdisciplinaria en la escala nanométrica” que ulteriormente puede requerir también la de los ingenieros, por ejemplo, en el caso de la construcción de dispositivos.

*“La educación es uno de los grandes desafíos en el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología”*, reflexiona el investigador. Aquello que se requiere es *“una educación mucho más amplia, que se adquiere en la etapa de los estudios de posgrado, en el doctorado”*, y a la que el científico ejemplifica refiriéndose al caso de un biotecnólogo que tiene que realizar un aprendizaje en química y en física, *“no para desarrollar investigaciones en física, porque dichos desempeños son realizados por los expertos, sino porque el entendimiento de dichas disciplinas le permitirá discutir y dialogar con otros especialistas y expertos”*.

## Investigación y desarrollos actuales en la frontera del conocimiento

En base al examen de la experiencia que Roberto Salvarezza adquiere a partir del aprendizaje de la técnica de microscopía de efecto túnel, a continuación nos ocuparemos de aquello que las aplicaciones que dicha técnica posibilita en el contexto del abordaje multitécnico, focalizando el análisis en las investigaciones actuales del científico relacionadas con el diseño de sistemas de autoensamblado y de autoorganización molecular, con énfasis en el caso específico de las aplicaciones biomédicas en la frontera del conocimiento. Consideraremos las complejidades del problema que se intenta resolver y las enseñanzas que se obtienen respecto de los potenciales desarrollos en los procesos creativos.

Si retomamos la noción de técnica en las elaboraciones realizadas por François Sigaut en “Des idées pour observer” (1987), advertimos que el análisis de dicha noción no estaría completo sin antes distinguir que uno de los componentes relevantes en el abordaje metodológico propuesto por el autor en términos del objeto –el del principio o conjunto de principios mecánicos o físicos a los que François Sigaut considera dentro de una actividad– comprendería al menos dos aspectos. Uno de ellos, analizado en relación con el descubrimiento del principio de funcionamiento de aquello que devendría el microscopio de efecto túnel, concierne al instrumento mismo. El otro aspecto referido al concepto de principio –en las elaboraciones de François Sigaut– atañe a la materia trabajada por el instrumento.

En base a la reflexión acerca de las investigaciones actuales desarrolladas por Roberto Salvarezza, la materia en cuestión es conceptualizada en términos de sistema. Al respecto, una de las líneas de investigación más relevantes entre las desarrolladas por el científico es la referida al diseño de los “*sistemas moleculares autoensamblados sobre superficies metálicas, como plataformas moleculares para la modificación de superficies y diseño de dispositivos*”.

¿Cuál es la especificidad de estos sistemas? ¿Cuál es la idea que subyace en dicha línea de investigación?

*La idea –explica Salvarezza en una de las entrevistas que le realicé– es que nosotros somos capaces de colocar pequeñísimas cantidades de moléculas y cambiar las propiedades de un material. Es decir, el autoensamblado es una técnica respecto de la cual, por un procedimiento muy sencillo que consiste en poner las moléculas en contacto con una superficie, las moléculas se organizan*

*espontáneamente sobre la superficie (ensamblado) pudiendo cambiar completamente las propiedades del material. Así se puede lograr que la superficie repela el agua, presente inusuales propiedades de lubricación, o pueda utilizarse para anclar otras moléculas capaces de actuar frente a estímulos de distinto tipo, abriendo el camino de la fabricación de dispositivos como sensores y biosensores. Se trata, entonces, de diseñar plataformas con propiedades específicas utilizando una capa de dimensiones moleculares.*

En sus reflexiones acerca de dicho concepto el investigador añade:

*Los químicos utilizamos las fuerzas que operan entre las moléculas, las fuerzas que actúan entre las moléculas y la superficie del material, y las fuerzas que existen entre las moléculas y el medio que las rodea para que ellas se dispongan en la forma correcta sobre la superficie en cuestión. Las moléculas se transforman entonces en las unidades básicas, los ladrillos de construcción en nanotecnología, siguiendo una aproximación de “abajo” hacia “arriba” (bottom up).*

En muchos casos, el material a modificar con las moléculas consiste en nanopartículas, que presentan un exceso de superficie en relación con su volumen. Un problema que se plantea de gran relevancia en estos casos es cómo obtener la información estructural y química de la superficie y del volumen de estos objetos extremadamente pequeños.

Este es un ejemplo de la complejidad del problema, de la información conceptualizada como elusiva y de la relevancia del abordaje multitécnico.

Para resolver esta cuestión, existe un conjunto de técnicas poderosas que proveen información acerca de la superficie y el volumen de objetos tan pequeños. La información química usualmente se obtiene a través de las denominadas espectroscopías tales como la espectroscopía de fotoelectrones (*x-ray photoelectron spectroscopy*, XPS). Sin embargo la información proviene no solo de la última capa, sino que presenta también contribuciones de las capas inmediatamente adyacentes a ella. Esto requiere un cuidadoso análisis de los datos y la utilización de técnicas complementarias, tales como la espectroscopía infrarroja y sus variantes, o bien, espectroscopía Raman. La visualización mediante STM de las moléculas autoensambladas en la superficie no es posible debido a la curvatura que presentan estos nano-objetos, a pesar de que hay algunos intentos en la literatura que son motivo de discusión.

El interrogante acerca de cuál es el límite conceptual que permite delimitar la superficie del volumen nos reenvía, por otro lado, a la reflexión acerca del problema de la aplicación. En efecto, en alusión a una de las áreas en las que se encuentra investigando, Salvarezza señala: *“en la nanopartícula, la superficie es una interfase, es decir, una capa que está en contacto con otro ambiente, como por ejemplo, un medio biológico que incluye células y biomoléculas”*.

¿En qué consiste, específicamente, dicha investigación? *“Nosotros estamos sintetizando nanopartículas de distintos metales, por ejemplo, oro –explica Salvarezza–, para transporte de fármacos o bien para terapia térmica de cáncer”*. Esta supone *“no solo sintetizar las nanopartículas sino también incorporarles el fármaco y un vector para que dichas nanopartículas se dirijan a la célula (cancerígena)”*.

Una estrategia usual en la síntesis de nanopartículas de oro es protegerlas mediante moléculas de tioles que se autoensamblan en la superficie y detienen el crecimiento de las nanopartículas en la escala de algunos pocos nanómetros. Dichas moléculas *“permiten un control preciso del tamaño de las nanopartículas de oro”*, del cual depende que estas atraviesen o no las membranas celulares. Para estas aplicaciones se requiere que las nanopartículas sean solubles en medios acuosos como lo son los fluidos biológicos, para lo cual la molécula de tiol que recubre la nanopartícula debe exhibir hacia el exterior –el medio acuoso– grupos funcionales químicos que sean *“hidrofílicos tales como grupos carboxílicos”*, añade el científico.

El control preciso de la materia –referido, en este caso, a las nanopartículas de oro– es un tema de enorme importancia para las potenciales aplicaciones. Dicha reflexión nos reenvía a las afirmaciones de Roberto Salvarezza acerca de la relevancia de realizar investigaciones en las fronteras del conocimiento, aludiendo, en el caso específico que plantea, a las que se desarrollan respecto de *“nanomateriales con aplicaciones en biología”*, que presentan numerosos desafíos.

Superar estos desafíos en la frontera del conocimiento implica un *expertise* que se adquiere tras años de investigación, a lo largo de los cuales se van incorporando nuevas temáticas y capacidades. En este aspecto, la investigación no es disruptiva sino que evoluciona siguiendo la frontera del conocimiento en diferentes direcciones hasta adquirir la solidez necesaria para plantear potenciales aplicaciones.

La elección del área de aplicación, explica Salvarezza, se hizo considerando que la nanotecnología aplicada a la medicina tiene un gran po-

tencial, ya que se trata de un campo transdisciplinar que en la Argentina cuenta con recursos humanos altamente calificados. En efecto, quién puede negar la excelencia de la investigación de nuestro país en bioquímica, biología y medicina, “*áreas en las cuales tenemos premios Nobel*”, señala Salvarezza. La integración de grupos de investigación transdisciplinarios permite plantear y responder interrogantes acerca de aspectos tales como ¿qué temáticas tendrían más impacto?, ¿tenemos los recursos y el conocimiento para hacerlo? La investigación que se realiza sobre las nanopartículas de oro funcionalizadas con moléculas, en este caso tioles solubles, es un intento de crear plataformas que tengan posibles aplicaciones en biomedicina.

La importancia del desarrollo de las investigaciones precedentemente mencionadas no es menor, si consideramos que “la especialización hacia la nanomedicina y nanobiotecnología lidera el mapa mundial” (Albornoz *et al.*, 2008).

### **Algunas consideraciones finales**

Por su relevancia en el trabajo de investigación, ya sea en la resolución de problemas, en la generación de nuevas ideas y conceptos en los casos de los descubrimientos científicos y la invención tecnológica, como en la aplicación y en el desarrollo de las investigaciones en la frontera del conocimiento en relación con las potenciales contribuciones en ciencia básica, el objetivo del capítulo es el de aportar elementos de análisis que permitan profundizar la reflexión acerca de los procesos creativos, con la idea de que estos sean, a la vez, considerados en los procesos formativos.

Una de las contribuciones más importantes de este capítulo consiste en brindar elementos de análisis que permitan profundizar el examen de la incidencia de los aspectos sociales en el estudio de la creatividad.

A través de la observación de aquello que hemos propuesto denominar “instancias de actividad creativa” planteadas a partir de la colaboración científica de los futuros premios Nobel, entre las que se enfatiza la discusión relacionada con el comienzo de la resolución del problema, la elección del abordaje del rompecabezas o *puzzle* en la búsqueda de *insights* y la interacción de ambos científicos con el experimentalista, hemos examinado la incidencia de dichas instancias de interacción social en el desarrollo de la creatividad.

Otra de las contribuciones que proponemos aportar se relaciona con el análisis de las condiciones que desencadenan el proceso creativo, basado en una reflexión adicional sobre otra de las acepciones del concepto de experiencia, más ligada a “la activa participación en actividades que conducen a la acumulación de conocimientos y habilidades” (*The Heritage Illustrated Dictionary of the English Language*, 1973).

La puesta en relación de la experiencia, así conceptualizada, con la noción de intriga sería –según hipotetizamos– uno de los aspectos relevantes a considerar entre las condiciones que desencadenarían el proceso creativo.

De modo análogo, en el caso de las aplicaciones que el STM permite efectuar (en el contexto del abordaje multitécnico) podría formularse la existencia de una relación entre frontera de conocimiento e intriga, que contribuiría a crear las condiciones de posibilidad para potenciales descubrimientos.

Teniendo en cuenta la relevancia del concepto de representación en nanociencia y nanotecnología, tal como permite apreciar una revisión bibliográfica acerca de los procesos formativos en esas disciplinas, otro de los aspectos importantes en dichos procesos es focalizar la atención en la relevancia de nuevas combinaciones de representaciones, ya que estas incrementarían los potenciales desarrollos creativos.

Otro de los aspectos a considerar en la relación entre procesos creativos y descubrimiento científico está relacionado con los abordajes multidisciplinarios o, más específicamente, transdisciplinarios en la escala nanométrica y tiene que ver con los desafíos de la educación. Una educación más amplia aportaría elementos para saber cómo interactuar con otros especialistas, cómo mejorar los diseños, cómo conceptualizar elaboraciones complejas de otras disciplinas e incluso cómo interpretar los resultados obtenidos por otros expertos. Una formación que permita el diálogo con otros especialistas y expertos es de gran relevancia, ya que una parte importante de la investigación científica en la actualidad es colaborativa y muchos descubrimientos ocurren gracias a las fructíferas interrelaciones que los investigadores establecen.



**Parte II**  
**Investigaciones en la frontera del**  
**conocimiento y procesos formativos**



## Prefacio

Los tres capítulos que componen esta sección se basan en la elaboración de la investigación desarrollada en el INIFTA a partir de 2011, razón por la cual, en el capítulo III se presentan algunas de las especificidades que el instituto presenta en el contexto del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN), con énfasis en algunos de sus integrantes en Buenos Aires, Bariloche y La Plata.

Si en el capítulo IV la investigación que los científicos realizan en la frontera del conocimiento es la actividad creativa más importante entre las consideradas, en el capítulo V el énfasis cambia ya que la actividad creativa más importante se relaciona con los procesos formativos. Estos se examinan en estrecha vinculación con las investigaciones en la frontera del conocimiento que dichos aprendizajes posibilitan.

A las especificidades que cada uno de los capítulos aporta en el estudio y reflexión de los temas de investigación propuestos en el capítulo I se añaden los elementos de análisis que los capítulos considerados en forma conjunta presentan para reflexionar acerca de los procesos formativos.



# **Capítulo III. Las especificidades del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas, en el contexto del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN)**

## **Introducción**

Para entender la relevancia de profundizar las actividades que los científicos que investigan en nanociencia y nanotecnología desarrollan en el INIFTA es importante señalar que dicha institución académica focalizada en investigación en ciencia básica y aplicada en el campo de la química en general y de la fisicoquímica en particular, fue fundada en 1948 en el ámbito de la Universidad de La Plata (UNLP) y que depende académicamente del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Exactas de dicha universidad. Sus actividades cuentan –entre otras instituciones– con el apoyo de la UNLP y del CONICET (ver sitio oficial web del INIFTA).

Según datos proporcionados por Roberto Salvarezza en una de las entrevistas que le realicé en 2011, el INIFTA contaba, por aquel entonces, con ochenta y cinco investigadores distribuidos en los cinco sectores que componían el instituto: Materiales, Energía, Medio Ambiente, Nanociencia y Nanotecnología y Fisicoquímica Biológica.

De esos ochenta y cinco investigadores, entre veinte y veinticinco pertenecían al sector de Nanociencia y Nanotecnología, distribuidos en algunos de los cuatro grupos que lo componían, a quienes habría que añadir un número de becarios que en La Plata se calcula en base a un promedio de un investigador por becario.

Siendo esta la dotación de investigadores y becarios que desarrollan sus investigaciones en nanociencia y nanotecnología en el INIFTA, es importante realizar algunas aclaraciones. Por un lado, el número de investigadores referidos se basa en la respuesta de quienes –entre ellos– han afirmado desarrollar sus actividades de investigación en nanociencia y nanotecnología en el INIFTA. Dicha aclaración es importante –explica Salvarezza– si se reflexiona acerca del caso de otros científicos que tam-

bién desarrollan actividades en nanociencia y nanotecnología como, por ejemplo, los investigadores del sector Energía o aquellos investigadores en fisicoquímica biológica que colaboran en nanociencia y nanotecnología y que, si bien publican en nanociencia y nanotecnología a través de dicho sector específico del INIFTA, dicen pertenecer, respectivamente, a los sectores de Energía y de Fisicoquímica y no al de Nanociencia y Nanotecnología.

Un aspecto adicional respecto de los datos precedentes refiere, por otro lado, a la distinción conceptual entre investigadores y becarios, de gran relevancia –según argumentamos– en la conceptualización de Salvarezza acerca de los procesos formativos que se examinan en el libro.

### Hitos en una periodización

La referencia a algunos científicos integrantes del CINN en Buenos Aires, Bariloche y La Plata, en cuyo contexto el examen del INIFTA se profundiza, permite situar temporalmente la investigación desarrollada a partir del año 2011 en aquello que hemos conceptualizado como un tercer período de la nanociencia y la nanotecnología en el país.

Dicha conceptualización supone una periodización en tres etapas, que en el capítulo se propone en forma de hipótesis.

La periodización propuesta aporta elementos de análisis en el examen de la conformación de la nanociencia y la nanotecnología en la Argentina. Esta es considerada en estrecha relación con los desarrollos que se van produciendo en dicho espacio conceptual a nivel internacional, a partir de una serie de hitos cuya formulación –es importante aclarar–, sin pretender ser exhaustiva, podría ser ampliada y profundizada en estudios futuros.

Entre los hitos considerados para la formulación del *primer período*, se enfatiza el proceso a través del cual Gerd Binnig y Heinrich Rohrer diseñaron el microscopio de efecto túnel (*the scanning tunneling microscope*, STM) por el cual ambos científicos recibieron el premio Nobel de Física en 1986, contribuyendo así a la creación de un nuevo espacio conceptual: el de la nanociencia y la nanotecnología.

La investigación desarrollada en el INIFTA nos ha permitido formular otros dos hitos que se presentan a continuación. Están estrechamente relacionados, por un lado, con los estudios posdoctorales que Roberto Salvarezza realiza con los discípulos de los premios Nobel que idearon el STM, a partir de una decisión tomada por el científico en el contexto

de una institución como el INIFTA que, desde ese entonces, priorizaba el aprendizaje de nuevas técnicas.

De forma complementaria, la *expertise* que Salvarezza adquiere y desarrolla conjuntamente con los discípulos de los premios Nobel en foco, de gran relevancia en las investigaciones en las cuales se especializa, conduce al científico a la creación, en 1992, del primer Laboratorio de Microscopía de Efecto Túnel del país, en el INIFTA.

El hito considerado para datar el comienzo del *segundo período* refiere a una iniciativa norteamericana que –según Roberto Salvarezza– dataría aproximadamente del año 2000 y que habría sido ideada para contribuir al desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología a nivel mundial. Esa iniciativa tendría, también, importantes repercusiones en la profundización del desarrollo de dicha disciplina en ña Argentina.

En efecto, en 2003, la entonces Secretaría de Ciencia y Técnica convoca al primer concurso de Áreas de Vacancia en Argentina (PAV 2004), entre las cuales se incluye el área de Nanociencia y Nanotecnología, con el objetivo de contribuir a la conformación de redes.

Como resultado del concurso, cuatro redes en Nanociencia y Nanotecnología obtienen financiación.

¿Cómo se fueron conformando dichas redes? Entre los elementos considerados relevantes por el propio Salvarezza (en la entrevista), se destacan aquellos expresados a través de palabras tales como “contactos”, “conexiones”, “cooperaciones”, cuando afirma: *“La Plata recibió el subsidio en 2007, pero el contacto efectuado para escribir los proyectos hizo que los investigadores empezaran a trabajar en 2004, 2005”*.

Y añade Salvarezza:

*...nosotros teníamos una red de sesenta investigadores con INQUIMAE, CONEA y demás, y ya establecimos conexiones, de forma tal que, aunque no tuviéramos el dinero del concurso de convocatoria para la conformación de redes, cada uno de los integrantes de la red tenía su dinero.*

*Se hicieron cooperaciones –agrega el científico– que se profundizaron cuando se recibió la financiación.*

Dicho período, que podríamos denominar la etapa de la conformación de redes, es de gran importancia en las reflexiones acerca del desarrollo de la nanociencia y nanotecnología en la Argentina. Esas reflexiones se basan en el informe que se presenta a continuación.

## **El INIFTA en el estudio comparativo de conformación de redes de instituciones científicas (2000-2006)**

La conformación de redes de instituciones científicas es uno de los elementos relevantes a considerar en el examen del INIFTA, en el contexto de aquello que se convertiría en el CINN. Al respecto, a continuación se examinan algunos aspectos de “Nanotecnología: tendencias recientes en investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D). Argentina en el contexto internacional” (2008), informe que elaboró Mario Albornoz sobre dicha temática junto con un equipo de colaboradores.

Del Informe 2008 se señalan –por su relevancia en el examen del presente capítulo– algunos elementos cuyo análisis contribuye al estudio comparativo de la conformación de redes en 2000 y 2006, redes detectadas en base a la consideración de la firma conjunta de artículos científicos como indicadores de lazos dentro de una red de instituciones. Una de las constataciones del Informe 2008 es que así como la colaboración internacional se ha incrementado en los últimos años, también se ha registrado un aumento de las firmas conjuntas de artículos entre instituciones en la producción a nivel nacional.

Según el enfoque de firma conjunta de artículos, en el año 2000 la red de instituciones argentinas con producción científica en nanotecnología estaba compuesta por tres subredes, aglutinadas en torno a las instituciones con mayor producción en la temática: UBA, UNLP y CNEA. Aunque cada una de las instituciones que componen las tres subredes contaba a su vez con una serie de instituciones satélites, el aspecto enfatizado por el Informe 2008 es que las instituciones de las tres subredes estaban poco conectadas entre sí.

En el año 2000 la red contaba con una escasa integración general, observación que en el Informe 2008 se correspondía con la detección de un vacío en el centro del gráfico “Red de instituciones argentinas con producción científica en nanotecnología (2000)”, siendo el INQUIMAE (de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA), la única institución que mantenía lazos simultáneos con otras instituciones.

En 2006 –según el Informe 2008– se detectan cambios muy importantes, no solo por el incremento del número de instituciones existentes respecto del año 2000 y por el aumento de la cantidad de relaciones entre ellas, sino porque el centro del gráfico “Red de instituciones argentinas con producción científica en nanotecnología (2006)” pasa a estar ocupado por varias instituciones. Este fenómeno permite a los autores

del Informe 2008 formular la existencia de aquello que conceptualizan como un “camino fuerte de información” entre las principales instituciones con mayor actividad en el desarrollo de la nanotecnología: UNLP, INIFTA, INQUIMAE, UBA y CNEA.

La apreciación de los autores del Informe 2008 es que en el lapso transcurrido entre 2000 y 2006, las subredes que se conformaban alrededor de las instituciones más grandes se han integrado, moviéndose hacia el centro del gráfico e incrementando considerablemente las relaciones que mantienen entre sí.

Teniendo en consideración que dicha integración de instituciones coincide con el financiamiento otorgado a partir de 2004 por la ANPCYT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica) a proyectos en nanotecnología como una de las áreas de vacancia, en el Informe 2008 se sugiere que la reconfiguración de las relaciones entre las instituciones, observada en 2006, podría estar en buena medida impulsada por estos proyectos. Con fondos de unos cuatro millones de pesos, dichos proyectos tenían como requisito la integración de las redes entre varias instituciones. Los resultados comienzan a vislumbrarse en revistas internacionales de primera línea a partir de 2005 y 2006.

El denominado indicador de intermediación es otro de los elementos a considerar en el Informe 2008 respecto de la relevancia del INIFTA. Allí se da cuenta de la “frecuencia con que un nodo aparece en el camino más corto entre otros dos”, medida que –en el Informe 2008– se interpreta como un “indicador de la capacidad de controlar el flujo de información por parte del nodo”. Al respecto, “si en el año 2000 el INIFTA contaba con una cantidad importante de instituciones aunque sin demasiadas vinculaciones –circunstancia que lo situaba en una posición periférica del gráfico de “Red de instituciones argentinas con producción científica en nanotecnología 2000”–, en 2006 dicha institución pasó a ocupar un lugar central en la red, siendo –según el Informe 2008– uno de los más importantes articuladores de relaciones”.

El Informe 2008 presenta la nanotecnología como un campo fuertemente vinculado con el exterior, observación de gran relevancia a ser tenida en cuenta en la investigación.

La necesidad de grandes equipamientos para llevar adelante las investigaciones es considerada una de las causas de la fuerte colaboración internacional en ese campo. Es importante enfatizar que esa cooperación implica a su vez el establecimiento de acuerdos entre grupos de distintos países para llevar a cabo los experimentos en los que se basan los nume-

rosos artículos científicos y que aquello que los autores del Informe 2008 denominan “la huella de dicha colaboración” queda luego asentada en la firma conjunta de trabajos. Hasta aquí el Informe 2008.

El *tercer período*, que podríamos denominar de consolidación de la nanociencia y nanotecnología, consistiría en la profundización de las actividades de investigación y desarrollo del período anterior, extendiéndose desde la creación del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN) en 2008 –por parte de un grupo de investigadores de las redes en Nanociencia y Nanotecnología mencionadas– hasta la actualidad.

Algunos de los científicos que componen el CINN se sitúan en Buenos Aires, Bariloche y La Plata.

Las ideas más importantes que subyacen en la creación del CINN (sintetizadas en el sitio oficial web) permiten conceptualizarlo como un centro de excelencia. El énfasis en la interdisciplinariedad, la importancia del CINN en la “generación de conocimientos básicos” y en la “formación de recursos humanos” que contribuyan al desarrollo de la nanotecnología, la relevancia del CINN en la articulación de las capacidades de excelencia existentes en el país y en la creación de nuevas capacidades científicas son otros de los elementos enfatizados.

### **Las especificidades del INIFTA en el contexto del CINN**

¿Cuáles serían las diferencias específicas que cada uno de los integrantes del CINN en Buenos Aires, Bariloche y La Plata aporta considerando la importancia de la complementariedad entre ellos para el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología?

La respuesta a ese interrogante planteado durante el diálogo que mantuvimos con Roberto Salvarezza en el transcurso de la investigación contiene algunos elementos adicionales para profundizar el estudio de las especificidades del INIFTA en dicho contexto.

Uno de los elementos clave –entre los detectados– es la conceptualización del INIFTA en términos de interfase entre la física y la química, interfase considerada en dos niveles: el de los conocimientos (en alusión a los desarrollados en fisicoquímica) y el de las técnicas, en especial, en este caso, aquellas que se basan en la utilización del *scanning tunneling microscope* (STM) y las técnicas de absorción de rayos X.

A la idea de interfase que caracterizaría el “perfil” y las *expertises* del sector de Nanociencia y Nanotecnología en el INIFTA, se añade la de interdisciplinariedad, tal como puede apreciarse en la formulación de Salvarezza cuando afirma: “*nosotros somos netamente fisicoquímicos y, quizás, los más interdisciplinarios*”.

Continuando con la caracterización del científico, dice Salvarezza:

*... el perfil del INQUIMAE-UBA –en alusión a uno de los grupos de investigadores integrantes del CINN en Buenos Aires– es netamente químico. Si bien en dicho instituto hay investigadores en fisicoquímica, INQUIMAE-UBA es netamente un instituto de química, más específicamente, de química sintética. Algunos de los investigadores de dicho instituto que se especializan en química inorgánica sintetizan moléculas que pueden proveer al INIFTA y desarrollan expertises en diferentes técnicas, de las que el INIFTA carece.*

Los investigadores del CINN en Bariloche, por su parte, trabajan con dispositivos, arman circuitos, hacen modelos de simulación y “*nos proveen –según específica Salvarezza– de técnicas de la física como láseres, microscopías electrónicas, las espectroscopías Raman. Son quienes más han contribuido –añade el científico– en espectroscopías de ópticas*”.

Los ejemplos aludidos aportan elementos de análisis para reflexionar acerca de la complementariedad entre los investigadores que integran el CINN en Buenos Aires, Bariloche y La Plata, considerados en términos de conocimientos y *expertises*.

La conceptualización del INIFTA como interfase y la relevancia de dicha especificidad en los procesos creativos son analizadas en las conclusiones del libro.



# **Capítulo IV. Motivaciones y esquemas cognitivos en la frontera del conocimiento. Un estudio acerca de los nanomateriales con aplicaciones biomédicas**

## **Introducción**

Las investigaciones que los científicos realizan en la frontera del conocimiento contribuyen al incremento del conocimiento en ciencia básica y al desarrollo de numerosas aplicaciones.

En el caso específico en estudio en este capítulo, las reflexiones se focalizan en la nanociencia y en las posibles aplicaciones nanotecnológicas.

¿Cuál es la importancia de analizar las conceptualizaciones acerca de los temas de investigación respecto de los cuales los científicos en foco se consideran consolidados en relación con aquellos temas que se sitúan en la frontera del conocimiento?

¿Qué pueden aportar dichas investigaciones al desarrollo de la ciencia en términos de informaciones y conocimientos, así como al desarrollo de las aplicaciones? y ¿cómo dichas informaciones y conocimientos pueden influir, a su vez, en la formulación de nuevas conceptualizaciones, configuraciones, reconfiguraciones conceptuales y teorizaciones?

¿Cuáles son las motivaciones de los científicos que investigan en la frontera del conocimiento y cuál es su relevancia en el descubrimiento científico?, ¿cuáles son las habilidades cognitivas que pueden contribuir a la realización de dichas investigaciones? y ¿cuál es la relación entre motivaciones y habilidades cognitivas en su desarrollo?

¿Cuál es la importancia de focalizar el examen en el concepto de esquema cognitivo en la creación de interpretaciones complejas, especialmente en el caso de las investigaciones en estudio?

Teniendo en consideración los interrogantes planteados, el objetivo del presente capítulo es el de profundizar el estudio de la relación entre motivaciones y esquemas cognitivos, con especial énfasis en la detección de las habilidades cognitivas que contribuyan al desarrollo de las investigaciones que los científicos realizan en la frontera del conocimiento así

como a las posibles aplicaciones, en base a una investigación focalizada en el caso de los nanomateriales con aplicaciones en biología.

Por las extraordinarias propiedades que exhiben en la escala en estudio, las nanopartículas de oro son los nanomateriales abordados en este capítulo.

En particular, a causa de las pequeñas dimensiones que presentan en dicha escala, las nanopartículas de oro pueden atravesar membranas celulares y ser incorporadas en sistemas biológicos, razón por la cual el conocimiento del control preciso de la materia en la nanoescala y su protección para que las nanopartículas de oro sean solubles en agua adquiere especial relevancia en el desarrollo de las aplicaciones biomédicas. Las nanopartículas de oro también podrían ser usadas, por ejemplo, en terapias térmicas del cáncer.

En el contexto de la investigación que se desarrolla desde 2011 entre científicos que realizan investigaciones en nanociencia y efectúan aplicaciones en nanotecnología, las reflexiones que se realizan en este capítulo se basan en una de las investigaciones relevantes desarrolladas en el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la ciudad de La Plata.

Dicha investigación es examinada a través del análisis de una serie de entrevistas en profundidad que le realicé a Roberto Salvarezza en 2011, cuando se desempeñaba como director del INIFTA.

El diálogo que mantuvimos con el científico a través de las entrevistas es enriquecido por el estudio y la reflexión de algunos resultados de la investigación desarrollada, en base a artículos específicos suministrados por el investigador.

Citado textualmente o formulado en forma resumida, el relevante material empírico acerca del cual se reflexiona en este capítulo es examinado con especial énfasis en el estudio y la profundización del concepto de esquema cognitivo, al que se considera en estrecha relación con la noción de motivación (D'Andrade, 2000 [1995]; D'Andrade y Strauss, 1999).

Por los elementos de análisis que aportan en el examen y la reflexión de los conceptos de motivación y esquema cognitivo, la realización de entrevistas en profundidad adquiere especial importancia en las investigaciones que –como en el caso en estudio presentado en este capítulo– son desarrolladas desde el abordaje de la antropología cognitiva.

La pertinencia de ese enfoque en el examen de la relación entre motivaciones y esquemas cognitivos detectada en la investigación consiste, adicionalmente, en aquello que el abordaje supone, es decir, que en las

representaciones cognitivas, los pensamientos y sentimientos –examinados en el caso específico en estudio, respecto de las motivaciones– están relacionados.

### **La relevancia del estudio relacional de motivaciones y esquemas cognitivos en las investigaciones en la frontera del conocimiento**

En los desarrollos que se presentan a continuación, el examen se centra en algunas de las motivaciones específicas de Roberto Salvarezza, detectadas en la investigación en base al análisis de entrevistas en profundidad.

Es a partir del examen de aquello que el científico formula como “concepción” y de su conceptualización en términos de “esquema cognitivo” –según argumentamos– que los motivos pueden ser detectados.

El análisis de las entrevistas en profundidad realizadas nos permite reflexionar también sobre la relevancia que los conceptos de esquema cognitivo y motivación adquieren en la investigación en foco, considerando dichos conceptos en forma relacional.

A dicha reflexión contribuyen las elaboraciones de Roy D’Andrade (2000 [1995]), quien conceptualiza los motivos en estrecha relación con los objetivos, de forma tal que para que un objetivo sea considerado un motivo, tiene que presentar cierto grado de autonomía. Alcanzar dicho objetivo supone la realización de un esfuerzo, que el autor conceptualiza como “fuerza motivacional”.

El esquema cognitivo, a su vez, es conceptualizado por Roy D’Andrade (2000 [1995]) como una estructura conceptual, más específicamente, como un artefacto de reconocimiento mental que posibilita la creación de interpretaciones complejas, flexibles, de un sistema configuracional. En las elaboraciones del autor, dicha formulación supone una idea de esquema cognitivo como procesador, que por la relevancia que adquiere en el análisis de la investigación en foco, es profundizado en este capítulo. Al respecto, es importante hacer notar que mientras que la teoría del esquema no es nueva, ha habido un gran cambio en la conceptualización de dicha noción a partir de la formulación de un abordaje denominado conexionista (o *parallel distributed processing*) (Strauss y Quinn, 1997).

Teniendo en cuenta que los modelos conexionistas son especialmente relevantes en aquello que atañe al procesamiento de la información y a los procesos de aprendizaje, la conceptualización del esquema cognitivo en dicho abordaje adquiere especial relevancia –según argumentamos–

en las investigaciones que, como en el caso en estudio, se desarrollan en la frontera del conocimiento.

En las elaboraciones de Roy D'Andrade (2000 [1995]), los esquemas cognitivos denominados también “sistemas interpretativos” presentan una organización jerárquica. En tal sentido, las interpretaciones provistas por un esquema cognitivo serían transmitidas a otros sistemas cognitivos de niveles más elevados, con el fin de alcanzar mayores niveles de generalidad en la interpretación. En las reflexiones del autor, los sistemas cognitivos de niveles más elevados pueden ser considerados como objetivos o guías para la acción, lo cual le permite a Roy D'Andrade formular que dichos esquemas cognitivos poseen una fuerza motivacional.

En el caso específico en estudio, los motivos que Roberto Salvarezza conceptualiza en términos de “curiosidad” pueden analizarse –según argumentamos– en base a una relación que puede establecerse entre los temas de investigación que subyacen en dicho esquema cognitivo.

En efecto, ante la consulta sobre los principales campos de interés, de especialización y sobre las investigaciones más relevantes en desarrollo en el momento de las entrevistas en profundidad que le realicé en 2011, el científico se refiere, por un lado, a los “temas de *expertise*” respecto de los cuales se considera consolidado y, por el otro, a otros temas “nuevos y en la frontera del conocimiento”. Los primeros aluden a las microscopías de efecto túnel y a los diseños de autoensamblado molecular, y los segundos corresponden a los temas nuevos que desarrolla en la frontera del conocimiento, a las investigaciones focalizadas en el estudio de los nanomateriales con aplicaciones en biología.

Esta distinción entre temas de investigación aporta relevantes elementos de análisis para examinar más en detalle la “concepción” expresada por Roberto Salvarezza en las entrevistas realizadas. La profundización de dicha distinción permite también comenzar a detectar algunas de las motivaciones específicas del científico en relación con las investigaciones que realiza. Al respecto –en su conceptualización–, la “incursión en temas nuevos” está relacionada con una idea de “movimiento hacia la frontera del conocimiento”, acerca de cuya especificidad nos proponemos reflexionar para examinar las motivaciones y los esquemas cognitivos del investigador.

En efecto, “*dicho movimiento no es disruptivo*” –explica Roberto Salvarezza en una de las entrevistas–, es decir, “*que se van manteniendo temas de expertise y se van incorporando temas nuevos en los que se está empezando y respecto de los cuales, a la base que ya se tenía, se agregan cosas nuevas*”.

La conceptualización del movimiento como no disruptivo supone no solo la existencia de una relación entre los temas de *expertise* y los temas nuevos en la frontera del conocimiento que se van incorporando, sino también la relevancia de considerar dicha relación en el examen que nos proponemos realizar.

El estudio de la existencia de dicha relación entre temas de investigación en el caso en estudio supone el examen de las *expertises* alcanzadas en el diseño de los sistemas de autoensamblado molecular y el análisis de la contribución de esas *expertises* en la detección y conceptualización de nuevas configuraciones.

Al respecto, es importante señalar que Roberto Salvarezza dirige uno de los grupos más reconocidos en el diseño de esos sistemas a nivel mundial.

El aporte de las microscopías de efecto túnel en la detección de nuevas configuraciones de sistemas de autoensamblado y de autoorganización molecular es otro de los aspectos a considerar en el estudio de la relación entre los temas de *expertise* y los temas nuevos en la frontera del conocimiento, distinguidos por el investigador.

La técnica de obtención de información que consideramos en el contexto del abordaje multitécnico es una de las más importantes *expertises* desarrolladas por el científico.

La reflexión acerca del movimiento hacia la frontera del conocimiento presenta otro aspecto de gran interés. En efecto, reconociendo la importancia de la biomedicina, de la biología y de la medicina en la Argentina, lo cual conduce al doctor Roberto Salvarezza a enfatizar “*tenemos premios Nobel*”, uno de los desafíos que el desarrollo de estas investigaciones supone –en las formulaciones del científico– es el de “*mejorar el conocimiento del control de la materia en la escala nanométrica, para poder contribuir así al desarrollo en ciencia básica y efectuar aplicaciones biomédicas*”.

La reflexión precedente no es un tema menor, no solo por la relevancia de las especificidades locales en el desarrollo de la ciencia, sino también porque en dicha reflexión subyace una alusión a la existencia de investigaciones realizadas por los premios Nobel, que suponen desarrollos en la frontera del conocimiento.

En base a las elaboraciones de Roy D’Andrade (2000 [1995]), consideramos que la exposición de los investigadores a aquello que podría ser conceptualizado como aspectos culturales relevantes detectados en dicho contexto tiene que ser examinada en estrecha relación con la internalización de los aspectos aludidos. Estos son sostenidos con especial

firmeza por Roberto Salvarezza, tal como se desprende del estudio de las motivaciones referidas por el investigador.

En las formulaciones de Salvarezza, dichas motivaciones se describen específicamente en términos de “curiosidad”, “*una curiosidad por lo nuevo en ciencia en la frontera del conocimiento*”, estrechamente relacionada con la posibilidad de “*aportar nuevos conocimientos en ciencia básica y de contribuir al desarrollo de las aplicaciones biomédicas*”.

Es también una curiosidad por las investigaciones que otros científicos realizan en pos del desarrollo de dicha frontera, en base a cuya lectura y reflexión es posible contribuir –según argumenta– a la formulación de nuevos conceptos y nuevas configuraciones.

La “curiosidad” así formulada –según hipotetizamos– puede ser conceptualizada, según las elaboraciones de Roy D’Andrade (2000 [1995]), como una “fuerza motivacional”, aquella que impulsa la investigación que Roberto Salvarezza y el grupo de científicos considerados en el estudio en que se basa este capítulo desarrollan en la frontera del conocimiento.

### **Incrementos del conocimiento en ciencia básica en la formulación de nuevas conceptualizaciones y configuraciones**

Con la idea de aportar nuevos elementos de análisis que nos permitan profundizar la relación entre motivaciones (expresadas en términos de curiosidad) y esquemas cognitivos, a continuación el examen se focaliza en una de las investigaciones que Roberto Salvarezza y el grupo de científicos en foco desarrollan en la frontera del conocimiento, algunos de cuyos resultados fueron plasmados en el artículo “Synthesis and characterization of Gold@Gold(I)-Thiomalate core@Shell Nanoparticles”.

El significado de la “@” en el título del artículo, profundizado a través de la lectura y reflexión del texto suministrado por el investigador, fue uno de los aspectos abordados en una de las entrevistas en profundidad que le realicé en 2011. La respuesta del científico ante dicha consulta fue una gran contribución al análisis por lo que permitió detectar.

En efecto, el significado de la @ debía ser interpretado en el contexto de una “jerga” que, siguiendo la definición de *The Heritage Illustrated Dictionary of The English Language* (1973), hemos conceptualizado como un “lenguaje técnico”. Aplicada específicamente al lenguaje técnico de los químicos, la @ estaría indicando la existencia de una “estructura core shell”.

En la explicación acerca del trazado de la @, Salvarezza expresaba que *“si se esquematizara dicha estructura, podría distinguirse una parte interna –que sería el ‘core’ de la partícula o ‘núcleo’–, y un ‘shell’, –que consistiría en otro material, como por ejemplo una cáscara– que rodea a dicha parte interna”*.

*“Algunas estructuras core shell son metálicas –añade el científico–, pudiendo ser, por ejemplo, de oro”*. En este caso, *“dicha estructura presenta un núcleo o core rodeado por algo diferente, un shell (de oro) sintetizado con una sustancia química”*.

En el título del artículo –especifica el investigador refiriéndose a la nanopartícula–, *“Gold@ es el core (de oro) y Gold (I) el tiomalato, la especie orgánica”*.

*“El core u oro metálico (Gold@) –continúa– estaría recubierto por un oro Gold (I)”,* respecto del cual *“el (I) significa que los átomos de oro han sido oxidados por el ácido tiomálico”*.

La estructura *core shell* consistiría, entonces, en una nanopartícula de oro que sería el *core* o núcleo de dicha estructura, recubierta por un *shell* (o cáscara) de oro que ha sido modificado, oxidado con ácido tiomálico, siendo el tiomalato de oro otra especie química.

A la distinción conceptual entre un *core* y un *shell* que dicha estructura supone –ya que, según explica Salvarezza, *“podría estar todo mezclado”*– se añade que las especies químicas, así distinguidas, son conceptualizadas en forma relacional.

## ¿Cuál fue el objetivo del estudio?

La profundización del significado de la @ en el título del artículo en estudio y de la relevancia de la formulación del concepto de estructura *core shell* en la investigación supone, previamente, focalizar la atención en un interrogante: ¿cuál fue el objetivo inicial del estudio?

Al respecto, *“la idea inicial de la investigación, considerando la relevancia que las nanopartículas de oro pueden tener en las aplicaciones biomédicas –explica Roberto Salvarezza–, era la de proteger las nanopartículas de oro rodeándolas con una capa molecular”*.

Podríamos preguntarnos, además, ¿por qué es tan importante el recubrimiento de las nanopartículas?

*Como en la escala nanométrica la materia presenta propiedades extraordinarias –continúa el científico–, es necesario que las partículas de oro sean prote-*

*gidas evitando su agregación y crecimiento. Para ello es necesario controlar el tamaño de las nanopartículas, lo cual supone protegerlas, recubriéndolas con moléculas orgánicas.*

En el ejemplo desarrollado en el artículo es un tiol, el ácido tiomálico, el que se utilizó con esos fines. El oro metálico modificado con el ácido tiomálico no solo permitiría proteger las nanopartículas de oro manteniendo su tamaño, sino también posibilitaría que estas sean solubles en agua, condición necesaria para su aplicación en sistemas biológicos.

A la vez, entender cómo se efectúa dicho control supone previamente examinar cómo crece una nanopartícula de oro.

*Una nanopartícula de oro crece agregando átomos de oro –explica Salvarezza ante la consulta formulada en una de las entrevistas– porque desde el punto de vista de la termodinámica, una nanopartícula de 1 nanómetro es inestable ya que tiene un exceso de área respecto del volumen y, por lo tanto, tiende a crecer, a que el volumen sea mayor. Es por eso que las nanopartículas de oro tienden a aglomerarse, a agruparse.*

El crecimiento de las nanopartículas de oro, es decir, el incremento en el tamaño de dichas nanopartículas –continúa Salvarezza– se controla

*protegiendo la superficie de las nanopartículas en foco con cadenas de tioles para que no se aglomeren y puedan mantener sus propiedades extraordinarias, de forma tal que dichas nanopartículas protegidas y de tamaño controlado posibiliten efectuar, por ejemplo –entre otras aplicaciones–, el envío de medicamentos a las células de un sistema biológico a través de las membranas del sistema.*

Y esto puede hacerse, por lo menos, de dos formas –según explica–, “a través de cadenas de tioles muy largas, o mediante una cantidad mayor de cadenas de tioles, pero más cortitas, para que en las nanopartículas no se continúen agregando átomos de oro”.

La reflexión acerca del objetivo inicial de la investigación desarrollada por el grupo de científicos en foco permite detectar aportes específicos relacionados con el incremento en el conocimiento del control de la materia en la nanoescala, los cuales contribuyen, a su vez, al desarrollo del conocimiento en ciencia básica y a las posibilidades de realizar aplicaciones biomédicas.

Examinar el aporte de nuevos conocimientos en ciencia básica, así como estudiar la importancia de dicha contribución en la formulación de nuevas conceptualizaciones y configuraciones, supone, además, considerar la relevancia de otros conocimientos previamente adquiridos como, por ejemplo, los relacionados con la influencia de la termodinámica en el crecimiento de las nanopartículas.

La distinción conceptual entre la superficie y el volumen de las nanopartículas, así como la formulación del concepto de interfase –noción en base a la cual se examinan las interacciones de las nanopartículas con el medio posibilitando, de esta forma, el desarrollo de las aplicaciones biomédicas–, son otros ejemplos de conocimientos previamente adquiridos a considerar en el análisis. Su importancia consiste en aquello que dichos conocimientos pueden aportar respecto, por ejemplo, de la formulación de una explicación acerca del crecimiento de las nanopartículas y, por ende, del conocimiento del control de la materia en la nanoescala.

Hemos comenzado a examinar algunos de los hallazgos realizados por Roberto Salvarezza y el grupo de científicos junto a quienes desarrolla sus investigaciones en la frontera del conocimiento, focalizando la reflexión acerca del trazado de la @ a través de la cual dichos investigadores esquematizan la estructura *core shell*.

En base a la profundización de esos hallazgos, la reflexión acerca del trazado en forma de @, desarrollada conjuntamente con la de la estructura *core shell*, pareciera adquirir una nueva dinámica y una nueva dimensionalidad.

A partir de la distinción y disposición espacial de dos especies químicas consideradas en una misma estructura (*core shell*) y en forma relacional, la @ puede ser conceptualizada en términos de una dinámica o, más específicamente, de una termodinámica cuyo conocimiento contribuye, a su vez, al conocimiento del control de la materia en la nanoescala.

## **El abordaje multitécnico**

Entender qué elementos de análisis permitieron a los investigadores formular el concepto de estructura *core shell*, cuáles fueron los problemas que tuvieron que enfrentar al caracterizar la muestra en estudio y, más aún, cómo superaron las dificultades planteadas supone, previamente, considerar algunas de las técnicas utilizadas por los científicos en dicha

caracterización. Estas nos permitirán reflexionar, a su vez, acerca del abordaje multitécnico en foco.

*“Aplicamos una batería de técnicas para conocer, con mucha precisión, la composición química, el tamaño de las nanopartículas y su distribución espacial, todo lo que podamos saber acerca del sistema en la nanoescala”*, señala Salvarezza.

Referida al abordaje multitécnico, la formulación precedente está estrechamente relacionada con el problema del conocimiento del control de la materia en la nanoescala.

Uno de los primeros aspectos a considerar en el examen de las técnicas es que mientras algunas de ellas proveen información, otras son técnicas de construcción. A su vez, entre las técnicas mediante las cuales se obtiene la información que permite caracterizar el material en estudio –que son aquellas en las que nos focalizaremos en este capítulo–, *“unas exploran todo el material y otras, la superficie del material”* –según el investigador–, y pueden ser denominadas, respectivamente, como técnicas de volumen y de superficie.

La diferenciación entre las técnicas que proveen información está estrechamente relacionada con la distinción conceptual entre la superficie y el volumen de las nanopartículas. En la formulación del científico, la superficie es conceptualizada como la capa final, la capa que está en contacto con otro ambiente, la capa límite. Considerada como una interfase, es absolutamente distinta del volumen, que nunca estaría en contacto con otro ambiente.

En cuanto al control de la materia en la nanoescala, específicamente, el control químico de la muestra en estudio, los investigadores utilizaron una técnica basada en la *X-ray photoelectron spectroscopy* (XPS, por su sigla en inglés). A través de la medición de los electrones emitidos por la muestra, al ser irradiada con rayos X, la técnica provee información química de las primeras capas de la superficie de la materia en estudio. Más específicamente, la información química que se obtiene con esta técnica de superficie proviene, en gran medida, de los electrones de la última capa de la superficie, si bien –en la explicación de Salvarezza– *“a dicha medición contribuyen también los electrones que escapan de las capas inmediatamente anteriores a la última capa de dicha superficie, en los últimos 2 nanómetros”*, tornando más precisa dicha medición.

¿Cuál es el sentido de la relevancia de la “precisión” en la medición en el caso en estudio? y ¿cuál es su importancia específica respecto de la investigación en foco?

El hecho de que la información obtenida mediante la utilización del XPS provenga no solo de la última capa sino de los últimos 2 nanómetros adquiere especial relevancia en el caso en estudio. En efecto, a través de la medición de una señal que indica la presencia de una determinada composición química, es posible detectar la existencia no solo de una molécula de oro sino también “*de un poco más*” –según el científico–, en alusión a la presencia de otros elementos químicos en la muestra como, por ejemplo, el azufre o dicho elemento químico bajo la forma de *thiolate*. Este es el sentido de la relevancia de la “precisión” del control químico en el caso específico de la muestra en estudio.

Esta técnica de superficie que provee información sobre la composición química de la muestra en estudio y efectuada a través de XPS permitió detectar –según explica Salvarezza– “*la presencia de oro (I) además del oro en estado metálico y por otro lado sabíamos que la partícula metálica era muy pequeña*”.

Luego de haber establecido la naturaleza química de los dominios presentes en la muestra en estudio en base a la utilización de XPS, la información obtenida mediante una técnica basada en SAXS (*small-angle X-ray scattering*, por su sigla en inglés) permitió inferir la distribución y el ordenamiento geométrico de las especies químicas detectadas en dicha muestra, es decir, el *core* de oro y el halo de oro modificado, oxidado con ácido tiomálico que rodea al núcleo de la nanopartícula, que conforman la estructura *core shell*. Dicha técnica también permitió medir el diámetro de la nanopartícula de oro en estudio.

Otra técnica aportó elementos de análisis para conceptualizar –en base a inferencias– la estructura en estudio como *core shell*, al tiempo que proporcionó información acerca del tamaño de las nanopartículas de oro en foco, es la que los científicos efectuaron a través de la *extended x-ray absorption fine structure* (EXAFS, por su sigla en inglés). Utilizada para caracterizar la geometría y estructura de las nanopartículas, la técnica basada en EXAFS es conceptualizada, como la SAXS, entre las técnicas de volumen.

A través de una señal que indica la cantidad de energía absorbida por el volumen de una nanopartícula al ser irradiada con rayos X, esta técnica provee información acerca del número de coordinación que relaciona la cantidad de átomos de volumen con los que un átomo de la superficie está ligado.

Cuanto más pequeña es una nanopartícula, más superficie tiene y menos volumen presenta, por lo cual el número de coordinación es más

bajo. Cuanto más grande es la nanopartícula, menos átomos presenta en la superficie en relación con los del volumen, y el número de coordinación aumenta.

Esto se explica –según Salvarezza– porque el crecimiento de los átomos de la superficie es más lento que el correspondiente al volumen. Más específicamente, mientras que los átomos en volumen crecen a razón de  $r$  al cubo, los átomos de la superficie lo hacen a razón de  $r$  al cuadrado, es decir, que el aumento del radio ( $r$ ) de la nanopartícula contribuye al incremento de su volumen. La técnica basada en EXAFS, entonces, provee información indirecta acerca del tamaño de la nanopartícula a través de un número de coordinación.

Al respecto, la medición obtenida por los investigadores al caracterizar la muestra en estudio mediante la técnica basada en EXAFS indicaba un número de coordinación muy bajo. Este proveía información indirecta acerca del tamaño de la nanopartícula, la cual –añade a la explicación Salvarezza– debía ser muy pequeña.

Dicha estimación de tamaño supone ciertas condiciones referidas a la forma de las nanopartículas, específicamente, a su esfericidad.

Al respecto, el microscopio de efecto túnel (*scanning tunneling microscopy*) permitió observar que las nanopartículas tenían una forma *quasi* esférica de gran importancia, considerando la incidencia de la forma de la nanopartícula en la estimación de su tamaño.

Es importante enfatizar que una de las *expertises* más importantes entre las desarrolladas por Roberto Salvarezza se basa en la utilización del STM, ya que la microscopía de efecto túnel es la única técnica –entre las examinadas en el abordaje multitécnico utilizado en la investigación en estudio– que permite “ver” la superficie con una resolución tal que hasta pueden observarse los átomos que la constituyen. El STM también brinda información acerca de la topografía real de la muestra en estudio, dado que permite obtener una imagen en tres dimensiones (3D). Cabe recordar que la construcción de dicha imagen se basa en la medición de una corriente de electrones establecida entre una punta conductora y una superficie conductora o semiconductor. Mediante esta técnica es posible determinar que las nanopartículas adquieren una forma *quasi* esférica.

A la vez –continuando con la explicación de la técnica basada en EXAFS– el número de coordinación  $N$  obtenido, al ser menor que el valor límite de  $N$  en el caso de las nanopartículas metálicas (de oro) de forma esférica (o *quasi* esférica), estaría indicando –según los investigadores en el artículo en foco– la presencia no solo de oro metálico, sino también

de otra fase de oro u otro aspecto del oro relacionado con una distinta fase de desarrollo, lo cual explicaría tan pequeño valor de  $N$ . Una fase metálica y una segunda fase con átomos de azufre en la primera esfera de coordinación del oro oxidado con ácido tiomálico puede producir este resultado.

En el contexto de las reflexiones sobre el control de la materia en la nanoescala (además del control químico y espacial antes examinados), el control del tamaño de las nanopartículas adquiere especial relevancia.

Como anticipamos en la introducción de este capítulo, la materia (nanopartículas) exhibe propiedades extraordinarias cuando se presenta en dicha escala. En el caso específico de la investigación en foco, los problemas planteados al intentar medir el tamaño de las nanopartículas requirieron una variedad de técnicas. La utilización de esas técnicas, en forma combinada, aporta importantes elementos de análisis en las reflexiones sobre la relevancia del abordaje multitécnico y los recaudos metodológicos a considerar –según explica Salvarezza– en el examen de dicho abordaje.

Al respecto, la información obtenida por los investigadores al caracterizar la muestra en estudio a través de la técnica basada en SAXS, también les permitió medir el diámetro de la nanopartícula de oro. La caracterización de dicha muestra a través de la técnica basada en EXAFS indicaba un número de coordinación muy bajo. Este proveía información indirecta acerca del tamaño de la nanopartícula, que debía ser muy pequeña.

El tamaño de las nanopartículas también puede inferirse midiéndolo a través del análisis de los espectros de UV-visible (UV/vis, por su sigla en inglés). En este caso, según explica Salvarezza: “*al poner las nanopartículas en un líquido es posible medir cuánto de lo irradiado fue absorbido por las mismas. El oro, por ejemplo, se caracteriza por tener un determinado pico de absorción, y según el tamaño de la nanopartícula, el pico de absorción varía pudiendo ser más pequeño, más grande o desplazarse de posición*”.

La técnica de UV/vis se denomina indirecta, porque la información que provee acerca del tamaño de la nanopartícula

*se basa en la medición de un pico de absorción de radiación, más específicamente, de la energía absorbida por los electrones de la superficie de las nanopartículas, de forma tal que cuando la partícula es muy pequeña [como en el ejemplo de la investigación en foco, según añade Salvarezza] carece del pico de absorción de energía denominado plasmón, a diferencia del caso en el que las nanopartículas se agregan y son más grandes.*

Es decir que la información que los científicos obtenían acerca de la energía absorbida por los electrones de la superficie de las nanopartículas en base a la medición de un pico de absorción realizada mediante la utilización de la técnica de UV/vis indicaba –de forma indirecta– que el tamaño de la nanopartícula era muy pequeña.

¿Qué fue aquello que sorprendió a los investigadores? La información que los científicos obtenían cuando medían la muestra con otra técnica, principalmente de volumen, que provee información sobre la geometría, tamaño y estructura interna de las nanopartículas basada, en este caso, en la utilización del microscopio de transmisión electrónica (*transmission electron microscopy*; TEM, por su sigla en inglés), indicaba que el diámetro de la nanopartícula de oro era más grande que el obtenido mediante las técnicas antes examinadas en el contexto del abordaje multitécnico.

En efecto, la información que los científicos obtenían acerca del tamaño de las nanopartículas con las técnicas de medición indirecta basadas en SAXS, EXAFS y UV/vis indicaba que las nanopartículas eran muy pequeñas, difiriendo de aquella obtenida mediante la irradiación de la muestra con un haz de electrones, en base a la utilización del TEM. La diferencia de información así obtenida respecto del tamaño de las nanopartículas “*nos condujo a pensar –reflexiona Salvarezza en una de las entrevistas– que los electrones del TEM, al irradiar con rayos x, modificaban la muestra*”.

Antes de examinar más profundamente cómo los científicos en foco comenzaron a enfrentar las incongruencias obtenidas respecto del tamaño de las nanopartículas de oro protegidas con ácido tiomálico en base a las distintas técnicas de obtención de información utilizadas en la caracterización del material en estudio, y a superar las dificultades planteadas, reflexionaremos acerca de los recaudos metodológicos a considerar ante la posibilidad de que las propias técnicas utilizadas en la caracterización de los nanoobjetos modifiquen la muestra –tal como ocurrió en la investigación en foco–, examinando dichos recaudos en forma conjunta con la relevancia que en dicho contexto adquiere el abordaje multitécnico.

## **Reflexiones acerca del abordaje multitécnico**

En las reflexiones acerca del abordaje multitécnico que se realizan a continuación, se retoma lo que se planteó en la introducción de este capítulo en forma de interrogante: ¿qué puede aportar la investigación en foco en

la frontera del conocimiento al desarrollo de la ciencia en términos de informaciones y conocimientos, así como al desarrollo de las aplicaciones?

Los elementos de análisis que aportaremos a dicha reflexión contribuirán a profundizar otro de los aspectos del interrogante planteado, esto es, ¿cómo dichas informaciones y conocimientos pueden influir, a su vez, en la formulación de nuevas conceptualizaciones, configuraciones, reconfiguraciones conceptuales y teorizaciones?, cuando reflexionemos acerca del concepto del esquema cognitivo como procesador.

La combinación de una variedad de técnicas utilizadas en el contexto del abordaje multitécnico no solo es importante para evitar estimaciones erróneas referidas al tamaño de las nanopartículas, sino que las técnicas así combinadas en dicho abordaje aportan elementos de análisis para conocer más profundamente la composición química de las moléculas en la muestra y su disposición espacial, entre otros aspectos, permitiendo inferir, por ejemplo, la presencia de una estructura conceptualizada como *core shell*.

En consecuencia, la reflexión del abordaje multitécnico está relacionada con la relevancia de la combinación de técnicas respecto de la información que estas pueden proveer para conocer más profundamente el sistema en la nanoescala y poder controlar así, con mucha precisión, el tamaño, la distribución espacial y la composición química de las nanopartículas.

La importancia de la combinación de técnicas para evitar estimaciones erróneas de algunas de las propiedades de las nanopartículas, como lo muestra el ejemplo de la medición del tamaño de las nanopartículas efectuadas a través del TEM, adquiere especial relevancia además si consideramos que medir en esta disciplina es tan importante que la medida en la escala nanométrica contribuye a la conceptualización misma de nanociencia, en alusión a todas las disciplinas que convergen en el estudio de la materia en la nanoescala, asignándole, por ello, la denominación de transdisciplinar, porque es multidisciplinar en la escala nanométrica.

Otro de los aspectos de gran relevancia a considerar en la reflexión acerca del abordaje multitécnico está relacionado con las habilidades (manuales y cognitivas) para la utilización de las técnicas y, más específicamente, con aquello que Salvarezza denomina “*expertise* en la interpretación”. En palabras del científico, “*todas las técnicas requieren un muy buen adiestramiento y expertise para la interpretación*” y “*la interpretación siempre requiere un experto*”. Más específicamente, en el caso del abordaje

multitécnico en foco, el conocimiento detallado de la materia implica “*la expertise de muchos investigadores*”.

### **La formulación de nuevas configuraciones en la frontera del conocimiento. La “estructura *core shell*” y la “configuración *staple motifs*”**

Uno de los aspectos a enfatizar en el estudio de las interpretaciones expertas se focaliza en el examen de aquello que se denomina “interpretaciones específicas” (Boden, 2004). En la formulación de la autora en sus estudios acerca de la creatividad, la importancia de las interpretaciones específicas de una imagen (por ejemplo, de una imagen visual) consiste en examinarlas en función de la contribución de dichas interpretaciones a la generación o surgimiento de *insights*.

“Sorprendentemente” es el adverbio utilizado por los investigadores en el artículo en foco al expresar su asombro ante el incremento del diámetro de las nanopartículas de oro por ellos detectado a través de la imagen obtenida en base a TEM, respecto de las mediciones del diámetro de esas mismas nanopartículas a través de la utilización de SAXS, EXAFS y UV/vis.

Argumentaremos acerca de la relevancia de examinar el *insight* originado en base a las interpretaciones específicas de una imagen obtenida con la utilización de TEM y de interpretar dicho *insight* en estrecha relación con el proceso de transformación del nanoobjeto en estudio, considerando la contribución de las interpretaciones específicas a la elaboración de las interpretaciones expertas.

En los desarrollos que se realizan a continuación, anticipamos que es a partir de la conceptualización de la estructura *core shell* a través de las inferencias formuladas por los científicos en foco en base a la investigación propia y a la curiosidad por ellos manifestada hacia los estudios que otros investigadores desarrollan en la frontera del conocimiento – como en el caso de la formulación de la configuración *staple motifs*– que los problemas de caracterización planteados respecto del tamaño de las nanopartículas de oro en estudio comienzan a ser superados.

Más aún, a partir de la conceptualización –por parte de los científicos– de la estructura *core shell* con base en las inferencias por ellos realizadas, de la formulación de un razonamiento analógico respecto del *staple motifs* –según argumentamos–, los investigadores comienzan a superar las incongruencias que se desprenden de la caracterización de la muestra

en estudio acerca del tamaño de las nanopartículas de oro, mediante las distintas técnicas examinadas. La superación de dichas incongruencias está basada en la formulación de una explicación según la cual la transformación de las nanopartículas de oro al ser irradiadas con TEM supone otra transformación, aquella que puede detectarse en la formación de los nanoobjetos, estudiados en su dinámica.

Como hemos argumentado en “La relevancia del estudio relacional de motivaciones y esquemas cognitivos en las investigaciones en la frontera del conocimiento”, los motivos –expresados por Roberto Salvarezza en términos de “curiosidad”– pueden ser examinados según la relación entre “temas de *expertise*” y “temas nuevos que se desarrollan en la frontera del conocimiento”.

A continuación, el análisis se focaliza en la curiosidad referida por Salvarezza respecto de las investigaciones que otros científicos realizan en pos del desarrollo de dicha frontera. Esta es examinada, por un lado, en estrecha relación con los sistemas de autoensamblado molecular, siendo el diseño de esos sistemas una de las *expertises* más relevantes entre las desarrolladas por el investigador. Por otro lado, la curiosidad aludida es estudiada en estrecha relación con el concepto de “*staple motifs*”, una nueva configuración detectada por los investigadores, a través de la lectura y reflexión de los temas nuevos y en la frontera del conocimiento.

La profundización del estudio de los “temas de *expertise*” y de la relevancia de su desarrollo en las investigaciones realizadas en la frontera del conocimiento supone, previamente, focalizar el examen en la conceptualización de los sistemas de autoensamblado molecular y, más aún, aportar nuevos elementos de análisis que permitan distinguirlos de los sistemas de autoorganización molecular.

En una explicación que recapitula algunas de las formulaciones aludidas, el autoensamblado molecular es una técnica que consiste en poner las moléculas en contacto con una superficie, de forma tal que estas se autoorganicen o se autoensamblen modificando así las propiedades de un material.

El diseño de dichos sistemas se efectúa mediante el conocimiento de las fuerzas intermoleculares. “*Como químicos –sintetiza Salvarezza– conocemos las interrelaciones entre las moléculas y las relaciones de las moléculas con el medio y con esta idea construimos dispositivos siendo la molécula nuestro elemento de construcción*”.

¿En qué consistiría la distinción conceptual entre sistemas de autoorganización y de autoensamblado molecular? “*En general el autoensam-*

*blado puede ser de una misma molécula. La autoorganización requiere un sistema más complicado, en el cual hay funciones diferentes. Es decir, que un sistema autoorganizado cumpliría más funciones de las que podría cumplir una monocapa autoensamblada*”, explica el científico.

La relevancia de profundizar en la distinción conceptual entre los sistemas de autoorganización y de autoensamblado molecular consiste en que esa distinción subyace en la formulación de una nueva configuración. Al respecto, reflexiona Salvarezza, *“la configuración staple motifs tal vez sea una forma superior de autoorganización”*.

¿En qué consistiría específicamente dicha configuración? Considerado *“un tema nuevo en la frontera del conocimiento, superespecializado, supertécnico”* y estrechamente relacionado con la discusión acerca de las formas de proteger las nanopartículas de oro, el *“staple motifs”* —explica Salvarezza— es la denominación que un grupo de científicos ha asignado a una configuración que consiste en una estructura de tioles sobre superficies de oro. En dicha configuración, el oro metálico está rodeado por un *shell*, es decir, por otro material respecto del cual un átomo de oro oxidado habría sido *“arrancado”* de la superficie modificada y unido a cadenas de azufre, formando una especie química diferente, es decir, un complejo de oro (I). *“La unión entre las cadenas de azufre y el oro de la superficie de la nanopartícula es tan fuerte que arrancó un átomo de oro modificado de la superficie de la nanopartícula”*, señala el científico.

¿Cuál es la relevancia de esta discusión conceptual originada en una curiosidad acerca de una nueva configuración, la del *“staple motifs”*, y cuál es la relación entre dicha distinción y la conceptualización de la *“estructura core shell”* que Salvarezza y un grupo de científicos elaboran en las investigaciones focalizadas en el estudio de los nanomateriales con aplicaciones biológicas en la frontera del conocimiento? El *“staple motifs”* sería una organización superior a la de un simple ensamblado, una configuración en la que se está formando otra especie química.

Es a partir de la distinción conceptual acerca del *“staple motifs”* que Salvarezza y el grupo de científicos en foco reflexionan acerca del sistema en estudio en sus propias investigaciones considerando dicho sistema, no ya como un ensamblado sencillo, sino como un sistema en el que un nuevo compuesto químico surge en la síntesis del *Gold(I)* y el tiomalato.

Lejos de situarse en el mismo plano, los tioles están formando un nuevo compuesto químico de oro (I), una nueva especie química, el *“tiomalato de oro”*.

En analogía con el “*staple motifs*”, la nueva configuración detectada sería conceptualizada como una estructura *core shell*.

### **Motivaciones y esquemas cognitivos en la frontera del conocimiento. El “esquema cognitivo como procesador” y la expertise en la interpretación”. Algunas consideraciones finales**

A partir del examen de aquello que permitiría desentrañar qué sucedió en el proceso de transformación de la nanopartícula de oro, reflexionaremos a continuación sobre la investigación en foco, aportando elementos de análisis para profundizar el estudio y poniendo el énfasis en la relación entre motivaciones y esquemas cognitivos, examinada en vinculación con la *expertise* en la interpretación.

Hipotetizaremos también acerca de la relevancia de considerar el “esquema cognitivo” en estrecha relación con la “*expertise* en la interpretación”, en la creación de dichas formulaciones expertas. ¿Cuál es la relevancia de la discusión conceptual originada en una curiosidad acerca de una nueva configuración –la del “*staple motifs*”– y cuál es la relación entre dicha distinción y la conceptualización de la estructura *core shell*, respecto del concepto de esquema cognitivo como procesador?

Como hemos señalado en la introducción de este capítulo, el concepto de esquema cognitivo en las elaboraciones de Roy D’Andrade (2000 [1995]) fue examinado respecto de la “concepción” expresada por Roberto Salvarezza acerca de los desarrollos en investigación, entre los que se distinguían los “temas de *expertise*” respecto de los cuales el investigador se considera consolidado, y los “temas nuevos” que se sitúan en la frontera del conocimiento.

En base a las elaboraciones de Roy D’Andrade se ha argumentado, además, que al examinar dicha “concepción” en términos de “esquemas cognitivos” se pueden detectar los motivos –expresados por el científico en términos de “curiosidad”–. Dicha motivación es definida en términos de una “curiosidad” por lo nuevo en ciencia en la frontera del conocimiento, y en relación con el aporte que esa curiosidad puede brindar al incremento del conocimiento del control de la materia en la escala nanométrica en ciencia básica y a las posibles aplicaciones biomédicas.

Es necesario enfatizar también la relevancia de la curiosidad expresada por Salvarezza respecto de las investigaciones que otros científicos realizan en la frontera del conocimiento, ya que dicha curiosidad lo

condujo al hallazgo y la reflexión acerca de la conceptualización de una nueva configuración, la del “*staple motifs*”.

Es a partir de la reflexión de una de las formulaciones de Roberto Salvarezza –quien, en alusión al tiomalato de oro como un nuevo compuesto químico que surgía en la síntesis, expresó: “*estamos viendo algo parecido al staple motifs*”– como comienzan a detectarse –según hipotetizamos– algunos de los elementos de análisis que contribuirían a conceptualizar el esquema cognitivo como procesador.

El hallazgo de la configuración denominada “*staple motifs*” nos permitirá profundizar la relación curiosidad-esquema cognitivo, así como examinar su importancia en la formulación conceptual de la “estructura *core shell*”, enfatizando el aspecto procesual del concepto de esquema cognitivo.

Al respecto, la posibilidad de reconocer una configuración (o *pattern*) –que supone la detección de estructuras subyacentes a partir de estímulos mínimos– está estrechamente relacionada –según Roy D’Andrade (2000 [1995])– con una de las acepciones del concepto de esquema cognitivo como procesador. Dichos estímulos contribuirían a activar los mecanismos cognitivos que posibilitarían la creación de interpretaciones complejas.

En cuanto a la detección de las estructuras subyacentes que permitirían reconocer una configuración a partir de estímulos mínimos, existen elementos de análisis para argumentar que estas fueron inferidas por los científicos –como se señala en “Synthesis and characterization of Gold@Gold(I)-Thiomalate core@Shell Nanoparticles”– luego de haber establecido la naturaleza química de los dominios presentes en la muestra en estudio, en base a la utilización de XPS. En efecto, la información que los científicos obtuvieron con una técnica basada en SAXS les permitió inferir la distribución y el ordenamiento geométrico de las especies químicas detectadas en dicha muestra, es decir, el *core* de oro y el halo de oro modificado, oxidado con ácido tiomálico que rodea al núcleo de la nanopartícula, conformando, ambas especies químicas, la estructura *core shell*.

Otra de las inferencias fue formulada por los científicos cuando reflexionaban acerca del número de coordinación obtenido mediante la técnica basada en EXAFS. En el caso de EXAFS, al poner en relación los átomos de la superficie con los del volumen, el número de coordinación permitió inferir, además de la presencia de la fase metálica de oro (el *core*) –según se señala en dicho artículo–, la existencia de una segunda fase con átomos de azufre en la primera esfera de coordinación de oro (I), es decir, el tiomalato de oro del *shell*.

Dichas inferencias habrían posibilitado el hallazgo de aquello que en base a la reflexión acerca de las elaboraciones de Roy D'Andrade (2000 [1995]) podríamos denominar “las unidades escondidas” (o tácitas) que, al ser descubiertas en la investigación, contribuirían a completar una configuración, más específicamente, la “estructura *core shell*”, a partir de *inputs* mínimos que activan los mecanismos cognitivos.

Es importante hacer notar que en el caso de la estructura *core shell*, dichas unidades tácitas pueden ser detectadas a partir de la existencia de, por lo menos, tres planos: el del núcleo de la nanopartícula de oro, el del *shell* que rodea al *core* de oro, oxidado, modificado con ácido tiomálico, y el plano del oro “arrancado” de la superficie modificada con las cadenas de azufre.

Dicho hallazgo supone, también, la relevancia de haber elegido reflexionar acerca del concepto de esquema cognitivo como procesador.

El reconocimiento de la configuración “*staple motifs*” y el razonamiento que a partir de la detección de dicha configuración fue formulado en analogía con los hallazgos realizados en el caso en estudio serían –según hipotetizamos– aspectos importantes a considerar en la conceptualización de la “estructura *core shell*”.

El razonamiento analógico es una de las habilidades cognitivas más relevantes entre las detectadas en el caso en estudio. En efecto, la habilidad para detectar semejanzas (Boden, 2004) contribuyó a que los investigadores en foco en este capítulo conceptualizaran la muestra en estudio como una “estructura *core shell*”.

La conceptualización de dicha estructura, a la que proponemos examinar en estrecha relación con la “*expertise* en la interpretación”, posibilitó, a su vez, que los científicos formularan que los electrones enviados a través del TEM para medir el tamaño de las nanopartículas, al irradiar la muestra, transformaban ese oro (I) (del tiomolato de oro) conceptualizado como *shell* en *core*, dando como resultado un incremento del tamaño de la nanopartícula en foco en la investigación.

En efecto, en “*Synthesis and characterization of Gold@Gold (I)-Thiomalate core@Shell Nanoparticles*” se muestra una imagen de alta definición (HR-TEM) de uno de los planos internos del oro metálico o “*core*”, visto desde arriba, cuyo tamaño se ha incrementado porque los electrones del TEM transformaron todo el halo del compuesto de oro (I) o *shell* que rodeaba a la nanopartícula de oro en *core*. Dicha imagen se muestra junto a una imagen simulada del mismo *core*.

Al respecto, señala Salvarezza:

*el trabajo de simulación del microscopista consiste en tomar la imagen y luego, en base a los parámetros experimentales, realizar un cálculo teórico que le permite examinar si una partícula de oro, de –por ejemplo– tal forma, tal tamaño y con una distancia determinada medida entre los átomos de oro, originaría esta imagen [la imagen de alta definición original] para poder, así, validarla.*

La comparación de la imagen de alta definición, original y simulada, relacionaría un momento en el tiempo respecto de un proceso evolutivo, en la búsqueda de la detección de la situación más estable.

La comparación de las imágenes se vincula, entonces, con un tema que podríamos denominar el de las temporalidades de la investigación, que podría ser considerado un aporte específico, detectado en la investigación, a la reflexión acerca de la conceptualización del esquema cognitivo como procesador, con especial énfasis en aquello que atañe al dinamismo de dicho concepto.

Profundizar en qué consisten las temporalidades de la investigación supone reflexionar acerca de la relación entre medición e imaginación. En efecto, en palabras de Salvarezza, “*se mide para extraer información y luego se hace un modelo simulado, un cálculo teórico, para examinar si aquello que se midió coincide con aquello que se imaginó*”.

En la simulación, profundiza Salvarezza:

*se usa toda una aproximación termodinámica que indica cuál es la situación más estable. Es decir, que aquello que se “ve” en un momento respecto de la autoorganización de las moléculas es algo que está en el tiempo ahora, pero el sistema evolucionará. De ahí la importancia de la simulación de esos cálculos teóricos, para anticipar cuál es la situación más estable.*

Esta contrastación de aquello que los investigadores “ven” en un determinado momento –al medir, por ejemplo, la distancia de las nanopartículas a través de STM– con los cálculos teóricos es otro aspecto a considerar en la reflexión conceptual que proponemos acerca del esquema cognitivo como procesador.

Dicha comparación permite reflexionar acerca de un abordaje en, por lo menos, dos tiempos con distinta conceptualización: uno corresponde al momento en el que los investigadores “ven”, en el que obtienen la información a partir de una medición precisa en el tiempo, y el otro corresponde a un proceso evolutivo dentro del cual, en algún momento, es posible detectar la situación más estable.

Un aspecto importante a considerar en las reflexiones precedentes es el tema de la anticipación, en el sentido de que aquello que se anticipa es la situación más estable en un proceso evolutivo. El aprendizaje de este hallazgo específico en la investigación en foco aporta elementos de análisis adicionales acerca de otro de los aspectos a considerar en las reflexiones atinentes al concepto de esquema cognitivo como procesador: que la creación mental que supone el concepto de esquema cognitivo incluye –según Roy D’Andrade (2000 [1995])– la idea de una fuerte expectativa acerca de qué va con qué en un todo gestáltico. Es esta expectativa la que proponemos considerar en forma conjunta con el abordaje en dos tiempos en la conceptualización previamente mencionada.

A continuación se presenta una última reflexión acerca del “esquema cognitivo” en su aspecto procesual, en relación con la importancia de las motivaciones en el desarrollo de investigaciones futuras en la frontera del conocimiento.

Al respecto, si las motivaciones detectadas en las entrevistas en profundidad fueron expresadas por Salvarezza en términos de “curiosidad”, en “Synthesis and characterization of Gold@Gold(I)-Thiomalate core@Shell Nanoparticles” se alude específicamente al concepto de motivación, al que se lo relaciona con el desarrollo de estudios futuros en la frontera del conocimiento.

En el caso específico, cuyo examen contribuye a completar y profundizar las elaboraciones acerca de la relación “curiosidad” y “esquema cognitivo”, el concepto de motivación para estudios futuros en la frontera del conocimiento refiere a las “dificultades cinéticas” (*kinetic hindrance*). Profundizar en dicho ejemplo supone, por un lado, retomar aquello que los investigadores en foco habían detectado, esto es, una “estructura *core shell*” a la que consideraban “similar” o “parecida” a la configuración “*staple motifs*”.

Por un lado, el examen de ese ejemplo supone considerar la hipótesis formulada por Salvarezza, según la cual la estructura *core shell* detectada podría ser conceptualizada como “una estructura atrapada cinéticamente, congelada en un sistema metaestable que, en un momento del proceso de posibles reacciones químicas, presenta una química diferente”.

La formulación de Salvarezza del ejemplo precedente provee importantes elementos de análisis para reflexionar acerca del concepto de esquema cognitivo como procesador en la creación de interpretaciones complejas.

En este caso específico, la creación de las interpretaciones supone considerar la combinación de conceptos, tales como los de termodinámica y cinética. Estos contribuyen a conceptualizar la estructura *core shell* detectada en la investigación en foco como una estructura metaestable.

En efecto, según la termodinámica, ejemplifica Salvarezza, “*si se mezclan dos reactivos químicos, aquello que estos van a formar está relacionado con la mínima energía y la máxima entropía. Los sistemas evolucionan espontáneamente en esa dirección*”. Y continúa: “*Llevar un sistema de un punto a otro implica tiempo, eso es la cinética*”. En ese camino “*puede ocurrir que la estructura core shell detectada, que no es termodinámicamente estable, pueda ser conceptualizada como una estructura atrapada cinéticamente en un sistema metaestable*”. Por eso, especifica, “*cualquier perturbación, sea la producida por los electrones del TEM (tal como ocurrió al caracterizar la muestra en estudio) o la obtenida al agregar más reactivos químicos, termina formando una partícula más grande*”. Es decir, “*si la cinética es movimiento*”, resume Salvarezza, “*la dificultad cinética contenida en la formulación conceptual kinetic hindrance [en alusión al caso de la estructura core shell detectada] refiere a un sistema cinéticamente atrapado o congelado en un punto del proceso de reacción química*”.

¿En qué consistiría, en este caso, la motivación para estudios futuros en la frontera del conocimiento y para el desarrollo de posibles aplicaciones?

La respuesta de Salvarezza ante la consulta, es la siguiente:

*... se podrían crear estructuras que sean interesantes, por ejemplo, desde el punto de vista de la química medicinal. El tiomalato de oro rodeando la nanopartícula de oro, podría ser un caso [...]. Si se hubiera dejado evolucionar el sistema, es decir, si se hubiera esperado más tiempo y agregado más reactivos, quizás se hubiera terminado en oro y no en el tiomalato de oro rodeando el core. Entonces, dependiendo de las cantidades de reactivos químicos que se utilicen, se podría atrapar al sistema en distintos puntos y, en esos puntos, tener una química diferente. Esto puede llevar, por ejemplo, a que un sistema –como en el del caso en estudio– presente propiedades medicinales, porque tiene la cobertura de tiomalato de oro.*

La formulación, por parte de los investigadores, de que aquello que detectaron como “estructura *core shell*” es un momento dentro de todo un proceso cinético resulta aún más relevante para reflexionar sobre la pertinencia de haber elegido focalizar el estudio en el tema de los es-

quemas como representaciones cognitivas y, más específicamente, en los esquemas cognitivos como procesadores, considerados en estrecha relación con las motivaciones.

En efecto, si como hemos aludido en el caso del proceso de validación, la comparación de las imágenes de alta definición (original y simulada) relaciona un momento en el tiempo respecto de un proceso evolutivo en la búsqueda de la situación más estable, en la reflexión acerca de la combinación de los conceptos de termodinámica y cinética hemos detectado otra especificidad temporal ligada al concepto de esquema cognitivo como procesador.

Esta consistiría en el atrapamiento de un momento en el tiempo de una estructura en un sistema metaestable que, como en el caso de la estructura *core shell*, podría presentar una química diferente a partir de posibles reacciones químicas, consideradas en un proceso evolutivo termodinámico.

Es importante hacer notar, en este caso, que el atrapamiento cinético de dicha estructura metaestable permitiría, por ejemplo, el desarrollo de aplicaciones en química médica.

En base al examen de la investigación acerca de la cual hemos reflexionado en este capítulo y a las elaboraciones de Roy D'Andrade (2000 [1995]), argumentamos que la idea de postular la existencia de estructuras cognitivas complejas, como ha sido el caso del concepto de esquema cognitivo como procesador, es un aporte importante a considerar en las reflexiones acerca de la “interpretación como *expertise*”.

En este capítulo, el examen de la *expertise* en la interpretación estuvo focalizado en los nuevos desafíos que los problemas a desentrañar suponen en el contexto del abordaje multitécnico con énfasis en la contribución de las interpretaciones específicas de una imagen (una imagen visual, en el caso considerado), de gran importancia en las reflexiones acerca de la creatividad.

En base a la elaboración del material empírico focalizado en este estudio, la formulación de interpretaciones creativas expertas contó, además, con la contribución de distintas habilidades, algunas de las cuales estarían estrechamente relacionadas con la posibilidad de establecer semejanzas –a través de procesos de énfasis selectivo (Boden, 2004)–, como sugiere el caso de la conceptualización de la estructura *core shell*, formulada en forma análoga a la de la configuración *staple motifs*.

Otra de las interpretaciones creativas expertas –entre las examinadas en este capítulo– contó con el aporte de una habilidad para advertir

o vislumbrar cosas interesantes (Boden, 2004), como la relacionada con el atrapamiento de un momento en el tiempo de una estructura en un sistema metaestable, en base a la idea de la combinación de conceptos tales como los de termodinámica y cinética. Es el caso, en la investigación en foco, de la conceptualización de *core shell* como una estructura atrapada cinéticamente en un sistema metaestable, que, a partir de las posibles reacciones consideradas, podría presentar una química diferente en un proceso evolutivo termodinámico, permitiendo, por ejemplo, el desarrollo de aplicaciones en química medicinal.

Por último, argumentamos también que los conceptos de esquema cognitivo como procesador, examinado en estrecha relación con las motivaciones y en forma conjunta con el desarrollo de habilidades cognitivas, de la *expertise* en la interpretación y de las interpretaciones creativas expertas, son aspectos de gran relevancia para el incremento del conocimiento del control de la materia en la nanoescala, especialmente en las investigaciones realizadas en la frontera del conocimiento y en el desarrollo de posibles aplicaciones.

# Capítulo V. Aportes antropológicos, filosóficos e históricos en el estudio de la creatividad y la innovación: el caso de la nanociencia y la nanotecnología

## Introducción

El objetivo del presente capítulo es contribuir a la reflexión antropológica acerca del estudio de la “creatividad”, de gran relevancia en el examen de los procesos locales de generación de innovaciones tecnológicas, en base a una investigación desarrollada en 2011 y focalizada en el Laboratorio de Materia Blanda del INIFTA, coordinado por Omar Azzaroni.

Las conceptualizaciones de creatividad son examinadas a partir de las formulaciones de Ingold y Hallam en *Creativity and Cultural Improvisation*. En base al estudio de escritos filosóficos de comienzos del siglo XX, los autores distinguen una acepción de creatividad que enfatiza la producción de la “novedad” (*novelty*) mediante la recombinación de elementos ya existentes, de una noción más relacionada con un proceso de crecimiento, cambio y movimiento continuo o un proceso fluido de devenir a la existencia (Hallam e Ingold, 2007).

Mediante el examen de dichas formulaciones –que han coexistido a través de la historia de las ideas europeas desde el medioevo hasta la modernidad–, se reflexiona acerca de la “innovación”, respecto de la cual la “creatividad” sería caracterizada como producto, distinguiéndola de la “creatividad” conceptualizada por sus procesos y denominada “improvisación” (Hallam e Ingold, 2007).

En este capítulo, las reflexiones en el estudio de la “creatividad” se centran en las especificidades de la creación de lo “nuevo” en ciencia, por combinación de incrementos cualitativos en los conocimientos adquiridos a través de procesos de aprendizaje, con énfasis en los diseños de sistemas de autoensamblado molecular, considerando en dicho estudio la relevancia del enfoque interdisciplinario de distintas ciencias en la escala nanométrica y el abordaje multitécnico.

La creatividad conceptualizada como proceso de crecimiento, de cambio y proceso fluido, se analiza focalizando el estudio en el movimiento

hacia la frontera del conocimiento, en un proceso de surgimiento que, junto con los procesos actuales, considera la relevancia de la tradición e historia de la ciencia y la especificidad de su desarrollo local.

### **Creación de un joven laboratorio**

En *Creativity and Cultural Improvisation* Tim Ingold y Elizabeth Hallam distinguen cuatro aspectos a profundizar en el estudio de la “creatividad” conceptualizada por sus procesos y denominada “improvisación”, según los cuales la creatividad es considerada como “generativa, relacional, temporal” y estrechamente vinculada con “la forma en la cual trabajamos” (Hallam e Ingold, 2007: 1).

Teniendo en consideración los cuatro aspectos expuestos, en el análisis que se presenta a continuación se explora la idea de creatividad en ciencia, con énfasis en el examen de los procesos de “crecimiento, de cambio y de devenir a la existencia” (Hallam e Ingold, 2007: 16).

El estudio acerca del surgimiento de la creatividad se focaliza en el examen del movimiento hacia la frontera del conocimiento y considera como punto de partida un extenso e intensivo proceso que conduce a la creación del Laboratorio de Materia Blanda (*Soft Matter Laboratory*) en el INIFTA.

De reciente creación –lo que le ha valido la denominación de “joven laboratorio”–, este grupo es considerado en el INIFTA y en la Argentina pionero en el desarrollo de una línea de investigación basada en el concepto de “materia blanda”, en alusión a una “disciplina que tiene por objetivo el estudio de los sistemas que se sitúan entre lo líquido y lo sólido” y cuya definición, surgimiento y desarrollo es profundizada en el capítulo.

En nuestro análisis, el Laboratorio de Materia Blanda es conceptualizado como un hito importante en el proceso de crecimiento, de cambio, de movimiento continuo y fluido de devenir a la existencia, como resultado de la confluencia de la relevancia atribuida por el INIFTA a la incorporación de elementos del área “Bio”, y de aquello que denominamos un “entramado formativo altamente especializado”, que permite la profundización y el desarrollo de líneas de investigación en “materia blanda”.

Con el objetivo de contribuir a la reflexión acerca del concepto de creatividad, el entramado formativo precedentemente aludido es examinado a través de la experiencia del doctor Omar Azzaroni en formación e investigación en centros de excelencia.

Azzaroni elaboró su tesis doctoral en autoensamblado molecular en el área de fisicoquímica de superficies en el INIFTA, con la dirección de Roberto Salvarezza; hizo un posdoctorado en el área de química macromolecular en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis (Departamento de Química de la Universidad de Cambridge) bajo la dirección del doctor Wilhelm Huck y un posdoctorado en el área de biofísica aplicada en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung, en Mainz, Alemania, con la dirección del doctor Wolfgang Knoll. A su regreso de Alemania en 2008, deviene el actual coordinador del Laboratorio de Materia Blanda (*Soft Matter Laboratory*) en el INIFTA, en el Departamento de Química (UNLP/CONICET). Azzaroni cuenta también con el antecedente de haber organizado junto con el doctor Galo Soler-Illía –actual director del grupo de Química de Nanomateriales (Constituyentes)– el Primer Taller Argentino de Materia Blanda a fines de los años noventa.

El examen del entramado formativo presentado en el capítulo se focaliza en los proyectos de investigación que el Laboratorio de Materia Blanda –creado como *partner group* de la Sociedad Max Planck– desarrolla conjuntamente con diferentes equipos de investigadores del Max-Planck-Institut für Polymerforschung. Dichas investigaciones forman parte de un conjunto de actividades realizadas en dicho laboratorio, entre las que se destacan la formación de recursos humanos, la actualización de conocimientos y el acceso y aprendizaje de nuevas técnicas.

En los desarrollos que se presentan a continuación el examen se centra, más específicamente, en los procesos de aprendizajes relacionados con las adquisiciones y desarrollos de teorías, conceptualizaciones, conocimientos, habilidades, prácticas y *expertises* en distintos períodos formativos de Omar Azzaroni, con especial atención a los cambios de especialización en cada período. El objetivo es detectar la existencia de combinaciones de conocimientos, habilidades, prácticas y *expertises*, adquiridos a través de los procesos de aprendizajes realizados en los distintos períodos formativos. Dichas combinaciones –según hipotetizamos– permitirían o serían condición de posibilidad para la creación de lo nuevo en ciencia, en un desarrollo formativo considerado como un proceso de crecimiento continuo y fluido de devenir a la existencia en un entramado formativo altamente especializado.

## Entramado formativo y creatividad

Omar Azzaroni realizó la Licenciatura en Química en la Universidad de La Plata. Entre las diversas especializaciones que el Departamento de Química de su facultad ofrecía –y que incluía, por ejemplo, Química Orgánica, Química de Alimentos, Fisicoquímica y Química Analítica–, optó por la orientación en Fisicoquímica.

Uno de los aspectos que atraen la atención de Omar Azzaroni, estrechamente vinculado con la especialización en fisicoquímica que iba a realizar en el INIFTA, es el cambio que se produce en la química hacia fines de la década del noventa, de gran relevancia a su entender, por tratarse de una disciplina con un gran componente experimental. Según explica Azzaroni (en nuestra entrevista), dicho cambio consistió en que *“la descripción de gran cantidad de fenómenos químicos observados y conceptualizados en base a determinados marcos teóricos mediante la utilización de ecuaciones, leyes, teorías, formulaciones, podían también ser medidos experimentalmente”*. En dicho contexto de cambio, añade el investigador, *“las numerosas interacciones o fenómenos que ocurren dentro del campo de la química o de la fisicoquímica, dejan de estar asociados a una medida sumamente indirecta, para ser medidos por instrumentos y técnicas modernas”*.

El interés de Omar Azzaroni por aquello que –en alusión al cambio mencionado– podríamos denominar procesos de codificación en la disciplina de la química se relaciona con el estudio de los fenómenos que ocurren en el área de química de superficies y –según señala– con las posibilidades que brinda la utilización de un instrumento (el microscopio de efecto túnel): *“ver los fenómenos que ocurren en una superficie en escala atómica, para resolver luego los problemas moleculares que dicha superficie presenta”*.

Como explicamos en el capítulo II, el instrumento por cuyo diseño Gerd Binnig y Heinrich Rohrer recibieron el Premio Nobel de Física en 1986, es un microscopio electrónico que ofrece imágenes en tres dimensiones de las muestras en estudio. Valiéndose de una punta que permite el estudio de la estructura de una superficie recorriendo su topografía, el STM mide una señal eléctrica manteniendo una distancia respecto de la superficie de la muestra a estudiar, equivalente al diámetro de un átomo, posibilitando así el examen de la estructura de una superficie, átomo por átomo (según la entrevista realizada a Roberto Salvarezza en 2011, y *The Scanning Tunneling Microscope*, página web de los Premios Nobel, 2011).

La relevancia de esta nueva alusión al STM en el presente capítulo consiste en que la microscopía de efecto túnel es la técnica en la cual

Omar Azzaroni se especializa en el transcurso de sus estudios doctorales en el INIFTA bajo la dirección de Roberto Salvarezza. En ese proceso de aprendizaje focalizado en el estudio de sistemas de autoensamblado molecular de superficies, adquiere una variedad de habilidades manuales y cognitivas mediante la utilización de técnicas de microscopía, con énfasis en la técnica de microscopía de efecto túnel.

Es importante recordar –como mencionamos en el capítulo II– que Omar Azzaroni realiza su especialización doctoral en el grupo de investigación dirigido por Roberto Salvarezza, uno de los equipos reconocidos a nivel mundial en el área de sistemas moleculares autoensamblados sobre superficies.

Teniendo en cuenta la relevancia de la transdisciplinariedad en nanociencia y nanotecnología, una especificidad cuya profundidad Roberto Salvarezza ha entendido desde la propia experiencia tripartita en física, química y biología que compone su formación, como director del INIFTA ha propiciado que científicos de distintas formaciones –físicos, químicos, bioquímicos, biólogos, biotecnólogos– desarrollen sus investigaciones confluendo en dicha institución.

Es en dicho contexto formativo y focalizándose en el estudio de los sistemas de autoensamblado molecular que Azzaroni aprende las técnicas de microscopía y, sobre todo, de microscopía de efecto túnel distinguiendo –entre otros aspectos relevantes en dicho proceso– el *know how* asociado con el dominio de la técnica y la experiencia como resultado de la práctica –respecto de la cual cita la conocida frase en inglés: “*practice makes you perfect*”–, si bien “*cuanto más se practica más se mejora, aunque nunca se termine de alcanzar el máximo grado de expertise*”, añade.

En la reflexión sobre su proceso de aprendizaje, Omar Azzaroni también enfatiza la importancia del estudio y análisis bibliográfico de líneas de investigación abiertas por otros científicos, el “*hands on training*”, expresión que alude a la interacción con el experimento (de especial relevancia, por tratarse la química de una disciplina con un gran componente experimental), la importancia de las técnicas experimentales y la paciencia en la preparación de las muestras, las soluciones y el armado (*set up*) experimental, la realización de los experimentos y el cambio de las variables.

Después de sus estudios doctorales en autoensamblado molecular en fisicoquímica de superficies, con la dirección de Roberto Salvarezza, Azzaroni realiza un cambio de área, especializándose en química macromolecular en el transcurso de sus estudios posdoctorales en el Mel-

ville Laboratory for Polymer Synthesis (Departamento de Química de la Universidad de Cambridge), con la dirección de Wilhelm Huck, quien también lo influenció en el área de química supramolecular.

Cabe aclarar que la química macromolecular se focaliza en el estudio de las moléculas grandes y la química supramolecular, en el examen de las moléculas pequeñas, a la vez que la expresión supramacromolecular alude a moléculas grandes.

Si las moléculas pequeñas se ensamblan en forma ordenada (supramolecular), a los bloques muy grandes se los llama supramacromoleculares o supramoleculares. Se denominan supramacromoleculares –explica Azzaroni– *“porque las interacciones que hacen que dichos bloques queden juntos no son covalentes, es decir que no hay una química per se sino que se trata de interacciones débiles, pero numerosas”*.

Al respecto, una idea importante a considerar en el estudio de la “creatividad” como proceso de crecimiento, de cambio, de movimiento continuo o de proceso fluido de devenir a la existencia, es la expresada por Omar Azzaroni respecto de la nueva especialidad posdoctoral que, a través de un proceso de aprendizaje, se preparaba a adquirir en Melville Laboratory for Polymer Synthesis: *“la idea de incorporar nuevos conocimientos y no de reemplazarlos”*.

Así es como el científico comenzó a trabajar en el área de química macromolecular, *“la química orgánica aplicada a las moléculas grandes”*, según palabras del científico.

En la explicación de Azzaroni:

*Si dentro de lo que se denomina nanociencia y nanotecnología, generalmente se describe como nano aquello que tiene dimensiones características entre 1 y 100 nanómetros, cuando se alude a las macromoléculas se hace referencia a moléculas muy grandes. Una macromolécula globular, por ejemplo, se distingue por tener muchas unidades moleculares –como si se tratara de un ovillito– y un tamaño característico de 12 nanómetros.*

La importancia de la idea de incorporar nuevos conocimientos y no de reemplazarlos –expresada por Omar Azzaroni en la entrevista– es reforzada, a su vez, por el hecho de que el Melville Laboratory for Polymer Synthesis estaba buscando un candidato posdoctoral con perfil fisicoquímico para trabajar en química macromolecular. Dicha situación resalta, además, la relevancia del carácter netamente interdisciplinario del área de nanociencia y nanotecnología.

Pero, ¿por qué Omar Azzaroni eligió especializarse en química macromolecular? Ante la consulta, la reflexión del entrevistado se situó temporalmente en el momento en que realizaba su tesis doctoral en fisicoquímica de superficies en el INIFTA. Allí hacía búsquedas bibliográficas, leía trabajos de otros grupos de investigadores, se confrontaba con problemas y tenía que resolverlos, y en muchas ocasiones advertía que “*el estudio de polímeros, macromoléculas, tensio activos, coloides, etcétera*”, le resultaba de gran interés. Dicha área de estudio es la denominada “materia blanda”, razón por la cual elige especializarse en química macromolecular.

Esta especialización en química macromolecular desarrollada en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis, que implicó un incremento cualitativo en su formación, permite entender –a su vez– otro incremento cualitativo adquirido en esa etapa formativa y estrechamente relacionado con la “creatividad en el diseño de sistemas”.

Así explica Azzaroni el surgimiento del concepto de química supramolecular:

*El gran edificio de la química hasta antes de los años setenta del siglo pasado estaba dirigido casi fundamentalmente a la química covalente, o sea, la química de formar enlaces químicos. Ya en los años sesenta, empieza a surgir la idea de construir cosas, entidades, materiales, usando esos bloques que estaban hechos covalentemente, pero utilizando interacciones que no son netamente covalentes.*

*En los años sesenta Cram y Pedersen en Estados Unidos y Jean-Marie Lehn en Francia empiezan a armar las primeras moléculas prototipo que comienzan a dar sentido a la idea de que los químicos podían hacer cosas más allá del enlace covalente. Eso hizo que al principio de los años ochenta le dieran el premio Nobel a Jean-Marie Lehn, profesor del Collège de France, por sus contribuciones en química, siendo el primero en utilizar el concepto de química supramolecular, y en los años noventa gran cantidad de investigadores con diferentes enfoques empiezan a explorar diferentes bloques de construcción con diversas ideas de a qué objetivo llegar.*

*Nuestro diseño, nuestras herramientas de diseño están netamente basadas en conceptos de la química supramolecular, o sea, usamos la química tradicional para hacer bloques de construcción, pero después, para ensamblarlos, utilizamos fuerzas supramoleculares en la conceptualización de química supramolecular de Jean-Marie Lehn, de forma tal que cuando nosotros hablamos de autoensamblado, estamos aludiendo a una de las variantes de la química supramolecular.*

En cuanto a la conceptualización de *soft matter* el investigador comienza por distinguirla de aquello que denomina “sistemas condensados”, en alusión a los conformados “por sólidos o por líquidos”. En el caso de un sólido –explica– se necesita una gran cantidad de energía térmica, por ejemplo, para conferirle movilidad. En el caso de un líquido no es así; por ejemplo, el agua a 100° C pasa a la fase vapor, entonces ese calor –que es la energía térmica– define muchas cosas. *“Por materia blanda –explica– se alude a todos aquellos sistemas en los cuales las interacciones, las energías características que definen esos sistemas o esos ensamblados, se sitúan justo en el rango de energías térmicas de la temperatura ambiente”*. Y ello tiene una consecuencia porque *“esto hace que, por ejemplo, pequeños cambios en la energía térmica generen cambios conformacionales”*.

Existe un rango muy importante de sistemas encuadrados dentro de la denominada “materia blanda”, tales como las proteínas, los polímeros, los tensoactivos, los lípidos, los coloides, conceptualizados como bloques primarios de construcción.

*Si bien numerosos sistemas que forman parte de nuestra vida cotidiana se conocen desde hace muchísimos años, el término “materia blanda” empezó a usarlo Pierre-Gilles de Gennes, profesor del Collège de France, cuando le dieron el Premio Nobel por su contribución a la Física de los Polímeros, en 1991.*

Un polímero es

*una molécula primaria llamada monómero, que puede ir repitiéndose un número determinado de veces, el cual puede ser controlado por métodos químicos –más específicamente por uniones covalentes–, de modo tal de formar una cadena en donde cada eslabón, o unidad monomérica, está concatenado uno con otro.*

Cuando Omar Azzaroni estaba realizando sus estudios posdoctorales en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis, comienza a publicarse la revista inglesa *Soft Matter*.

## **La creatividad en el diseño de los sistemas**

Luego de los estudios de fisicoquímica en autoensamblado de superficies y de los realizados en el transcurso de su especialización en *soft matter*,

Omar Azzaroni efectúa su segundo posdoctorado en Biofísica Aplicada en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung, desarrollando –entre otros– el estudio de las proteínas conceptualizadas como uno de los bloques de construcción de la materia blanda.

En el caso del proyecto desarrollado en Alemania –explica Azzaroni–, la idea fue “*utilizar las propiedades de reconocimiento de las proteínas que existen en sistemas biológicos complejos, para generar autoensamblados moleculares con propiedades funcionales*”. En esta etapa, la especialización en biofísica aplicada le permite combinar sus estudios en química supramolecular, materia blanda y materiales biológicos.

Dado que en muchos sistemas biológicos las proteínas están ensambladas de forma tal que mientras una realiza una función, la proteína de al lado cumple otra función y así sucesivamente, generándose procesos de transferencia electrónica o cambios químicos, el proyecto desarrollado por Omar Azzaroni en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung consistió en hacer

*sistemas de ensamblados biosupramoleculares por capas. En cada capa se ensambla un tipo de proteína por superficie, con la particularidad de que algunas de las proteínas que están en ese ensamblado reconocen una molécula de interés, por ejemplo la glucosa, que en el caso del diabético necesita ser monitoreada permanentemente. Como el monitoreo consiste en ir midiendo la transferencia electrónica de la enzima que tiene la posibilidad de ir disminuyendo la glucosa, si se pudiera ir contando, midiendo ese proceso de transferencia electrónica, monitoreándolo de una forma macroscópica, se podría generar una superficie que tenga la función de sensor la glucosa.*

Y agrega Azzaroni: “*nosotros trabajamos en poder traducir en una señal macroscópica señales, procesos de reconocimiento molecular que involucren transferencia de electrones y que estén asociados a procesos que tengan algún tipo de interés aplicable*”.

A partir del ejemplo precedente, es importante añadir otros elementos de análisis a la reflexión acerca del concepto de creatividad en el diseño. Un primer aspecto a considerar es que el diseño de sistemas implica, según Azzaroni, “*pensarlo, racionalizarlo, para luego, construirlo*”.

El diseño también supone conceptualizaciones; reflexionando acerca de los aprendizajes realizados en el posdoctorado en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis y en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Azzaroni confiere especial relevancia al estudio del concepto, que

considera “una herramienta básica en el desarrollo del diseño a partir de la cual se construye todo”. La noción de proteína como “bloque de construcción funcional” es tan relevante –continúa el investigador– que dicha conceptualización ordena todo el diseño incluyendo la etapa de construcción del mismo.

En el estudio del concepto de creatividad en el diseño, también es importante enfatizar que el aprendizaje conceptual en química macromolecular y el relacionado con conceptos específicos –por ejemplo, el de proteína como bloque de construcción de la materia blanda– se combina con el aprendizaje conceptual en biofísica aplicada y con el adquirido respecto de la transdisciplinariedad en la nanoescala, o sea, el aprendizaje de conceptualizaciones y conocimientos que otros especialistas en la escala nanométrica –tales como los biólogos– tienen de sus respectivas especialidades. La reflexión precedente se basa en un conjunto de elementos, algunos de los cuales pueden apreciarse en el ejemplo que se sintetiza a continuación.

*Yo sabía que la proteína era un bloque de construcción funcional y cómo quería implementarlo, pero los biólogos sabían (al igual que en el caso de las enzimas) cómo aislar la proteína (o la enzima) de una bacteria o de un microorganismo, cómo manipularla, cómo purificarla y cómo caracterizarla; de ahí la importancia de estar en contacto con ellos para saber todo eso y después, en el diseño general, tener una idea de lo que estaba haciendo.*

En el Departamento de Ciencias de Materiales del Max-Planck-Institut für Polymerforschung, la idea de combinación estaba favorecida por aquello que podríamos conceptualizar como la institucionalización de la transdisciplinariedad en escala nanométrica. El trabajo realizado conjuntamente en base a los aportes de químicos, biólogos, físicos, ingenieros, en pos de objetivos concretos, significó –según Azzaroni– una experiencia enriquecedora. Esta contribuyó, a su vez, a resolver el tipo de dificultades en la investigación que realiza, respecto de las cuales señala: “muchas veces para solucionar un problema se necesitan numerosos conocimientos, los cuales están intrínsecamente relacionados con las contribuciones que científicos de distinta formación pueden aportar”.

La reflexión precedente es otro de los aspectos a considerar en el estudio acerca de la “creatividad en el diseño”. La combinación conceptual transdisciplinar en escala nanométrica es tan relevante que “si se quieren

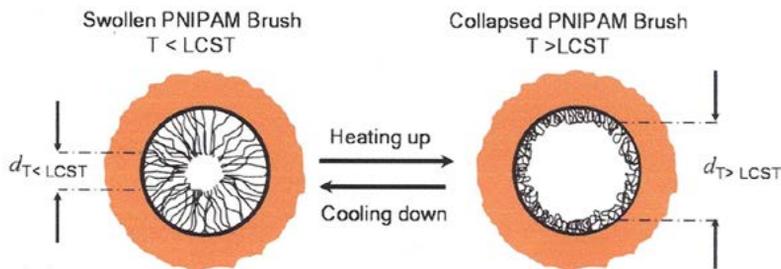
*resolver problemas que se sitúan en la frontera del conocimiento, en la actualidad, la investigación es netamente interdisciplinaria”.*

Los conceptos de “frontera del conocimiento”, “relevancia” y “excelencia científica” también eran muy valorados –asegura Azzaroni– en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis. En dicho laboratorio, el trabajo científico realizado en base a una gran especialización entre las diferentes subdisciplinas de la química (química orgánica, química macromolecular, fisicoquímica) fue reuniendo progresivamente además a ingenieros, físicos y luego a biólogos.

Aspectos tales como la organización, el control, la precisión, la optimización de las respuestas son otros de los elementos a considerar en el estudio del concepto de creatividad en el diseño. Al respecto, la organización por capas está estrechamente relacionada con la transferencia electrónica. *“En el ejemplo de la glucosa –explica Azzaroni–, la última capa tiene que ser la que permite efectuar la transferencia de electrones mientras que la capa de arriba tiene que estar en contacto con la glucosa que está afuera”.* A su vez, el control del ensamblado se logra mediante la precisión nanométrica en cada una de las capas, lo cual permite localizar las proteínas en esos ensamblados, de modo de optimizar la respuesta y posibilitar que las proteínas trabajen juntas, porque, señala Azzaroni, *“si se pusiera a las proteínas unas al lado de las otras, competirían entre sí y no se podría medir la señal macroscópica que se intenta medir”.* Y agrega: *“para que las proteínas trabajen juntas, tengo que ponerlas en una cierta configuración y para controlar dicha configuración, se necesita la nanociencia”.* Es importante enfatizar que, en el ejemplo, el diseño está pensado para permitir la medición.

En el presente capítulo hemos profundizado el estudio de algunos aspectos a considerar en la conceptualización de creatividad en el diseño pero, ¿cómo va surgiendo la combinación de incrementos cualitativos en los conocimientos adquiridos a través de los procesos formativos que conducen a Omar Azzaroni al desarrollo de diseños creativos?

Algunos elementos de análisis a considerar en la reflexión acerca de este interrogante provienen de una investigación desarrollada por Omar Azzaroni y denominada *Macromolecular Assemblies in Nanoconfined Geometries*, que alude a unos canales nanoscópicos, tal como se muestra en el diagrama que se presenta a continuación.

**Figura 5.1 Macromolecular assemblies in nanoconfined geometries**

Fuente: Diagrama elaborado por Omar Azzaroni. Página web del sitio oficial “Soft Matter Laboratory”, INIFTA, 2011.

Es interesante remarcar que Omar Azzaroni sitúa temporalmente su respuesta en la etapa de sus estudios posdoctorales en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung (donde comienza a desarrollar la idea), pero remontándose a su etapa posdoctoral en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis. En ese laboratorio, Azzaroni señala haber visto “*un proyecto, unas arquitecturas, nanosistemas muy interesantes, que eran unos nanoporos en estado sólido, de dimensiones muy similares a las de nuestros poros biológicos*”.

En este ejemplo, el científico reconoce la relevancia de una idea, de un proyecto que conoció haciendo sus estudios posdoctorales en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis. Dicho reconocimiento es un aspecto importante a considerar en el estudio del concepto de creatividad, porque en el razonamiento analógico que hemos detectado y en base al cual los nanoporos en estado sólido (nuevamente la relevancia de un concepto) serán considerados por Azzaroni en el estudio de los poros biológicos, subyace una combinación de ideas transdisciplinarias en escala nanométrica. En efecto, la nueva formación que había recibido en química macromolecular y supramolecular, junto con el incremento formativo adquirido en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung como biofísico aplicado, le permitirían a Azzaroni conceptualizar los canales focalizados en dicho proyecto como canales nanoscópicos y desarrollarlos en el transcurso de sus investigaciones.

En la formulación de Omar Azzaroni:

*Nosotros tenemos en nuestro sistema las paredes celulares, la epidermis tiene numerosos canales que regulan continuamente el flujo de iones usando diferentes cambios conformacionales, el estado de la carga; las reflexiones acerca de esos fenómenos provienen, en parte, de la biofísica.*

*Cuando comencé a estudiar los poros biológicos, me parecía que había muchas cosas que estaban emparentadas con lo que yo sabía de química macromolecular y que había aprendido en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis: moléculas, macromoléculas, cambios conformacionales, cambios en las cargas, y me acuerdo que cuando se lo planteo al director del Instituto—cuando estábamos empezando un proyecto que después terminó siendo uno de los proyectos del partner group con el Max-Planck-Institut für Polymerforschung con el cual yo regresé a la Argentina—, él como biofísico me dijo: “Es buena idea, el concepto es interesante, comencé con las investigaciones, hacé los experimentos”. [...] en el transcurso del proyecto discutimos científicamente diferentes puntos de vista, cómo seguir, cómo proceder o el análisis de los resultados, eso nunca obstaculizó la posibilidad de desarrollar el proyecto y explorar una idea que parecía interesante.*

Observando los diagramas de *Macromolecular Assemblies in Nanoconfined Geometries* (en la fig. 5.1), es interesante señalar que se trata de un mecanismo de imitación de la naturaleza, pero llevado a un diseño. Según explica Azzaroni:

*Aprendemos de la Naturaleza, del control de los procesos por parte de ella, e intentamos reflejar dicho aprendizaje en sistemas sintéticos artificiales; pero la idea no es reemplazar a la Naturaleza, sino, a partir del aprendizaje de esos sistemas biológicos complejos, utilizar un material con una propiedad diferente.*

Los poros del diagrama, por ejemplo:

*Tienen la propiedad de regular el flujo de iones (en alusión a especies cargadas como las que existen en la sangre tales como, por ejemplo, el sodio, el cloruro, el potasio, el magnesio), en el rango de temperatura fisiológica. Por encima de los 35° C, 36° C se abre la compuerta del canal nanoscópico por procesos de heating up—como se muestra en el diagrama precedente (de la fig. 5.1)— y cuando baja la temperatura, se contrae por procesos de cooling down.*

Dichos procesos, además, presentan analogías con las técnicas de evaporación y de condensación. Entonces, agrega Azzaroni:

*... usando bloques de construcción completamente artificiales, puede diseñarse un sistema completamente artificial, en el cual, con cierto estímulo externo –que se compara con la temperatura de una fábrica–, se liberan más iones. En base a esa idea, podría diseñarse una plataforma que libere un fármaco bajo cierto estímulo, que sea regulado por el sistema inmune.*

En este sentido, tal como se señala en la página web del sitio oficial del Laboratorio de Materia Blanda (2011), coordinado por Omar Azzaroni, “el diseño racional de plataformas que permitan el transporte selectivo de especies iónicas, el cual ha recibido considerable atención durante la última década, supone una amplia variedad de aplicaciones tecnológicas tales como, por ejemplo, el envío controlado de medicamentos”.

La investigación desarrollada por Omar Azzaroni es aún más relevante si se considera “la existencia de numerosos tejidos epiteliales en los cuales se producen gran cantidad de procesos, algunos de los cuales necesitan el transporte de determinadas especies cargadas positivamente como, por ejemplo, el sodio y el potasio. Ese transporte selectivo es el que origina una diferencia de potencial a través de la cual, en definitiva, gran cantidad de procesos son regulados”. El aprendizaje de la forma en la que la Naturaleza genera diferencias de potencial para controlar una gran cantidad de procesos permite –según el científico– “armar procesos de autoensamblados en la geometría nanoconfinada, denominación que en el diagrama (de la fig. 5.1) alude a geometrías limitadas o restringidas en poros muy pequeños”.

¿Cuáles serían las técnicas de construcción de los canales nanoscópicos? El canal nanoscópico con el cual Omar Azzaroni desarrolla sus investigaciones se hace en Alemania, en uno de los lugares denominado GSI con el que Azzaroni colabora y dicha construcción consiste –según explica– “en atravesar una membrana con un ion acelerado, obteniendo un canal muy pequeño, de unos pocos nanómetros, denominado canal nanoscópico. Una vez realizado, dicho canal es modificado con polímeros, más específicamente con monocapas macromoleculares conocidas también como polymer brushes”. Estos últimos se distinguen de otros polímeros porque uno de sus extremos queda confinado (en este caso, en la pared del poro) mientras que el otro puede contraerse o estirarse presentando, respectivamente, una configuración extendida o colapsada y un orden direc-

cional a considerar también en el estudio del diseño. La relevancia de considerar dicho orden direccional consiste en que el cambio de espesor de los “cepillos poliméricos” permite un cambio en sus propiedades. Al respecto, es importante enfatizar que las propiedades –físicas, químicas y biológicas– y los comportamientos extraordinarios de determinados materiales cuando presentan tamaños nanométricos (es decir, de 1 a 100 nanómetros) no son los mismos que cuando esos materiales no se encuentran en dicha escala. El canal nanoscópico es recubierto por dentro con moléculas (por ejemplo, la molécula PNIPAM en el diagrama de la fig. 5.1) y son esas moléculas las que responden a la temperatura.

Cabe remarcar que, de todas las líneas de investigación que Omar Azzaroni desarrolla, aquella que considera como más creativa está relacionada precisamente con el diseño del sistema artificial antes expuesto, considerado además un diseño en la frontera del conocimiento.

### **Algunas consideraciones finales**

Profundizaremos, a continuación, algunas de las reflexiones realizadas relacionándolas con los aspectos de la creatividad conceptualizada por sus procesos, a los que hemos aludido en la introducción de este capítulo.

Una de las primeras consideraciones en el estudio de la creatividad está centrada en la pertinencia de haber elegido focalizar el examen de dicho concepto como proceso de crecimiento, de cambio, de movimiento continuo y fluido de devenir a la existencia, en aquello que hemos denominado un entramado formativo altamente especializado. En ese entramado formativo, hemos puesto la atención en algunos aspectos de los procesos de aprendizaje realizados por Omar Azzaroni, relacionados con las adquisiciones y desarrollos de teorías, conceptualizaciones, conocimientos, habilidades, prácticas y *expertises*, enfatizando las combinaciones de aprendizajes y desarrollos de investigación en los distintos procesos formativos, con especial atención a las áreas y cambios de área de especialización de Azzaroni en cada período: fisicoquímica de superficies, química macromolecular y supramolecular, biofísica aplicada.

Si en la etapa formativa doctoral en fisicoquímica de superficies, Omar Azzaroni realiza un aprendizaje de las técnicas de autoensamblado molecular, en el transcurso de su especialización posdoctoral en química macromolecular y supramolecular, adquiere una técnica adicional: el

ensamblado de bloques de construcción de moléculas muy grandes mediante la utilización de fuerzas supramoleculares.

En el ejemplo precedente, al incremento cualitativo resultante del aprendizaje de aquello que hemos denominado procesos de codificación en química (con énfasis en las posibilidades que ofrece el microscopio de efecto túnel en la realización de mediciones) y de la adquisición de nuevas técnicas en cada período formativo, se añade el incremento cualitativo que la combinación de esos aprendizajes permite. En efecto, si bien Azzaroni realiza un cambio de área de la fisicoquímica de superficies a la química macromolecular y supramolecular, continúa abrevando en los conocimientos adquiridos en química tradicional para hacer los bloques de construcción que luego ensamblará mediante la utilización de fuerzas supramoleculares.

En la posibilidad de realizar dicha combinación subyace, por un lado, la idea de incorporar nuevos conocimientos y no la de reemplazarlos, estrategia compartida por los laboratorios donde el Omar Azzaroni realizó sus estudios posdoctorales. Por otro lado, la posibilidad de realizar ensamblados de bloques de construcción con la utilización de fuerzas supramacromoleculares permite el desarrollo de la creatividad en el diseño de sistemas, que implica otro importante incremento cualitativo adquirido por Azzaroni en el proceso de aprendizaje durante el período formativo en foco.

La reflexión sobre la idea expuesta es uno de los elementos a considerar en la formulación de una de las hipótesis que proponemos y según la cual la combinación de incrementos cualitativos de conocimientos adquiridos en base a los aprendizajes realizados, a través de las distintas formaciones en el entramado altamente especializado, es de gran relevancia en el desarrollo de la creatividad.

El ejemplo del aprendizaje de las técnicas de autoensamblado molecular de superficies y de ensamblado de bloques supramoleculares aporta, además, elementos de análisis en el estudio de la creatividad conceptualizada por sus procesos y, más específicamente, en el examen del aspecto generativo de la improvisación. En la formulación conceptual realizada por Tim Ingold y Elizabeth Hallam (2007), en dicho aspecto subyace la idea de continuidad de una tradición que –según los autores– no significa inercia. El proceso de aprendizaje de las técnicas es un ejemplo que permite reflexionar acerca de la idea de continuidad de una tradición como regeneración activa. En efecto, la continuidad en el uso de la química tradicional en la realización de los bloques de construcción se combina

con el aprendizaje de nuevas técnicas, permitiendo el ensamblado de dichos bloques mediante la utilización de fuerzas supramacromoleculares.

En el estudio del concepto de creatividad en dicho proceso, la atención también se focaliza, por su importancia, en el desarrollo de teorías, conceptualizaciones y conocimientos, entre las que se consideran las relevantes contribuciones de científicos distinguidos con los premios Nobel, con especial énfasis en las realizadas en el área de química supramolecular y de materia blanda. Dichas contribuciones, de gran relevancia en el crecimiento del entramado formativo altamente especializado en foco, están estrechamente relacionadas con el estudio de la creatividad en el diseño de sistemas, con énfasis en aquellos que se encuentran en la frontera del conocimiento.

La apreciación precedente se encuentra estrechamente vinculada con el aspecto relacional de la improvisación. En la argumentación de Tim Ingold y Elizabeth Hallam (2007), la mente creativa es inseparable de la matriz total de relaciones en la que está inmersa y cuyo desarrollo es constitutivo del proceso de la vida social. En dicha elaboración, la adhesión a una tradición, lejos de suponer repetición, supondría más bien una idea de continuidad respecto de los predecesores. En la formulación de los autores, la creatividad existiría como condición de posibilidad en el potencial dinámico de un campo de relaciones considerado en su totalidad, que la persona situada en dicho campo podría hacer surgir.

Es respecto del estudio de dicho potencial dinámico que sostenemos la relevancia de incluir en el análisis del entramado formativo altamente especializado a los predecesores que –según Azzaroni– más fuertemente han influido en su formación en los distintos períodos considerados y a los científicos distinguidos con los premios Nobel. A su vez, en el estudio del potencial surgimiento de la creatividad inherente a ese campo de relaciones considerado en su totalidad, proponemos examinar las contribuciones de los predecesores en estrecha relación con las reflexiones sobre la noción de adquisición en el estudio de los procesos de aprendizaje en los períodos formativos en foco. En efecto, en base a la reflexión acerca de las formas sustantivas y verbales de las acepciones de “*acquisition*” y “*to acquire*” mencionadas en *The Heritage Illustrated Dictionary of the English Language* (1973), la conceptualización de adquisición supone, por parte de quien aprende, un esfuerzo que estaría relacionado con una búsqueda. La reflexión sobre dicho esfuerzo en la obtención de incrementos cualitativos en el conocimiento mediante distintos procesos de aprendizaje es de gran relevancia –según hipotetizamos– cuando el examen se focaliza

en el estudio de la creatividad. Al respecto, la creatividad del premio Nobel cuya novedad consistió en ser el primero en la historia de la humanidad en utilizar el concepto de química supramolecular fue condición de posibilidad para que numerosos investigadores –entre ellos, Omar Azzaroni– empezaran a explorar diferentes bloques de construcción con diversas ideas acerca de a qué objetivos llegar, lo cual a su vez permitió la formulación del concepto de creatividad en el diseño de los sistemas.

Además, en el caso de Azzaroni, la formación en química macromolecular está relacionada con su interés en especializarse en “*soft matter*”, otra formulación conceptual que le valió el premio Nobel a su creador. Considerando las proteínas como uno de los bloques de construcción de los sistemas que se denominan “materia blanda”, la especialización en biofísica aplicada le permite a Omar Azzaroni realizar una nueva combinación de sus estudios en química supramolecular, materia blanda y materiales biológicos, y desarrollar la idea de utilizar las propiedades de reconocimiento de las proteínas existentes en sistemas biológicos complejos para generar autoensamblados moleculares con propiedades funcionales.

En esta etapa se complejiza también la formulación conceptual de creatividad en el diseño. Por un lado, porque en el caso de los “sistemas de ensamblados biosupramoleculares por capas” desarrollados por Azzaroni en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung, la creatividad en el diseño de sistemas supone “pensarlo, racionalizarlo y luego, construirlo”.

El desarrollo de la formulación conceptual de la creatividad en el diseño de sistemas permite, a su vez, la profundización de un incremento cualitativo adicional adquirido en el proceso de aprendizaje, relacionado –según argumentamos– con la organización del conocimiento. En efecto, en el ejemplo de los sistemas biosupramoleculares por capas, la relevancia de la organización de las capas es condición de posibilidad de los procesos de transferencia electrónica, y el control de dicho ensamblado, que se logra mediante la precisión nanométrica en cada una de las capas por el desarrollo de los procesos de codificación, permite optimizar las respuestas.

Por otro lado, un incremento cualitativo adicional en la formulación de la noción de creatividad en el diseño de sistemas y en los procesos de aprendizaje consiste en considerar la relevancia de las conceptualizaciones en dicho diseño. El aprendizaje conceptual realizado en los distintos períodos formativos, incluyendo el adquirido respecto de la transdisciplinariedad en la escala nanométrica, es de gran relevancia en

la reflexión acerca del desarrollo científico y tecnológico en la frontera del conocimiento ya que, en la actualidad, la resolución de dichos problemas es netamente interdisciplinaria. Al respecto, uno de los diseños considerados por Azzaroni como más creativos entre los realizados en la frontera del conocimiento supone –según argumentamos– la formulación de un razonamiento analógico entre las conceptualizaciones de nanoporos en estado sólido y las de poros biológicos, razonamiento en el que subyace una combinación de ideas transdisciplinarias en escala nanométrica que le permite al científico formular el concepto de canal nanoscópico e idear bloques de construcción completamente artificiales, que también pueden ser utilizados en aplicaciones tecnológicas.

En base a las reflexiones filosóficas de Henri Bergson acerca del sentido del tiempo como duración, Tim Ingold y Elizabeth Hallam (2007) sostienen que la improvisación es intrínsecamente temporal, un aspecto que es examinado a continuación, en relación con el desarrollo de la creatividad en el diseño de los sistemas. Si la reflexión sobre el pasado que guiaría el proceso creativo sin llegar a determinarlo se focaliza en los predecesores, puede argumentarse que si bien la formulación del concepto de química supramolecular posibilitó la exploración de diferentes bloques de construcción con diversas ideas acerca de a qué objetivos llegar y la formulación del concepto de *soft matter* permitió, por ejemplo, la conceptualización de las proteínas como bloques de construcción, es en base al estudio y reflexión acerca de dichas conceptualizaciones y de los aprendizajes realizados en los distintos períodos formativos que Omar Azzaroni llega al desarrollo de diseños creativos de sistemas.

Más aún, la idea de un futuro imprevisible en el desarrollo del proceso creativo o de un desarrollo creativo inesperado del potencial dinámico de un campo de relaciones considerado en su totalidad puede aplicarse, por ejemplo, al concepto de canal nanoscópico. A través del aprendizaje del control, por parte de la Naturaleza, de procesos de los sistemas biológicos complejos sin intentar reemplazarla, sino con la idea de utilizar un material con una propiedad diferente, es en base al concepto de canal nanoscópico y al desarrollo de la creatividad en la práctica habilidosa –otro aspecto considerado por Tim Ingold y Elizabeth Hallam (2007) en la conceptualización de la improvisación y que es fundacional de la forma en la que trabajamos– que Omar Azzaroni puede idear bloques de construcción artificiales para utilizar en el diseño creativo de sistemas completamente artificiales y en la frontera del conocimiento.



**Parte III**  
**Aplicaciones y conclusiones**  
**Formas creativas de interacción**  
**con la materia**



## Prefacio

La Parte III está compuesta por tres capítulos. Los dos primeros se ocupan de las formas creativas de interacción con la materia y han sido elaborados en base al estudio y reflexión de casos específicos de interacción del *scanning tunneling microscope* (o de alguna de sus variantes) con la materia, desarrollados por Roberto Salvarezza en investigaciones que realiza en la frontera del conocimiento.

El último capítulo se ocupa de la formación de los investigadores. Allí se reflexiona sobre los hallazgos realizados en las diferentes partes del libro y se aportan nuevos elementos de análisis para profundizar en el interrogante del título.



# Capítulo VI. Superficies que atrapan Aportes en el estudio del concepto de *container*

## Introducción

Las reflexiones acerca del concepto de *container*, que es el objetivo de este capítulo, se basan en el estudio de un dispositivo que, más que encapsular, repentinamente atrapa.

Diseñado para restringir o detener el movimiento de las bacterias en investigaciones que los científicos desarrollan en la frontera del conocimiento, uno de los interrogantes que formularemos es ¿qué elementos de análisis puede aportar a las reflexiones acerca de la idea de *container* el estudio de dicho dispositivo cuando es conceptualizado como una superficie plana?

¿Cuáles son las técnicas que permiten construir dicho dispositivo?

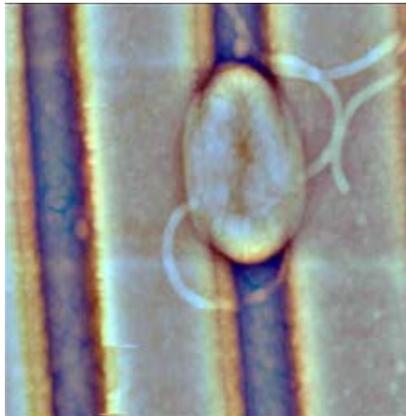
En el capítulo exploraremos la transformación de la superficie plana en un *container* y reflexionaremos acerca de la idea de creatividad (Boden, 2004), que el diseño del dispositivo supone. Examinaremos el concepto de *container* considerando su interacción con la materia viviente en foco y estudiaremos, con especial atención, una de las habilidades que los científicos desarrollan, habilidad relacionada con la idea de diseño como “imaginación del futuro” (Ingold, 2012).

¿Cómo se conceptualiza el interior y el exterior de un dispositivo que ha sido diseñado sobre una superficie plana? ¿Cuál es la relevancia de la conceptualización de la interioridad y exterioridad de dicho dispositivo respecto de aquello que este posibilita en las investigaciones que los científicos desarrollan en la frontera del conocimiento? ¿Cómo se distingue la interioridad y exterioridad de dicho dispositivo en base a la observación de imágenes? Esos son algunos de los interrogantes más importantes que planteamos en este capítulo.

## El diseño de la forma respecto del movimiento

“*Bacterium trapped in microchannels*” es una de las primeras imágenes en base a cuya observación reflexionaremos acerca del diseño del dispositivo en estudio, ideado como una superficie que, repentinamente, atrapa. Conceptualizado como una interfase entre dos mundos, el mundo del metal y el mundo de la materia viviente, el diseño de la interfase del dispositivo posibilita una interacción con la materia en foco, cuyo examen contribuye a incrementar el conocimiento preciso de la materia.

**Figura 6.1** “*Bacterium trapped in microchannels*”



Fuente: *Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (NIFTA), 2011.*

El examen del dispositivo en estudio supone también una reflexión acerca del diseño de su forma, en alusión al diseño de los microcanales sobre una superficie o al de una superficie acanalada o con presencia de conductos. Identificados como las partes más oscuras del dispositivo, visto desde arriba, la idea que subyace en la construcción de los microcanales es la de atrapar o detener el movimiento de las bacterias.

## Microcosmos y microcanales

Otra idea interesante acerca del diseño de la forma del *container* en estudio es la que alude a un contraste –en este caso, implícito–, a diferencia del examinado en la imagen precedente, referido a los microcanales vistos desde arriba. Este contraste implícito es el que se detecta –según argumentamos– entre los términos que componen el concepto de microcanales.

Con el fin de profundizar el concepto en el que se inspira la formulación del contraste, analizamos a continuación el término “micro”. Una de las acepciones de “micro” indica “lo más pequeño, lo más interno, lo más detallado de dos objetos considerados en forma de contraste”, siendo “microcosmos” el término aludido para ejemplificar dicha acepción (*The Heritage Illustrated Dictionary of the English Language*, 1973).

En el ejemplo precedente, la comparación que subyace en la formulación del contraste es conceptualizada en términos de tamaño, siendo “micro” lo más pequeño, en contraste con las inmensas dimensiones del “cosmos” o mundo. “Imagen reducida del mundo” (*image réduite du monde*) sería, por otra parte, una de las acepciones de “microcosmos” (“*microcosme*”) (*Dictionnaire de la Langue Française*, 1995).

¿Qué nos aporta el ejemplo a las reflexiones acerca del concepto de microcanal?

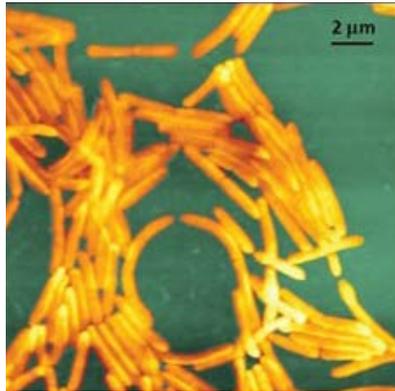
Si, por un lado, el concepto de canal –en alusión a la parte más profunda de una vía navegable– supone movimiento, por otro lado, la idea de microcanal –formulada en analogía con la de microcosmos como “imagen reducida del mundo”– consistiría en la imagen reducida de un canal que, por lo pequeño, angosto y profundo de su construcción, ha sido ideado para atrapar o detener el movimiento de la materia viviente en estudio (en este caso, las bacterias).

En base a la comparación del tamaño entre los términos “micro” y “canal”, el contraste implícito que subyace, entonces, en el diseño del dispositivo en foco es el que puede establecerse entre la detención del movimiento y el movimiento de la materia viviente en estudio.

“*Bacterial aggregates on gold*” es otra de las imágenes que nos permite reflexionar acerca de las particularidades del dispositivo en estudio, específicamente diseñado para atrapar o detener el movimiento de las bacterias.

En “*Bacterial aggregates on gold*” es posible observar cómo se disponen las bacterias, cómo se van agregando o agrupando, tal como se muestra a continuación.

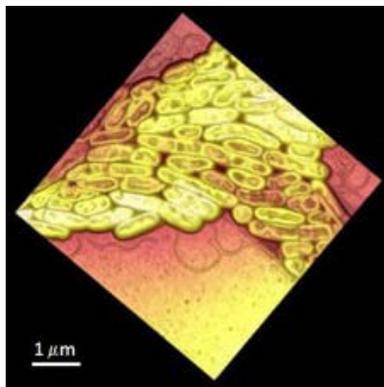
**Figura 6.2 “Bacterial aggregates on gold”**



Fuente: *Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.*

El estudio de la materia viviente se complementa con la observación de otra forma de movimiento. Inspirada en la idea de navegabilidad –como permite interpretar la denominación de los científicos–, la imagen “*Bacterial raft on gold*” que se muestra a continuación alude al desplazamiento de la materia viviente en estudio.

**Figura 6.3 “Bacterial raft on gold”**



Fuente: *Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.*

## **Técnicas constructivas. El caso de los microcanales**

¿Cuáles son las técnicas mediante las cuales se construyeron estos canales y cómo se conceptualiza su construcción en el caso específico en foco?

Las técnicas que se utilizan para construir los microcanales se denominan técnicas constructivas, y aquello que las distingue de las técnicas con las cuales se obtiene información es que permiten la construcción de sistemas.

Entre las técnicas que posibilitan la construcción de los canales ideados para atrapar bacterias, se distinguen las técnicas de evaporación, deposición y moldeo.

Aquello que se evapora es un material (metálico), en este caso, oro, material que luego se vaporiza sobre una superficie donde el oro se deposita por condensación, ya que la superficie presenta una temperatura inferior a la del oro vaporizado.

Lejos de limitarse a un recubrimiento de superficie, la relevancia de las técnicas de moldeo, por su parte, consiste en que pueden conferir o proyectar una forma geométrica –en este caso, al oro vaporizado– y posibilitar así una aplicación tecnológica.

En el caso en estudio, la forma geométrica es el microcanal.

Estas estructuras se moldean desde los CD, más específicamente, desde los *trenches* o surcos profundos de los CD.

La construcción de los microcanales consiste, entonces, en tomar un CD y vaporizarlo con oro, de forma tal que el oro se deposite sobre toda la superficie por condensación. Se obtiene así una matriz en la que la forma geométrica proyectada sería la versión contrapuesta a la de los surcos considerados.

Esos surcos profundos, que podríamos conceptualizar como “surcos tecnológicos”, se usan entonces como una especie de molde a fin de obtener una estructura ordenada (en este caso, en el submicrómetro) en la cual examinar las bacterias con el *scanning tunneling microscope* (STM) o alguna de sus variantes.

## **El diseño de la forma. La transformación de la forma respecto del movimiento**

La superficie del *container* en estudio y el microcanal o microcanales –en alusión a la parte más profunda de un pasaje navegable en esa superficie–

presenta características propias que, continuando con la idea del diseño del dispositivo en foco como una interfase entre dos mundos, pueden ser distinguidas respecto del movimiento o la detención del movimiento de la materia viviente en estudio. La superficie plana permitiría a la bacteria agruparse, deslizarse o moverse a través de ella, mientras que el acanalamiento o microcanal tendría un diseño ideado para atrapar o detener el movimiento de las bacterias.

En esta idea de creatividad en el diseño del dispositivo en foco –según argumentamos– subyace la idea de transformación de una superficie plana en un *container*, de una superficie plana en una superficie acanalada o con presencia de microcanales que, repentinamente, atrapa.

Con la idea de profundizar dicho argumento, reflexionaremos acerca de otro caso específico de transformación, estrechamente relacionado con la formulación de ideas creativas.

El caso que examinaremos brevemente se focaliza en algunos aspectos de uno de los descubrimientos científicos que han concitado mayor atención en los estudios acerca de la creatividad, tal como se puede apreciar en el proceso –referido por Kekulé– de surgimiento del *insight* que lo conduciría a la conceptualización del benzeno y, más específicamente, a pensar que la estructura del benzeno debería ser la de un anillo molecular (Boden, 2004).

El *insight* en cuestión alude a la transformación detectada por el científico mientras estaba adormecido, referida a la imagen de una serpiente extendida que repentinamente se muerde la cola e interpretada como una curva abierta que inesperadamente se convierte en un curva cerrada. La transformación de la imagen así interpretada sería análoga a la que es posible detectar en el cambio de la cadena molecular (*string-molecule*) al anillo molecular (*ring-molecule*) en el ejemplo del benzeno (Boden, 2004).

La reflexión acerca de la analogía precedente aporta elementos de análisis para profundizar el estudio del dispositivo en foco y, más aún –según argumentamos–, de la creatividad en el diseño de dicho dispositivo en relación con la idea de transformación; en este caso, la de una superficie plana que al transformarse en acanalada atrapa repentinamente.

La idea de “transformación creativa” de la cadena (molecular) al anillo (molecular) basada en la transformación de la serpiente mencionada por Kekulé condujo al científico a la creación de un nuevo espacio conceptual, una ciencia totalmente nueva que sería denominada “química aromática” (*aromatic chemistry*), el estudio de los derivados del benzeno (Boden 2004).

Es en base a esta idea que reflexionaremos sobre el concepto de creatividad en el diseño en el caso del dispositivo en estudio.

Si la transformación –que según el análisis del *insight* que habría contribuido al comienzo de la conceptualización del benzeno– condujo a Kekulé a la formulación de un cambio conceptual y, más específicamente, a la creación de un nuevo espacio conceptual, la creatividad en el diseño del dispositivo en foco –la superficie plana en un *container*, la superficie plana que se transforma en una superficie acanalada que repentinamente atrapa– ideado como interfase entre dos mundos está relacionada con la posibilidad de dicho dispositivo de explorar, ampliar y profundizar un espacio conceptual.

Dicho espacio conceptual es el que el diseño del *scanning tunneling microscope* (STM) permitió crear, posibilitando el descubrimiento de un nuevo mundo de átomos y moléculas en la nanoescala, hasta ese entonces invisible a simple vista.

Es importante hacer notar, a su vez, que a diferencia de los microscopios anteriores, el STM no solo permite “ver” en la escala nanométrica, sino también interactuar con la materia.

### **Habilidades y descubrimientos científicos. Imaginando el futuro**

El espacio conceptual históricamente nuevo, cuyas condiciones de posibilidad fueron creadas por Kekulé (Boden, 2004), parecería estar relacionado –según hipotetizamos– con una de las habilidades más relevantes entre las desarrolladas por el científico a partir de la conceptualización del benzeno, tal como es posible detectar reflexionando sobre algunos análisis de los descubrimientos del científico.

Al respecto, es importante señalar que tiempo después del surgimiento del *insight* mencionado, Kekulé presentó gráficamente al benzeno como un hexágono con alternancia de enlaces simples y múltiples para representar su estructura molecular, anticipando las numerosas posibilidades que una gran cantidad de derivados del benzeno podría ofrecer a la ciencia totalmente nueva que el científico había contribuido a crear.

Un aspecto importante de la habilidad detectada –de gran relevancia, según suponemos, en los descubrimientos científicos– es la conceptualización de dicha habilidad de *prévoir* como “anticipación del futuro” o “imaginación del futuro”, específicamente referida a la idea de conside-

rar, tener en mente o proyectar numerosas posibilidades (*Dictionnaire universel des noms propres*, 1975).

Una idea análoga a la de anticipación o imaginación del futuro es la que subyace en la conceptualización de *foresight* elaborada por Tim Ingold (2012), es decir, la habilidad de construir, idear o concebir un plan o representación en la mente de forma anticipada a su realización material.

Formulada conceptualmente por el autor como “ver en el futuro” (Ingold, 2012), dicha habilidad es de especial relevancia –según argumentamos– en las investigaciones que, como en el caso de las tratadas en este estudio, se desarrollan en la frontera del conocimiento.

En efecto, la idea de anticipación que subyace en la habilidad de *foresight* en la conceptualización de Tim Ingold (2012), lejos de determinar anticipadamente la forma final de las cosas –incluyendo la totalidad de los pasos que dicha forma final requeriría–, consistiría, más bien, en “*opening up a path*”, formulación conceptual que aludiría a la idea de hacer accesible una senda.

En el caso específico en estudio, dicha senda estaría relacionada con la exploración que el *scanning tunneling microscope* o alguna de sus variantes posibilita mediante la interacción con la materia en foco, incrementando el conocimiento de la materia y contribuyendo así a la profundización del espacio conceptual creado por el STM, un mundo hasta ese entonces invisible de átomos y moléculas en la escala nanométrica.

### **La conceptualización de la interioridad y exterioridad de un dispositivo ideado en una superficie plana**

La conceptualización de la interioridad y exterioridad del dispositivo en foco es de gran relevancia en el diseño del *container*, porque a partir de dicho diseño los científicos pueden interactuar con la materia viviente en estudio y, más específicamente, detener el movimiento de las bacterias.

Ideados sobre una superficie plana, los microcanales son la parte más profunda del dispositivo y permiten establecer una distinción entre la interioridad y la superficie o exterior del *container*, una distinción relevante en la detención del movimiento de la materia viviente en foco.

La idea de transformación de la superficie plana en una superficie acanalada permite también la transformación del movimiento de las bacterias en la detención del movimiento.

La forma del *container* ha sido ideada para estudiar la materia viviente en foco. En efecto, se trata de un dispositivo que, si bien “atrapa”, no se cierra totalmente ya que posibilita la interacción con las bacterias –en el ejemplo considerado– mediante la utilización de un microscopio que, como en el caso del STM o alguna de sus variantes, no solo permite “ver” en la nanoescala sino interactuar con la materia.

La superficie acanalada, al detener el movimiento de las bacterias, permite atraparlas mientras que el dispositivo, al no ser del todo cerrado, permite examinarlas. Con la punta del STM (o alguna de sus variantes) se puede, por ejemplo, medir las propiedades elásticas de las bacterias, es decir, la fuerza que hay que aplicar para estirarlas.

Con la punta del microscopio se puede, también, destruir bacterias y evitar así la diseminación de infecciones.

La reflexión acerca de la distinción entre la interioridad y exterioridad del *container* en estudio estaría entonces relacionada con el incremento del conocimiento en ciencia básica que es posible obtener en base a dicho dispositivo y mediante el uso del STM o alguna de sus variantes.

### **La creatividad en el diseño de la forma del *container*. Algunas consideraciones finales**

Entre los aportes en el estudio del concepto de *container*, hemos señalado la relevancia de la creatividad en el diseño de la forma del dispositivo, ideado como una superficie que atrapa repentinamente.

Al respecto, hemos mostrado la importancia del dispositivo ideado como interfase entre dos mundos, el mundo del metal y el mundo de la materia viviente en foco; hemos examinado la idea de la transformación de la forma del dispositivo de una superficie plana en un *container*, de una superficie plana en una superficie acanalada, de una superficie plana que repentinamente atrapa, y hemos considerado dicha idea de transformación en relación con el movimiento de la materia viviente en estudio.

Hemos detectado habilidades relacionadas específicamente con el descubrimiento científico, como la anticipación o imaginación del futuro.

La idea de contraste es otro de los aspectos a considerar en el estudio del diseño del dispositivo en foco.

Al respecto, hemos detectado contrastes explícitos, como los que corresponden a las partes más oscuras y profundas de los microcanales

vistos desde arriba, a través de los cuales se detiene el movimiento de la materia viviente en estudio.

Hemos detectado también contrastes implícitos en los términos que componen el concepto de microcanal.

En base a la comparación del tamaño entre los términos “micro” y “canal”, el contraste implícito que subyace en el diseño del dispositivo en foco es el que puede establecerse entre la detención del movimiento y el movimiento de la materia viviente examinada.

La idea de contraste también ha sido detectada a partir de la forma geométrica conferida al oro vaporizado, que sería la versión contrapuesta de los surcos considerados.

El estudio de la forma geométrica específica del dispositivo en estudio, es decir, el de los microcanales –cuyas técnicas constructivas hemos examinado–, nos ha permitido entonces aportar elementos de análisis en la conceptualización de la interioridad y exterioridad del *container* y considerar la relevancia de dicha distinción conceptual en el incremento del conocimiento en ciencia básica que, en base a ese dispositivo ideado como interfase entre dos mundos, es posible obtener mediante la interacción del STM (o alguna de sus variantes) con la materia viviente en foco.

# Capítulo VII. Escribir en la nanoescala

## Introducción

En sus reflexiones sobre la historia de la escritura (*history of writing*) en el mundo occidental y especialmente sobre la transición de los manuscritos medievales a los textos impresos modernos, Tim Ingold (2007) advierte que lo que estaba en juego en dicho proceso no se limitaba a la naturaleza y producción de las líneas, sino que la manera de entender esas líneas inscriptas en pergamino o en papel dependía de aquello con lo cual se comparaba la “superficie plana” (“*the plain surface*”) en la que las líneas estaban inscriptas.

Con el fin de aportar nuevos elementos en las reflexiones de la historia de la escritura y, de forma más general, de la “historia de la notación” (“*history of notation*”) y de la línea –que supone una historia de las relaciones cambiantes entre líneas y superficies y de sus transformaciones (Ingold 2007)–, el objetivo del capítulo se ocupa de analizar qué significa escribir en la escala nanométrica (una millonésima parte del milímetro).

Conceptualizaremos la escritura como construcción y examinaremos en qué consiste el acto de inscripción al efectuarlo, por ejemplo, en una superficie de oro.

Profundizaremos en la conceptualización de las líneas como “trazos” (*traces*), en sus acepciones “aditiva” y “reductiva” (*additive and reductive*) (Ingold, 2007), con énfasis en las técnicas constructivas y en los procesos creativos que posibilita la escritura en la nanoescala.

Estudiaremos una de las *expertises* técnicas más importantes en dicho proceso constructivo, estrechamente relacionada con la eficacia en el control manual de gran precisión, en forma coordinada con habilidades perceptivas.

## Topografías e imágenes topográficas

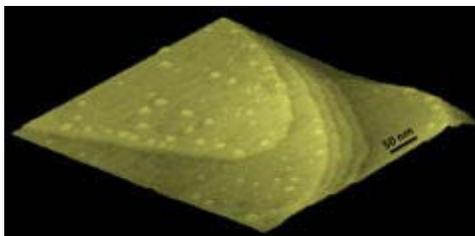
Un aspecto importante a considerar respecto de la elección de reflexionar sobre la escritura centrando la atención en la escritura que se efectúa, por ejemplo, en la nanoescala y sobre una superficie de oro, consiste en

que de forma similar a la formulación de Tim Ingold (2007) –según la cual la superficie no puede considerarse como algo que pueda darse por sentado–, en el caso de la nanoescala la superficie no puede ser considerada como un mero telón de fondo.

Otro de los aspectos a profundizar en la reflexión, considerando la importancia de las relaciones cambiantes entre líneas y superficies y la relevancia de sus posibles transformaciones, consiste en examinar con qué elemento puede compararse la superficie de oro en estudio.

“*Gold nanostaircase*” es una de las imágenes en tres dimensiones (3D) que permiten comparar la superficie en estudio con una superficie que, lejos de ser plana, es una superficie escalonada en distintas capas o en distintos niveles, cuya presencia podría ser detectada, por ejemplo, en algunas formaciones montañosas como puede verse a continuación.

**Figura 7.1 “*Gold nanostaircase*”**



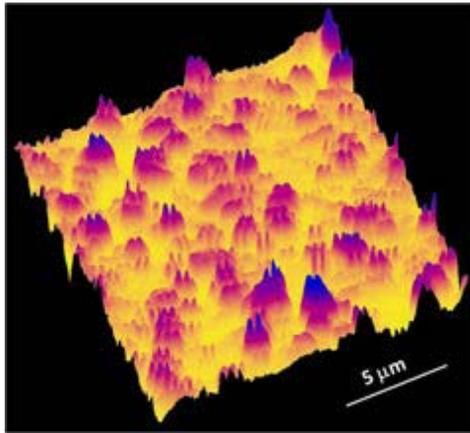
Fuente: *Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.*

Otro elemento de análisis que aporta la observación de esta imagen son las moléculas que es posible “ver” en la superficie de oro en estudio. La presencia de dichas moléculas nos permite reflexionar no solo en la importancia del concepto de superficie en la nanoescala, sino también en la posibilidad de que la superficie de la muestra en estudio sea modificada, por ejemplo, con capas de dimensiones moleculares que añadan nuevas propiedades a una superficie.

Los elementos de análisis que puede aportar la idea de modificación de la superficie considerada a la reflexión de la relación entre líneas y superficies, serán retomados a medida que se profundice el examen del caso de la escritura en la nanoescala.

“*Rough gold*” es otra de las imágenes en tres dimensiones (3D) que –tal como permite suponer la adjetivación elegida por los científicos para referir a la imagen de la superficie estructurada de oro– podría estar indicando, mediante una analogía táctil con las rugosidades de la superficie, aquello que podría ser interpretado como formaciones montañosas con presencia de valles, tal como se muestra a continuación.

**Figura 7.2 “*Rough gold*”**



Fuente: *Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.*

En este caso, la rapidez con la que el oro es depositado, en vez de dar lugar a la formación de cristales grandes, posibilita –en la escala nanométrica– la formación de estructuras muy pequeñas y rugosas. Dicho material rugoso es una construcción topográfica que, como la imagen topográfica obtenida de la superficie permite “ver”, se asemeja a pequeñas montañas.

En las reflexiones de Tim Ingold (2007), ideas tales como las de “un paisaje a ser recorrido en el transcurso de un viaje”, “un espacio a ser colonizado”, “epidermis del cuerpo” o “espejo de la mente” son algunos de los elementos con los que se ha comparado “la superficie plana”.

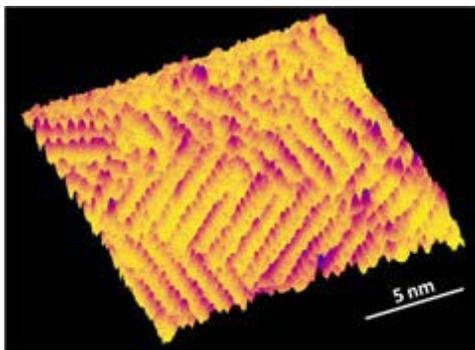
Como si se tratara de un viaje exploratorio a través de una superficie de oro, las imágenes examinadas permitirían detectar –según argumen-

tamos— algunas similitudes con el paisaje a ser recorrido, frecuentado o experimentado en el transcurso de un viaje.

Las superficies montañosas escalonadas o los valles y montañas que las rugosidades de oro permitirían suponer, serían elementos específicos a ser comparados con las superficies de oro en estudio. Dichos elementos permitirían conceptualizar las superficies en foco en analogía con superficies topográficas. Esta idea de topografía como elemento con el cual puede compararse la superficie en estudio es otro aspecto de gran relevancia a considerar en el estudio de la escritura en la nanoescala.

La idea de examen detallado y preciso que supone el concepto de topografía también puede aplicarse al análisis de la superficie de la muestra en estudio, tal como se ejemplifica en la imagen que se presenta a continuación.

**Figura 7.3** “Chains of organic molecules on gold”



Fuente: *Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.*

En efecto, en “Chains of organic molecules on gold”, la topografía de la muestra es muy distinta en cada porción y permite “ver”, por ejemplo, porciones de la muestra donde no hay moléculas y otras en las que las moléculas forman filas, así como detectar la disposición espacial de las moléculas en dominios, los límites y el tamaño de los dominios, etcétera.

La relevancia del conocimiento detallado y de gran precisión de la superficie estructurada en foco, en cada porción de la muestra, está es-

trechamente relacionada con la conceptualización de topografía, con énfasis en la acepción antes mencionada.

Profundizar la idea de topografía como elemento con el cual puede compararse la superficie de oro en la escala nanométrica en estudio supone una reflexión adicional acerca del microscopio que, en base a la construcción de una imagen, permite “ver” la superficie de la muestra en estudio y conceptualizarla como una superficie topográfica. Es a través de ese microscopio que las imágenes precedentes fueron obtenidas.

Al respecto, uno de los aspectos que distinguen al *scanning tunneling microscope* de microscopios anteriores se basa en un concepto totalmente nuevo y diferente sobre la construcción de la imagen que, en el caso del STM, se obtiene a través de la medición de una corriente de electrones que permite “ver” átomos y moléculas en la escala nanométrica.

La imagen así obtenida de una superficie es una imagen topográfica, en tres dimensiones (3D), en escala y tiempo real.

## ¿Qué significa escribir en la nanoescala?

### La escritura como construcción

Otro de los aspectos que distinguen al STM de microscopios anteriores consiste en que el STM permite interactuar con la materia de distintas formas.

¿Cómo es la interacción del STM con la materia en el caso específico de la escritura en la nanoescala?

Uno de los aspectos interesantes a considerar respecto de la escritura en la nanoescala es la idea de escritura como construcción, conceptualización relacionada con una de las acepciones de escribir (*to write*) que alude a la idea de moldear o dar forma (*to form*) y que permite plantear la idea de inscribir en otro material que no sea papel, por ejemplo (*The Heritage Illustrated Dictionary of the English Language*, 1973).

Otro de los aspectos a considerar en la conceptualización de la escritura como construcción es la idea de operar. Operar es un término utilizado por los científicos para referirse al *scanning tunneling microscope* y alude a las dificultades para montar la punta del STM. Incluye aspectos tales como la visualización y aproximación de la punta del STM con una lupa y el acercamiento de la punta del STM a la muestra, todas tareas referidas a habilidades manuales muy precisas que requieren mucha paciencia y una importante coordinación entre percepción visual y habilidades manuales, de forma tal que el STM pueda funcionar eficazmente

permitiendo la construcción de una imagen y la obtención de información en base a mediciones.

Esta idea de eficacia en el funcionamiento del STM se complementa con otro uso del término “operar”, referido a la idea de “operar un equipo”, por ejemplo, que supone también mantener dicho equipo en condiciones de funcionamiento.

Operar el STM supone, entonces, la adquisición de habilidades referidas al funcionamiento eficaz del microscopio, estrechamente relacionadas, a su vez, con el desarrollo de una *expertise* técnica para la realización de mediciones en base a las cuales se construye la imagen.

Es importante señalar que algunas de las habilidades y *expertises* técnicas desarrolladas mediante el uso de las técnicas de obtención de información, en el caso de la construcción de una imagen, también son habilidades requeridas en el desarrollo de técnicas constructivas, como aquellas en las que se basa la escritura en la nanoescala.

¿En qué consiste operar eficazmente el STM en el caso de la escritura en la nanoescala?

La escritura en la nanoescala consiste en “arrancar”, con mucha precisión y a través de una interacción muy fuerte de corriente de electrones, átomos y moléculas de una superficie, mediante una interacción específica efectuada por la punta del STM respecto de la superficie de la muestra, dejando un “hueco”.

Es en este caso específico de interacción del STM con la muestra en estudio, al que podríamos denominar “escribir con electrones”, y en el que la línea se escribe y se inscribe “arrancando” una parte del material de la superficie, en el que focalizaremos la atención para reflexionar acerca de la idea de “línea como trazo”, con énfasis en su acepción “reductiva”, en base a las conceptualizaciones de Tim Ingold (2007).

Al respecto, en *Lines. A Brief History*, Tim Ingold (2007) distingue dos grandes grupos de líneas conceptualizadas como “*thread*” (que supone la idea de hilo, fibra, hebra, filamento) y “*traces*” o trazos. En este estudio reflexionaremos acerca de algunos aspectos de las líneas como trazos.

Es importante hacer notar que, en las elaboraciones del autor, la línea como trazo sería conceptualizada como una marca durable efectuada en una superficie sólida a través de un movimiento continuo.

Por los menos dos aspectos distinguen a las líneas como “trazos”. Uno denominado “aditivo” –ya que el material, en los ejemplos considerados por Tim Ingold (2007), forma una capa extra que se agrega sobre un sustrato– y otro denominado “reductivo”.

Así como el concepto de línea como trazo en su aspecto aditivo supone la idea de una línea cuya formación es considerada como la capa de un material que se adiciona a un sustrato, el concepto de línea como trazo en su aspecto “reductivo” supone distintas formas de remover el material, respecto de las cuales profundizaremos la idea de *scored*.

Una de las acepciones de *scored* en la que focalizaremos la atención remite al concepto de *notch*, es decir, muesca o incisión, “*especially one made to keep a tally*” (*The Heritage Illustrated Dictionary of the English Language*, 1973), expresión que implica la idea de “llevar una cuenta”, “guardar una cuenta”.

Teniendo en consideración las especificidades del caso en estudio, la idea de escribir con una corriente de electrones, la de operar el STM que requiere eficacia en la *expertise* técnica –que consiste en “arrancar” átomos y moléculas con mucha precisión a partir de una interacción muy fuerte aplicada desde la punta del STM a la muestra dejando un “hueco”– aporta elementos relevantes para reflexionar acerca de la conceptualización de las líneas como trazos en su aspecto reductivo y, más específicamente, respecto de una de las acepciones de *scored* mencionadas, con énfasis en la idea de muesca o incisión.

En esta idea de escritura como interacción (mediada) que el caso en estudio nos permite examinar, la presencia de otro de los aspectos de *scored*, el referido a “llevar o guardar una cuenta”, está dada –según argumentamos– por la posibilidad de combinar los aspectos reductivo y aditivo de la línea conceptualizada como trazo.

En efecto, luego de “arrancar” átomos y moléculas con el STM es posible, por ejemplo, “depositar” moléculas de diferente química que añaden nueva información.

Esta idea de depositar moléculas permitiría proponer una formulación que presenta algunas similitudes con la idea de *notch*, la idea de depositar o guardar información, relacionada, en el caso en estudio, con la química de las moléculas.

## Algunas consideraciones finales

La escritura en la nanoescala, con énfasis en la que se efectúa a través del STM, es una forma específica de interacción con la materia, de la que la superficie en estudio forma parte importante. Supone además una idea de escritura como construcción eficaz.

A través del estudio de las topografías e imágenes topográficas, hemos comenzado por examinar el elemento con el que las superficies de oro en estudio pueden ser comparadas.

Las imágenes de las superficies topográficas examinadas, obtenidas mediante el STM, aportan importantes elementos a la reflexión acerca de las especificidades de las superficies sobre las cuales se escribe en la nanoescala, ya que esas superficies pueden presentar distintas capas o niveles, ser modificadas o incluso construidas.

La imagen de la superficie observada con el STM es topográfica, en tres dimensiones (3D) y en escala y tiempo real.

Al respecto, el STM consiste en una sonda que incide sobre una muestra y que, a diferencia de una radiación, es una punta que se desplaza por la superficie de una muestra, moviéndose horizontalmente, lateralmente y verticalmente en forma ascendente o descendente, sensando temperaturas y midiendo corrientes de electrones, de forma tal de restablecer las variables que al STM se le requiere mantener constantes. Uno de los aspectos más importantes a considerar respecto de la particularidad del movimiento del STM es que permite construir la imagen topográfica en 3D, lo cual es de gran relevancia para reflexionar acerca de algunas de las especificidades que presenta la escritura en la nanoescala.

Es importante hacer notar que el microscopio en base al cual se obtiene dicha imagen topográfica, el *scanning tunneling microscope*, es el mismo que permite escribir en la nanoescala.

Uno de los aspectos a considerar es la relación del microscopio en estudio con las técnicas basadas en la utilización del STM, esto es, las técnicas de obtención de información en base a las cuales se construye una imagen que permite, por ejemplo, “ver” la topografía de una superficie y las técnicas constructivas que posibilitan escribir en la nanoescala.

Luego de haber examinado la topografía como uno de los elementos con los cuales puede compararse la superficie en la nanoescala, cabe preguntarse: ¿qué aporta el examen de la escritura con STM en una superficie de oro en la nanoescala al estudio de la línea y, más específicamente, al examen de las relaciones cambiantes entre líneas y superficies y de sus posibles transformaciones?

Si retomamos la idea de escribir (*to write*) en la acepción de moldear o dar forma (*to form*) y consideramos la concepción de la escritura como construcción eficaz, es posible examinar la relación entre las líneas como trazos y las superficies en foco, y considerar su relevancia, focalizando el estudio en las formas en que las líneas se inscriben en dichas superficies.

Dichas formas están relacionadas con la idea de añadir capas adicionales a una superficie y de remover material, según las mencionadas acepciones “aditiva” y “reductiva” de las líneas como trazos.

Ambas formas relacionadas, entonces, con la idea de escribir (*to write*) aportan elementos para reflexionar acerca de la modificación de la superficie en estudio. Un aspecto creativo puede ser detectado si consideramos la transformación de dicha superficie en una que permite la escritura en la nanoescala.

Para apreciar otro elemento que el examen de la escritura con STM en una superficie de oro en la nanoescala aporta a las reflexiones de Tim Ingold en *Lines. A Brief History* (2007), es importante retomar brevemente las conceptualizaciones del autor acerca de la noción de escritura y, más específicamente, sus reflexiones sobre la historia de la escritura en el mundo occidental, con énfasis en sus elaboraciones acerca de la transición de los manuscritos medievales a los textos impresos modernos.

Al respecto, el sentido de escritura que Tim Ingold enfatiza en *Lines. A Brief History* está estrechamente relacionado con el de los trazos visibles efectuados por los hábiles movimientos de la mano, en el proceso de dar forma a las líneas en una superficie considerada.

Respecto de la transición de los manuscritos medievales a los textos impresos modernos, Ingold afirma que con el surgimiento de la impresión tipográfica se produjo una disrupción. Esta consistió en la interrupción de la relación más inmediata entre el gesto manual y la inscripción gráfica, en una disrupción del movimiento inmediato de los dedos de la mano respecto de la forma creada.

¿Qué elementos de análisis aporta, entonces, la reflexión de la escritura en la nanoescala a las elaboraciones de Tim Ingold sobre dicha transición y cuáles serían los aspectos disruptivos que la escritura en la nanoescala permite destacar, respecto de los detectados por Tim Ingold?

En el ejemplo de la escritura en la nanoescala sobre una superficie de oro, la disrupción detectada consistiría –según hipotetizamos– no solo en la interrupción de la inmediatez del gesto manual respecto de la forma creada, sino también en la mediación de la percepción visual y táctil en el proceso de escritura.

Por esa razón, uno de los aspectos que proponemos considerar respecto de la escritura en la nanoescala, en el ejemplo en foco, se refiere a su conceptualización como interacción mediada. Esta idea de interacción mediada –según hipotetizamos– estaría relacionada con la formulación de analogías perceptivas, visuales y táctiles.

La analogía perceptiva formulada respecto de aquello que no se puede ver a simple vista indicaría que la percepción visual está mediada por un instrumento, el STM, en base al cual se obtienen las imágenes topográficas, mientras que la formulación de la analogía táctil permitiría imaginar las rugosidades de la superficie topográfica del oro en la escala nanométrica.

# Capítulo VIII. ¿Cómo se crea a un investigador?

## Introducción

Las actividades de estudio, investigación y aplicación en la frontera del conocimiento enfatizadas en el libro podrían ser consideradas para referirse, sintéticamente, a cada una de las partes que lo componen.

Así, las actividades de estudio e investigación que condujeron al diseño del *scanning tunneling microscope* son las analizadas en la parte I.

El nuevo mundo que el STM permitió descubrir abrió el camino para una multiplicidad de desarrollos. Las actividades de investigación en la frontera del conocimiento en el caso de los nanomateriales con aplicaciones biomédicas y aquellas focalizadas en la creatividad en el diseño de los canales nanoscópicos, consideradas en estrecha relación con los procesos formativos, componen la parte II.

Las actividades de investigación en la frontera del conocimiento que suponen aplicaciones específicas del *scanning tunneling microscope* (o alguna de sus variantes) relacionadas con formas de interacción creativa con la materia en la nanoescala, en los casos del dispositivo ideado para realizar investigaciones con la materia viviente y de la escritura con electrones, componen la parte III.

En el tramo final de las elaboraciones que se presentan, los elementos de análisis que se desprenden de la lectura del artículo “Education for Creativity in the Sciences” (Wiesner, 1965) concitan nuestra atención. Si bien dicho artículo es anterior al surgimiento de la nanociencia y la nanotecnología, su lectura contribuye, por un lado, a profundizar el estudio acerca del concepto de creatividad correspondiente al período en el cual fue elaborado, así como a examinar la importancia de dicho concepto en los procesos de aprendizaje.

Por otro lado, la reflexión acerca de “Education for Creativity in the Sciences” permite aportar nuevos elementos de análisis relacionados con la especificidad de los hallazgos realizados en la investigación en la que este libro se basa, con énfasis en uno de los interrogantes más importantes de este capítulo: ¿cómo se forma a un investigador?

En “Education for Creativity in the Sciences” se argumenta que la creatividad supone la existencia de una actividad a través de la cual se aportan contribuciones que presentan novedad y que poseen valor en la esfera intelectual de la experiencia humana. Es importante aclarar que, en la conceptualización del autor, dicha noción también supone un punto de partida y una anticipación futura.

Del conjunto de actividades creativas aludidas en el artículo, el autor focaliza la atención en aquellas que atañen a la investigación científica destacando, en su argumentación acerca de la elección de dichas actividades, el cuidado con el que han sido estudiadas las características de esas actividades y las de los científicos que las desarrollan.

En “Education for Creativity in the Sciences” las actividades creativas desarrolladas por los científicos son agrupadas en tres categorías:

1. Las actividades de investigación científica (específicamente aquellas que conciernen al incremento del conocimiento de la naturaleza).
2. La investigación científica y tecnológica aplicada (referida al desarrollo de nuevas herramientas, técnicas y a la combinación de herramientas y técnicas para la solución de problemas particulares que incluyen objetivos prácticos).
3. El diseño en ingeniería concerniente al desarrollo de aspectos relacionados con la estética, la eficiencia material o la adaptación económica de la tecnología disponible para propósitos sociales particulares.

Más que profundizar en el estudio de cada una de dichas actividades en el abordaje del autor, nuestro objetivo es el de reflexionar acerca de uno de los aspectos más interesantes que –según Wiesner– las actividades de investigación mencionadas en dicho artículo comparten: el “*in-sight* imaginativo”.

Es importante aclarar que la elaboración de este libro se basa en el examen de actividades de estudio e investigación en la frontera del conocimiento que –en la línea de reflexión abierta por François Sigaut– hemos propuesto denominar instancias de “actividad creativa”, y que dicha conceptualización precede a la lectura de “Education for Creativity in the Sciences”. Pero aquello que a partir del artículo de Wiesner es interesante hacer notar refiere a las especificidades distintivas que presentan las

actividades de estudio e investigación cuando son examinadas en base al concepto de “*insight* imaginativo”.

### **El *insight* imaginativo. Reflexiones acerca de la investigación en foco**

¿Cuáles son y qué especificidades presentan los *insights* examinados en el libro? ¿Qué aprendemos acerca de su formulación respecto de la creatividad, en relación con aquello que –según Wiesner– amplía o mejora el entendimiento de lo ya conocido?.

Recordemos que es a partir del examen de la relación formulada en términos de experiencia e intriga y de la conceptualización del fenómeno que intrigaba a Heinrich Rohrer en un problema interesante que, en la parte I, capítulo II, detectamos una de las especificidades que el caso en estudio presenta. Dicha particularidad consiste en la relevancia de la colaboración científica entre los futuros premios Nobel en el comienzo de la resolución del problema, en la transformación de un problema interesante en un problema a resolver. Es a partir de dicho intercambio de ideas para resolver el problema planteado que los científicos advierten la carencia de una herramienta o instrumento apropiado de estudio.

La reflexión acerca del *insight*, en este caso, está relacionada con la elección del abordaje, y es importante señalar que este último fue examinado en el contexto de aquello que hemos denominado instancias de “actividad creativa”.

El abordaje elegido para resolver el problema en estudio es el de rompecabezas o *puzzle* y el *insight* detectado podría ser conceptualizado como metodológicamente inducido por los científicos.

En efecto, Heinrich Rohrer y Gerd Binnig comienzan realizando el armado de un rompecabezas de ordenamientos de contactos túneles en formas específicas para detectar si estos podían proporcionarles *insights*.

El *insight* que, como resultado de la discusión, Gerd Binnig pone en movimiento desde su memoria de larga duración, también es el resultado de las distintas interacciones sociales que hemos propuesto denominar instancias de “actividad creativa”.

La relevancia del desencadenamiento de dicho *insight* –según hipotetizamos– consiste en que a partir de dicha actividad creativa el movimiento del *insight* se produce desde la “memoria de larga duración” hacia la “memoria de trabajo”, creando a su vez las condiciones de posibilidad

para la creación de potenciales nuevas combinaciones de representaciones futuras.

Una de las contribuciones más importantes del capítulo II es, entonces, la de aportar elementos de análisis que permitan profundizar el examen de la incidencia de los aspectos sociales en el estudio de la creatividad.

Otro de los temas importantes acerca de los cuales hemos reflexionado en dicho capítulo es que el pensamiento creativo presenta componentes emocionales vitales que acompañarían los descubrimientos científicos, a lo cual se añade la idea de que la creatividad humana requiere la combinación de representaciones mentales que no estaban conectadas previamente.

En el capítulo II, también se reflexiona acerca de algunas de las especificidades que plantea la educación en nanociencia y nanotecnología.

Teniendo en consideración que la complejidad más importante en nanociencia y nanotecnología es conceptual –según explica Roberto Salvarezza– y que en el mundo de la materia en la escala nanométrica la información es elusiva, los desafíos de la educación en nanociencia y nanotecnología están relacionados con los problemas que el abordaje de los temas a investigar requieren, es decir, la utilización de una variedad de técnicas y diferentes enfoques para resolver los problemas planteados, lo cual supone la contribución de diferentes *expertises* y especialidades disciplinarias que convergen en la exploración de la materia en la nanoescala.

Las actividades creativas abordadas en la parte II, capítulo IV, corresponden a las investigaciones transdisciplinarias en la escala nanométrica que Roberto Salvarezza y un grupo de científicos desarrollan en la frontera del conocimiento.

En dicho capítulo, hemos examinado las contribuciones específicas de una imagen –visual, en este caso– en la generación o surgimiento de *insights* y hemos focalizado la atención en el asombro expresado por los investigadores al constatar un incremento en el diámetro de la nanopartícula de oro, detectado a través de la imagen obtenida en base a TEM, respecto de las mediciones del diámetro de esas mismas nanopartículas obtenidas con otras técnicas basadas en SAXS, EXAFS y UV/vis.

En el capítulo IV hemos argumentado, también, acerca de la relevancia de interpretar dicho *insight* en estrecha relación con el proceso de transformación del nanoobjeto en estudio y de considerar la contribución de las interpretaciones específicas de la imagen visual en la elaboración de interpretaciones expertas.

En dicho capítulo, sostenemos que los problemas de caracterización planteados respecto del tamaño de las nanopartículas de oro en estudio comienzan a ser superados gracias a la conceptualización de la estructura *core shell* a partir de las inferencias formuladas por los científicos en base a la investigación propia y de la curiosidad –por ellos manifestada– respecto de la configuración *staple motifs* detectada por otros investigadores en sus desarrollos en la frontera del conocimiento.

Más aún, es a partir de la conceptualización, por parte de los científicos, de la estructura *core shell* en base a las inferencias por ellos realizadas y de la formulación de un razonamiento analógico respecto de la configuración *staple motifs* –según argumentamos– que los investigadores comienzan a superar las incongruencias que se desprenden de la caracterización de la muestra en estudio.

La formulación de interpretaciones creativas expertas contó, además, con la contribución de distintas habilidades, como aquellas relacionadas con la posibilidad de formular semejanzas –a través de procesos de énfasis selectivo (Boden, 2004)– o la habilidad para advertir o vislumbrar cosas interesantes (Boden, 2004), como la detectada en el caso del atrapamiento de un momento en el tiempo de una estructura en un sistema metaestable, en base a la idea de combinación de conceptos tales como, por ejemplo, los de termodinámica y cinética.

Es el caso –en la investigación en foco– de la conceptualización de la estructura *core shell* como una estructura atrapada cinéticamente en un sistema metaestable, que puede presentar una química diferente en un proceso evolutivo termodinámico a partir de las posibles reacciones consideradas, permitiendo así el desarrollo de aplicaciones en química medicinal.

En el capítulo IV se argumenta, también, que el concepto de esquema cognitivo como procesador, examinado en estrecha relación con las motivaciones y en forma conjunta con el desarrollo de habilidades cognitivas, de la *expertise* en la interpretación y de las interpretaciones cognitivas expertas, es relevante para el incremento del conocimiento del control de la materia en la nanoescala en la frontera del conocimiento y para el desarrollo de posibles aplicaciones.

Aquello que aprendemos acerca del estudio del *insight* en este capítulo está relacionado, por un lado, con las reflexiones sobre el concepto de esquema cognitivo como procesador en la formulación de interpretaciones creativas expertas. Las habilidades y *expertises* estudiadas constituyen un gran aporte en la elaboración de dichas formulaciones ya

que son factores importantes cuyo desarrollo debe ser considerado en los procesos formativos. Por otro lado, aquello que aprendemos acerca del *insight* en este capítulo está relacionado con las especificidades que la incidencia de lo social presenta en el caso considerado, en alusión al grupo transdisciplinario de científicos que convergen en la exploración de la materia en la escala nanométrica.

En el capítulo v, el objetivo es detectar combinaciones de conocimientos, habilidades, prácticas y *expertises* adquiridas por Omar Azzaroni a través de los procesos de aprendizaje realizados y examinados entre distintos períodos formativos. Dichos aprendizajes permitirían o serían condición de posibilidad para la creación de lo nuevo en ciencia, en el contexto del desarrollo aludido, conceptualizado como un proceso de crecimiento continuo y fluido de devenir a la existencia en un entramado formativo altamente especializado.

La idea de la combinación de incrementos cualitativos en los conocimientos adquiridos a través de los procesos formativos, que conduce a Omar Azzaroni al desarrollo de los diseños creativos de sistemas de autoensamblado molecular, surge de la reflexión acerca de la profundización de una de las investigaciones que el científico desarrolla en la frontera del conocimiento y, más específicamente, en aquello que Azzaroni denomina “canales nanoscópicos”.

El *insight* acerca del cual se reflexiona en el capítulo v está estrechamente relacionado con el proceso de aprendizaje de Omar Azzaroni –en un entramado formativo altamente especializado– en el cual, estando en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis, el científico señala “*haber visto un proyecto, unas arquitecturas, unos nanosistemas muy interesantes*”, en alusión a unos “*nanoporos en estado sólido, de dimensiones muy similares a las de nuestros poros biológicos*”.

La formulación de Azzaroni permitiría suponer –en este caso– que la imagen relacionada con el surgimiento de un *insight* sería una imagen conceptual. La posibilidad del surgimiento y desarrollo de dicho *insight* estaría relacionada con el proceso formativo de Omar Azzaroni, la actividad creativa en foco en este capítulo. Esta es examinada en estrecha relación con la actividad de investigación del científico en la frontera del conocimiento.

En el ejemplo de los nanoporos, Azzaroni reconoce la importancia de una idea, de un proyecto cuya existencia conoció realizando sus estudios en el Melville Laboratory for Polymer Synthesis. Dicho reconocimiento es, además, un aspecto importante en el estudio del concepto de creati-

vidad, porque el razonamiento analógico que hemos detectado y por el cual Azzaroni consideró los nanoporos en estado sólido en el estudio de los poros biológicos, supone una combinación de ideas transdisciplinarias en la escala nanométrica.

En efecto, la nueva formación que había recibido en química macromolecular y supramolecular, junto al incremento formativo adquirido en el Max-Planck-Institut für Polymerforschung como biofísico aplicado, le permitiría a Azzaroni conceptualizar los canales focalizados en el proyecto como canales nanoscópicos y desarrollar dicha idea en el transcurso de sus investigaciones, incluyendo algunas de las aplicaciones que supone dicho diseño en la frontera del conocimiento, con énfasis en el envío controlado de medicamentos.

La relevancia atribuida por Omar Azzaroni al desarrollo conceptual y, más específicamente, a la combinación de ideas transdisciplinarias en escala nanométrica que dichos aprendizajes posibilitan consiste en que ese desarrollo es condición de posibilidad para la creatividad en el diseño de los sistemas de autoensamblados moleculares, en los que Azzaroni se especializa en las investigaciones que realiza en la frontera del conocimiento.

El desarrollo conceptual mencionado se complementa con el desarrollo de las habilidades y *expertises*, entre las cuales hemos enfatizado la habilidad para advertir o vislumbrar cosas interesantes y la habilidad para formular semejanzas y razonamientos analógicos. Es importante señalar que dichas habilidades y *expertises* también han sido detectadas cuando examinamos la investigación desarrollada por Roberto Salvarezza y el grupo de científicos en foco en el capítulo IV.

Uno de los motivos por los cuales el STM fue considerado un microscopio de nuevo tipo respecto de los microscopios que lo precedieron, es que permite efectuar interacciones con la materia. En la parte III dicha interacción es examinada en estrecha relación con procesos de transformación.

¿Cuáles son los *insights* y analogías detectados en el caso de las aplicaciones respecto de las transformaciones aludidas?

En el capítulo VI, la formulación de la serpiente extendida que repentinamente se muerde la cola –elaborada a partir de un *insight* originado en la imagen visual mental aludida por Kekulé– es análoga a la de la cadena de moléculas que, al transformarse en un anillo molecular, da comienzo a la conceptualización de la estructura molecular del benceno.

En la formulación de dicha analogía subyace, en este caso, aquello que denominamos un cambio topológico.

La idea de cambio topológico también puede aplicarse al caso del dispositivo examinado en el capítulo, pero a diferencia de la curva abierta que repentinamente se transforma en una curva cerrada –en el ejemplo aludido por Kekulé–, la idea que subyace en el dispositivo del que se ocupa el capítulo es la de una superficie plana que se transforma en una superficie acanalada que repentinamente atrapa, si bien el *container* no es del todo cerrado, como en el caso del anillo molecular.

La transformación específica detectada permite así la interacción del STM con la materia en estudio contribuyendo, de esta forma, a incrementar el conocimiento de la materia en la nanoescala.

Uno de los aspectos creativos detectados en el capítulo VII está relacionado con la transformación de la superficie de oro en estudio.

En ese capítulo, dicha transformación es conceptualizada a partir de la combinación de las acepciones aditiva y reductiva de la línea considerada como trazo, concepto acerca del cual hemos reflexionado siguiendo las elaboraciones de Tim Ingold en *Lines. A Brief History* (2007).

Al respecto, luego de “arrancar” átomos y moléculas de la superficie de oro con el STM, también es posible, por ejemplo, “depositar” moléculas de diferente química y añadir, de esta forma, nueva información.

El concepto de analogía está estrechamente relacionado con la reflexión acerca de las analogías perceptivas y, más específicamente –según hemos hipotetizado–, con la detección de una nueva disrupción respecto de la focalizada por Tim Ingold en *Lines. A Brief History* (2007), correspondiente a la transición de los manuscritos medievales a los textos impresos modernos.

El estudio de la escritura en la nanoescala y, más específicamente, el relacionado con la formulación de las analogías perceptivas, arrojaría un *insight* que permitiría detectar una nueva etapa disruptiva respecto de la formulada por Tim Ingold en *Lines. A Brief History* concerniente a la transición de los manuscritos medievales a los textos impresos modernos, en sus reflexiones acerca de la historia de la escritura en el mundo occidental.

## ¿Cómo se forma o cómo se crea, específicamente, a un investigador?

Una de las formulaciones exploradas en el capítulo v respecto de las elaboraciones de Tim Ingold y Elizabeth Hallam (2007) en sus estudios acerca de la creatividad, es que “la mente creativa es inseparable de la matriz total de relaciones en la que está inmersa y cuyo desarrollo es constitutivo del proceso de la vida social.”

En la formulación de los autores, la creatividad existiría como condición de posibilidad en el potencial dinámico de un campo de relaciones considerado en su totalidad, que la persona situada en dicho campo podría hacer surgir.

Es respecto del potencial dinámico de dicho entramado formativo altamente especializado que consideramos relevante incluir, entre los predecesores, a los científicos distinguidos por los premios Nobel y a quienes –según Azzaroni– más fuertemente han influido en su formación.

A partir de esta reflexión proponemos a continuación profundizar el examen de la relación dinámica que el experto establece con el “novicio” o “novato” en el desarrollo del proceso formativo. Formulada de manera más general y en base a las conceptualizaciones de Roberto Salvarezza, dicha relación nos permitirá aportar nuevos elementos de análisis en el estudio acerca de cómo se crea a un investigador.

El entendimiento del conjunto del problema, con el cual estaría conectado el tema específico en estudio e investigación, es uno de los primeros aspectos a considerar en la conceptualización de Roberto Salvarezza acerca de cómo se forma a un investigador. Dicho entendimiento requeriría un proceso de crecimiento y desarrollo de *expertises* que supondría, por parte del becario, toda una experiencia de trabajo de años en el tema. Esta idea de crecimiento y desarrollo en el proceso formativo es clave. El científico la plantea en términos de una dinámica de conocimiento en la que subyace la relación que el experto y el “novicio” o el “novato” establecen en el proceso formativo.

Uno de los aspectos interesantes a enfatizar respecto de la relevancia del crecimiento y desarrollo del novato en el proceso formativo –ejemplificado por Salvarezza en el caso del becario– es que el entendimiento del conjunto del problema –por parte del novato– es un requisito importante para poder conectar el tema específico en estudio e investigación con el problema más general, ya que la habilidad de establecer conexiones es –según hipotetizamos– una de las condiciones importantes para el desarrollo de la creatividad.

En los casos en estudio, especialmente en los examinados en los capítulos IV y V, la formulación de dichas conexiones es posible –según hipotetizamos– a partir de la focalización de la investigación en cosas interesantes, la detección de semejanzas, la elaboración de analogías y considerando, en dicho proceso, la relevancia de aspectos tales como la curiosidad.

En base a la reflexión acerca de la investigación en la frontera del conocimiento presentada en el capítulo IV, la formulación precedente es ejemplificada por Roberto Salvarezza a través del caso de un novato que entendería perfectamente la síntesis y caracterización de las nanopartículas habiendo adquirido, incluso, las habilidades manuales para sintetizarlas y las habilidades técnicas para caracterizarlas. El novato del ejemplo podría construir el halo que rodea al *core* en la nanopartícula de oro, pero no podría conectar dicho hallazgo específico con un contexto más general y, menos aún, advertir su importancia para el incremento del conocimiento científico.

¿Qué otros aspectos clave distinguen al experto del novato y resultan relevantes en el proceso formativo del novato en el contexto de la relación que establece con el experto? Uno de dichos aspectos es la posibilidad de realizar investigaciones en la frontera del conocimiento.

Al respecto, explica Salvarezza:

*Al becario que comienza a trabajar en un tema no se lo puede poner en la disyuntiva de investigar en pos del desarrollo de dicha frontera. La idea, en este caso, es que el becario vaya avanzando a medida que va creciendo y desarrollándose en el tema.*

*El novato va adquiriendo conceptos en química, sabe caracterizar una nanopartícula y utilizar los instrumentos para efectuar dicha caracterización con diferentes técnicas, lo cual supone habilidades específicas que son las que se buscan en un licenciado en química. A través de la discusión con el experto de los datos por él obtenidos, el becario va avanzando y contextualizando dichos datos respecto del conjunto del problema con el que el problema específico estaría conectado.*

Aquello que distingue a los expertos de los novatos respecto de la formulación de las interpretaciones –a las que, respectivamente, podríamos denominar “interpretaciones expertas” e “interpretaciones correctas”–

es otro de los aspectos a considerar en el estudio del proceso formativo del novato.

La complejidad que supone la elaboración de la formulación de las interpretaciones expertas –incluido el caso de las interpretaciones creativas expertas– fue examinada en profundidad en el capítulo IV.

Que el becario aprenda a interpretar correctamente aquello que está investigando es un requisito previo para que el novato llegue a formular interpretaciones expertas.

En el caso de las nanopartículas en estudio en el capítulo IV, el becario caracteriza dichas nanopartículas con diferentes técnicas, llegando incluso a discutir con el experto acerca de la importancia potencial de dichas nanopartículas en medicina, aun cuando, en esta etapa, no se profundice con el becario en las cuestiones de frontera del conocimiento.

La obtención de los datos que van surgiendo en base a la utilización de diferentes técnicas de caracterización y el examen de dichos resultados respecto de los ya obtenidos, es uno de los aspectos importantes para que el novato llegue a formular interpretaciones correctas.

Dichos resultados permiten reflexionar, incluso, acerca de la necesidad de efectuar mediciones adicionales con alguna técnica de caracterización distinta de las hasta entonces utilizadas por el becario.

¿Cuántas técnicas permiten entender un sistema en estudio?, reflexiona Salvarezza agregando un elemento adicional al examen acerca de la formulación de las interpretaciones correctas. *“Ese es el número de técnicas que al becario que comienza a investigar en un tema se le plantea aprender a través de la adquisición y desarrollo de habilidades y expertises”.*

Un problema adicional es el que se le plantea al becario cuando algún aspecto del sistema en estudio queda sin entender. La focalización de la atención en ese aspecto nos permite aportar nuevos elementos a la reflexión acerca de la especificidad del desarrollo de la relación entre experto y novato en la dinámica establecida por ellos en el proceso de aprendizaje. En este caso, continúa Salvarezza:

*... se produce un mecanismo de transferencia, “de ida y vuelta”, entre la persona que más desarrollo tiene en el tema y la persona que está avanzando, produciéndose así un intercambio de conocimientos entre el experto y el novato hasta que, finalmente, en la etapa de la tesis doctoral se logra nivelar y aun superar el conocimiento del experto. O sea, cuando el novato llega a doctorarse, muchas veces sabe más del tema que el experto.*

El ejemplo elegido por el científico para ilustrar este caso es el de un novato que comenzó como becario y que, en el transcurso de sus estudios doctorales, fue adquiriendo habilidades en el dominio de técnicas de punta, dominio cuyo desarrollo podría continuar en el transcurso de sus estudios posdoctorales. En base al proceso de aprendizaje, el becario llega a conocer nuevos aspectos del tema que su director, Roberto Salvarezza, domina, aportándole así –a través de la relación dinámica que han establecido– nuevos elementos para la profundización del tema.

En esta etapa, el crecimiento del becario en un tema, considerado en forma conjunta con el desarrollo de *expertises*, produce un enriquecimiento mutuo. Este se basa, entonces, en la creación de nuevas *expertises* desarrolladas a través del aprendizaje de técnicas de punta, que le permite al novato realizar investigaciones en la frontera del conocimiento.

El aprendizaje y desarrollo de *expertises* respecto de las técnicas de punta aludidas contribuye a que el becario que comenzó como novato vaya adquiriendo “su propio perfil de investigación” en un tema considerado relevante por el experto.

Se contribuye así, enfatiza Salvarezza, a “crear” un investigador, nuevas *expertises* y un nuevo campo de investigación.

La reflexión bibliográfica es otro de los aspectos destacables en la conceptualización de Salvarezza acerca del proceso formativo de un investigador. Dicho crecimiento y desarrollo está relacionado, por un lado, con el proceso de conceptualización que la lectura de la bibliografía posibilita a medida que el becario enfrenta un problema y, por otro lado, con la búsqueda bibliográfica focalizada en el examen del desarrollo que otros investigadores están realizando y en la profundización del propio tema de investigación del becario.

Ese “mirar adentro” y “mirar afuera” –en palabras de Salvarezza– se completa con el “ida” y “vuelta” entre el experto y el novato, en la relación dinámica que ambos establecen en el proceso de aprendizaje.

Habiendo examinado algunos de los aspectos implícitos en la conceptualización de Roberto Salvarezza acerca de la formación de los investigadores en la etapa doctoral, ¿cuáles son las ideas que la formación posdoctoral supone?

El dominio de una línea de investigación en el transcurso del posdoctorado y la adquisición de habilidades y desarrollo de *expertises* en el uso de técnicas nuevas respecto de las utilizadas en el país, con énfasis en las técnicas de punta, supone –en la conceptualización del científico– que “dichos aprendizajes contribuyen no solo a incrementar el conocimiento y a

*agregar valor a la investigación, sino que el desarrollo de dichos procesos formativos posibilita, también, la interacción con otros grupos de investigación”.*

La idea es que el becario tome un tema en el que la técnica de punta que dicho investigador adquirió –considerada estratégica para el INIFTA– sea una herramienta relevante en el estudio de los sistemas en los cuales se especializa.

Otro de los aspectos a enfatizar respecto de la relación dinámica entre el experto y el novato en el proceso formativo es el proceso de nivelación y, más aún, la detección de niveles de especialización que el novato habría alcanzado y que lo distingue del experto. Dicha especialización –reflexiona Salvarezza– contribuye *“a que el novato sea un investigador aparte con quien seguir interactuando, un ser pensante que tiene un tema de investigación considerado institucionalmente importante, y las habilidades y expertises para desarrollarlo”.*

Y añade Salvarezza: *“hay una estrategia que subyace a dicho proceso formativo, porque una vez que el becario termina el doctorado, va a elegir un grupo de investigación en el cual desarrollar habilidades y expertises en técnicas de punta, que le permitan profundizar su investigación”.*

En esa idea de “construcción del conocimiento” –en la conceptualización del científico– la dinámica de la relación que el experto y el novato establecen en el proceso formativo es clave.

Las capacidades individuales y la motivación de los becarios también son aspectos importantes entre los considerados por Roberto Salvarezza en sus reflexiones sobre el proceso formativo de los investigadores.

Es importante recordar que dichas motivaciones han sido examinadas en el capítulo IV en base a la propia experiencia en investigación de Salvarezza.

Las motivaciones específicamente aludidas en dicho capítulo son caracterizadas por el científico en términos de *“curiosidad, una curiosidad por lo nuevo en ciencia en la frontera del conocimiento, estrechamente relacionada con la posibilidad de aportar nuevos conocimientos en ciencia básica y de contribuir al desarrollo de las aplicaciones biomédicas”.*

Es también una curiosidad por las investigaciones que otros científicos realizan en pos del desarrollo de dicha frontera.

La “curiosidad” así formulada –según hemos hipotetizado en dicho capítulo– puede ser conceptualizada en base a las elaboraciones de Roy D’Andrade (2000 [1995]) como una “fuerza motivacional”, aquella que impulsa la investigación que Roberto Salvarezza y el grupo de científicos en foco desarrollan en la frontera del conocimiento.

Dichos esfuerzos motivacionales han sido examinados en estrecha relación con el concepto de esquema cognitivo, al que hemos caracterizado como una estructura conceptual, como un artefacto de reconocimiento mental que posibilitó la creación de interpretaciones complejas, flexibles, de un sistema configuracional. Dicha formulación supone la idea del esquema cognitivo como procesador.

En el caso específico en estudio, los motivos –que Salvarezza define en términos de “curiosidad”– son examinados respecto de la relación entre los temas de investigación que subyacen en dicho esquema cognitivo, es decir, los “temas de *expertise*” (en alusión a las microscopías de efecto túnel y a los sistemas de autoensamblado molecular) y los “temas nuevos en la frontera del conocimiento” (como en el caso de las investigaciones focalizadas en el estudio de los nanomateriales con aplicaciones biomédicas).

En estrecha relación con lo precedente, a continuación examinaremos también una de las ideas interesantes que el autor de “Education for Creativity in the Sciences” expone acerca de la noción de motivación. Dicha idea está estrechamente relacionada con el esfuerzo efectuado por quien aprende, como un requisito clave en el desarrollo de las actividades de investigación, especialmente de aquellas que se realizan en la frontera del conocimiento y que suponen desarrollos creativos.

En una síntesis de las formulaciones del autor, fuertes motivaciones individuales serían necesarias, por parte de quien aprende, para efectuar el entrenamiento intelectual intensivo que se extiende por muchos años y a través de cuya preparación puede realizar investigaciones en la frontera del conocimiento y desarrollar, en esas investigaciones, el componente creativo.

Según el autor del artículo, alcanzar la excelencia intelectual debe comenzar como un desafío respecto del cual las fuertes motivaciones antes aludidas serían un requisito importante. Las oportunidades de un aprendizaje apropiado y la relevancia de una enseñanza que incluya posibilidades para el descubrimiento, la experimentación y que estimule la curiosidad, son algunos de los aspectos enfatizados por el autor del artículo para desarrollar el potencial creativo e imaginativo de los investigadores.

Tal como examinamos, por ejemplo, en el capítulo v, el esfuerzo de Omar Azzaroni se relaciona con una búsqueda. Más específicamente, es un esfuerzo por la obtención de incrementos cualitativos en el conocimiento, incrementos que han sido adquiridos por el científico a través de las diferentes etapas de su proceso formativo. El esfuerzo es de gran

relevancia –según hipotetizamos– en el estudio de la creatividad, con énfasis en aquella que el investigador desarrolla en el diseño de los sistemas moleculares autoensamblados considerados.

Es un esfuerzo que ha sido examinado, también, en relación con el desarrollo conceptual que Omar Azzaroni efectúa en el transcurso de los procesos formativos, con énfasis en los estudios transdisciplinarios que realiza.

La conceptualización de Roberto Salvarezza acerca del proceso formativo está estrechamente relacionada, también, con sus reflexiones acerca de la cooperación internacional. Más específicamente, la idea del científico es que dicha cooperación se desarrolla a través de los lazos que se generan en el posdoctorado.

Como parte de la concepción acerca de la formación de los investigadores, es importante hacer notar que Roberto Salvarezza no solo alentó a Omar Azzaroni a realizar los estudios posdoctorales en foco, sino también a crear el Laboratorio de Materia Blanda en el INIFTA, laboratorio que el científico coordina en su condición de *leader* del Max Planck.

Una de las ideas más interesantes entre las formuladas por Roberto Salvarezza en sus reflexiones acerca del caso de Omar Azzaroni se refiere al proceso dinámico y de enriquecimiento mutuo que caracteriza la relación que ambos investigadores fueron estableciendo desde la etapa de experto y novato hasta el período actual, relación que Roberto Salvarezza define como de complementariedad.

A partir de la idea de Tim Ingold acerca de la creatividad concebida como un proceso de crecimiento basado en el incremento del conocimiento y en el desarrollo de aspectos tales como la imaginación y la formación de ideas (Hallam e Ingold, 2007), hemos aportado nuevos elementos de análisis para profundizar el estudio de la relación dinámica que el experto y el novato establecen en dicho proceso de crecimiento y desarrollo, hasta la etapa de la complementariedad en el contexto de un entramado formativo altamente especializado.

### **Analogías e insights. El concepto de “insight crucial”**

Uno de los aspectos importantes detectados en la investigación es la formulación de analogías y razonamientos analógicos.

La reflexión acerca de las analogías en “Education for Creativity in the Sciences” permite hipotetizar, por ejemplo, acerca de la relevancia de la formulación de analogías en la búsqueda de nuevas conexiones.

Esta es la razón por la cual el autor del artículo enfatiza también la importancia del desarrollo de habilidades en la búsqueda y utilización de analogías y similitudes, con el objetivo de juxtaponer hechos e ideas que, aparentemente, no estarían relacionadas.

En dicho artículo, el “*insight* imaginativo” es una de las formulaciones conceptuales a partir de cuya reflexión hemos podido aportar importantes elementos de análisis adicionales en el estudio de los procesos creativos que deben ser considerados en los procesos formativos.

La lectura de otro artículo, “The Impact of Analogies on Creative Concept Generation: Lessons from an In Vivo Study in Engineering Design” (Chan y Schunn, 2015), nos permitirá reflexionar acerca de algunas especificidades que las actividades de estudio, investigación y aplicación en la frontera del conocimiento presentan en el caso de la nanociencia y la nanotecnología.

Dado que en el artículo mencionado el concepto de *insight* crucial está estrechamente relacionado con el de analogía, comenzaremos las reflexiones a partir de dicho concepto.

En “The Impact of Analogies on Creative Concept Generation: Lessons from an In Vivo Study in Engineering Design”, la analogía es conceptualizada como un proceso cognitivo que –según se ha hipotetizado– es uno de los elementos más importantes a considerar en la generación de nuevos conceptos.

La analogía es un proceso cognitivo en el cual los dominios fuente y objetivo de conocimiento están ligados entre sí a través de un mapeo sistemático de atributos y relaciones, que posibilita la transferencia de conocimientos desde el dominio fuente hacia el dominio objetivo.

En el artículo, la analogía es descrita como un mecanismo cognitivo relevante que pone en relación espacios conceptuales aparentemente diferentes, permitiendo el pensamiento a través de categorías y límites conceptuales implícitos.

Dicho mecanismo cognitivo parece ser importante en el proceso de generación de nuevos conceptos en una amplia variedad de dominios, sobre todo en el dominio del descubrimiento científico. La importancia de dicho mecanismo cognitivo es enfatizada también en el dominio focalizado en el artículo: el de la invención tecnológica y la innovación.

Según los autores, “no todas las analogías son conceptualizadas como igualmente productivas en vistas a la obtención de resultados creativos” (Chan y Schunn, 2015).

Al respecto, son numerosos los teóricos que argumentan que las “analogías distantes” de las fuentes –es decir, aquellas que presentan un bajo nivel de solapamiento entre los elementos de la superficie de dichas fuentes y los del dominio del problema considerado– contienen el mayor potencial en la generación de conceptos verdaderamente nuevos.

Ante el interrogante acerca de cómo pueden las analogías distantes conducir a la creación de esos conceptos, una de las hipótesis más importantes, basada en la caracterización teórica de la generación de conceptos creativos como una búsqueda en un espacio conceptual –caracterización formulada por varios autores como, por ejemplo, Boden (2004)–, es que, en contraste con las estrategias más incrementales, el uso de analogías distantes sería una estrategia de búsqueda que permitiría al creador de esas analogías distantes “saltar” hacia conceptos que son muy diferentes del conjunto de conceptos actualmente considerados.

Los autores del artículo profundizan sus elaboraciones en la teoría asociativa de la creatividad de Mednick (1962), quien propone un argumento acerca de las conexiones distantes según el cual estas permitirían “saltar” en un espacio asociativo y contribuir así a la generación o surgimiento de conceptos que se distinguen por presentar un elevado componente creativo.

Más recientemente, continúan los autores del artículo, Perkins (1994, 1997) esbozó el concepto del “problema desfiladero” como un “desafío topográfico” en la búsqueda de espacios para la resolución de problemas que requieren innovación. Según dicho concepto, “*the crucial insight*” puede estar situado en una parte muy distante del espacio. Perkins sugiere que la formulación de esta analogía implica la posibilidad de dar un paso elevado a través de desfiladeros permitiendo relacionar así un dominio con otro.

Los *insights* cruciales pueden estar situados fuera del dominio propio, una idea –según los autores del artículo– consistente con el surgimiento de colaboraciones e interdisciplinariedad en ciencia y tecnología.

Tal como los casos examinados en el libro nos permiten argumentar, el concepto de “*insight* crucial” es de especial relevancia en nanociencia y nanotecnología,

En base a la investigación presentada en este libro, se pueden hacer algunas reflexiones adicionales sobre el concepto de “*insight* crucial”.

Estas están estrechamente relacionadas, por un lado, con la posibilidad del surgimiento de *insights* en el desarrollo de procesos de aprendizaje en entramados formativos altamente especializados, en nanociencia y nanotecnología. Y, por otro lado, se relacionan también con uno de los aspectos clave que caracterizan al Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas: la interfase.

Recordemos que en el capítulo III hemos focalizado el estudio en las especificidades que el instituto presenta para la complementariedad con algunos integrantes del CINN, en Buenos Aires, Bariloche y La Plata.

En ese capítulo, el INIFTA ha sido conceptualizado como interfase entre la física y la química, una interfase que Roberto Salvarezza sitúa en dos niveles: el de los conocimientos (en fisicoquímica) y el de las técnicas, específicamente, aquellas que se basan en la utilización del *scanning tunneling microscope* y las técnicas de absorción de rayos X.

Teniendo en consideración las especificidades que el INIFTA presenta para la complementariedad con otros integrantes del CINN, la idea de interfase podría ser también un concepto clave en el estudio de la creatividad.

En efecto, si aquello que caracteriza al concepto de “*insight* crucial” es que puede estar situado en una parte muy distante del espacio o fuera del propio dominio, la especificidad del INIFTA como interfase podría ser un aspecto clave en el surgimiento de “*insights* cruciales”, que pueden ser una contribución importante en el desarrollo de la creatividad.

En el contexto del CINN, con énfasis en algunos de sus integrantes en Buenos Aires, Bariloche y La Plata, el concepto de interfase también puede aportar elementos de análisis en el estudio y reflexión acerca de los procesos formativos, que podríamos conceptualizar como formación en interfase.

Considerando las elaboraciones planteadas acerca del concepto de representación en química que –tal como señalamos en el capítulo I– nos habíamos propuesto profundizar, presentamos una reflexión adicional.

Recordemos que en dicho capítulo argumentamos que, al no estar disponibles a la percepción directa, las propiedades moleculares y procesos requieren, por parte de los químicos –entre los científicos que convergen en la exploración de la materia en la nanoescala destacados en esta investigación–, la formulación de representaciones o sistemas representacionales que pueden mediar entre aquello que esos científicos no pueden visualizar y algo que pueden llegar a ver.

En ese capítulo argumentamos también que las representaciones pueden ser generadas por los científicos a través de instrumentos, entre los cuales el *scanning tunneling microscope* constituye un buen ejemplo para reflexionar acerca del concepto de representación (en este caso, una combinación de representaciones), dada su capacidad de tornar visibles mundos hasta ese entonces invisibles a simple vista.

Esta reflexión permite plantear la siguiente hipótesis: existe una relación inversa y complementaria entre dos términos que pueden ser expresados, respectivamente, como el paso de lo invisible a lo visible y de lo visible a lo invisible.

El paso de lo invisible a lo visible, por ejemplo, es el que los científicos Gerd Binnig y Heinrich Rohrer –considerados en el contexto de otras interacciones clave– contribuyeron a dar al idear el *scanning tunneling microscope*, creando un nuevo espacio conceptual, el de la nanociencia y la nanotecnología, y permitiendo tornar visibles mundos de átomos y moléculas hasta entonces inaccesibles a simple vista en la escala nanométrica.

El paso de lo visible a lo invisible alude al caso de aquellos científicos que, a través de procesos de aprendizaje en entramados formativos altamente especializados, del desarrollo de las investigaciones que realizan en base a la adquisición de una multiplicidad de técnicas, del desarrollo de *expertises*, de elaboraciones conceptuales, de interpretaciones expertas e interpretaciones creativas expertas, contribuyen a descubrir nuevos aspectos de ese mundo, hasta ese entonces invisible, de la materia en la nanoescala.

La variedad de habilidades cognitivas y de razonamientos analógicos –entre los detectados– que subyacen en la elaboración de dichas interpretaciones expertas, permiten incrementar así el conocimiento de la materia en la nanoescala y crear nuevos desarrollos creativos en la frontera del conocimiento.



## Bibliografía

- Albornoz, M. *et al.* (2008). “Nanotecnología: Tendencias recientes en investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D). Argentina en el contexto internacional”. Informe CAICYT-CONICET y ANPCYT.
- Azzaroni, O.; Brown, A. A. y Huck, W. T. S. (2006). “UCST Wetting Transitions of Polyzwitterionic Brushes Driven by Self-Association”. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 45, pp. 1770-1774.
- Binning, G. y Rohrer, H. (1986). “Scanning Tunneling Microscopy – From Birth to Adolescence”. *Nobel Lecture*.
- Boden, M. A. (2004). *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. Londres: Routledge.
- Cortés, E.; Etchegoin, P. G.; Le Ru, E. C.; Fainstein, A.; Vela, M. E. y Salvarizza, R. C. (2010). “Monitoring the Electrochemistry of Single Molecules by Surface-Enhanced Raman Spectroscopy”. *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 132, n° 51, pp. 18034-18037.
- Corthey, G.; Giovanetti, L. J.; Ramallo-López, J. M.; Zelaya, E.; Rubert, A. A.; Benítez, G. A.; Requejo, F. G.; Fonticelli, M. H. y Salvarizza, R. C. (2010). “Synthesis and Characterization of Gold@Gold (I) – Thiomalate Core@Shell Nanoparticles”. *ACS Nano*, vol. 4, n° 6, pp. 3413-3421.
- D’Andrade, R. (2000 [1995]). *The Development of Cognitive Anthropology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- (1999). “Schemas and Motivation”. En D’Andrade, R. y Strauss, C. (comps.), *Human Motives and Cultural Models*, pp. 23-44. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dixon, B. y Murphy, E. (2016). “Educating for Appropriate Design Practice: Insights from Design Innovation”. *Design Management Journal*, vol. 11, n° 1, pp. 58-66.
- Chan, J. y Schunn, C. (2015). “The Impact of Analogies on Creative Concept Generation: Lessons from an *In Vivo* Study in Engineering Design”. *Cognitive Science*, 39, pp. 126-155.
- Hallame, E. e Ingold, T. (2007). “Creativity and Cultural Improvisation: An Introduction”. En Hallame, E. e Ingold, T. (comps.), *Creati-*

*vity and Cultural Improvisation*, pp. 1-24. ASA Monographs 44. Oxford: Berg.

Ingold, T. (2007). *Lines. A Brief History*. Londres: Routledge.

— (2012). Introduction: The perception of the User-Producer. En Gunn, W. y Donovan, J. (comps.), *Design and Anthropology*, pp. 19-33. Farnham: Ashgate.

Mody, C. C. (2011). *Instrumental Community, Probe Microscopy and the Path to Nanotechnology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Robert (1975). *Dictionnaire Universel des Noms Propres*. París.

— (1995). *Dictionnaire de la Langue Française*. París.

Sigaut, F. (1987). “Des idées pour observer”. *Techniques & Culture*, n° 9, pp. 1-12.

— (1995). “Technology”. En Ingold, T. (comp.), *Companion Encyclopedia of Anthropology*, pp. 420-459. Londres: Routledge.

— (2010). “Retour sur ‘Des idées pour observer’”. *Techniques & Culture*, vol. 1, n°54-55, pp. 84-86.

Strauss, C. y Quinn, N. (1997). “Schema Theory and Connectionism”. En Strauss, C. y Quinn, N., *A Cognitive Theory of Cultural Meaning*, pp. 48-84. Cambridge: Cambridge University Press.

Strauss, C. (1999). “Models and Motives”. En D’Andrade, R. y Strauss, C. (comps.), *Human Motives and Cultural Models*, pp. 1-20. Cambridge: Cambridge University Press.

Thagard, P. y Stewart, T. C. (2011). “The AHA! Experience: Creativity Through Emergent Binding in Neural Networks”. *Cognitive Science*, n° 35, pp. 1-33.

*The Heritage Illustrated Dictionary of the English Language* (1973). Nueva York: American Heritage Publishing Co.

Vericat, C., Vela, M. E.; Benítez, G.; Carro, P. y Salvarezza, R. C. (2010). “Self-assembled Monolayers of Thiols and Dithiols on Gold: New Challenges for a Well-known System”. *Chem. Soc. Rev.*, n° 39, pp. 1805-1834.

Wiesner, J. B. (1965). “Education for Creativity in the Sciences”. *Daedalus*, vol. 94, n° 3, pp. 527-537.

Yameen, B.; Kaltbeitzel, A.; Langer, A.; Müller, F.; Gösele, U.; Knoll, W. y Az-zaroni, O. (2009). "Highly Proton-Conducting Self-Humidifying Microchannels Generated by Copolymer Brushes on a Scaffold". *Angew. Chem. Int. Ed.*, 48, pp. 3124-3128.



## Lista de figuras

<i>Figura 5.1 “Macromolecular assemblies in nanoconfined geometries”</i> .....	98
<i>Diagrama elaborado por Omar Azzaroni. Página web del sitio oficial “Soft Matter Laboratory”, INIFTA, 2011.</i>	
<i>Figura 6.1 “Bacterium trapped in microchannels”</i> .....	112
<i>Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.</i>	
<i>Figura 6.2 “Bacterial aggregates on gold”</i> .....	114
<i>Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.</i>	
<i>Figura 6.3 “Bacterial raft on gold”</i> .....	114
<i>Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.</i>	
<i>Figura 7.1 “Gold nanostaircase”</i> .....	122
<i>Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.</i>	
<i>Figura 7.2 “Rough gold”</i> .....	123
<i>Fuente: Chemistry Group (INIFTA), 2011.</i>	
<i>Figura 7.3 “Chains of organic molecules on gold”</i> .....	124
<i>Image gallery. Scanning Probe Microscopies and Surface Physical Chemistry Group (INIFTA), 2011.</i>	

La colección **Ciencia, Innovación y Desarrollo** se propone reunir la producción académica relacionada con las ciencias básicas y aplicadas, el desarrollo tecnológico, la innovación, el emprendedurismo y el desarrollo.

El trabajo de investigación con científicos en los campos de la Nanociencia y la Nanotecnología, aporta en la presente obra, elementos para el estudio de la creatividad, acerca de la cual se reflexiona en estrecha relación con los procesos formativos y en el desarrollo de las actividades de investigación. La creatividad es examinada en la contribución a la resolución de problemas y a la generación de nuevas ideas y conceptos en los casos de descubrimiento científico e invención tecnológica. Y vinculada en las investigaciones que los científicos realizan en la frontera del conocimiento. La experticia en la interpretación, incluyendo el componente creativo en su formulación; el estudio de la creatividad en el diseño de los sistemas de autoensamblado molecular, y el examen de las formas creativas de interacción del Microscopio de efecto túnel con la materia, son algunas de las actividades de investigación enfatizadas, todas ellas, relacionadas con potenciales contribuciones en ciencia básica y con la realización de aplicaciones tecnológicas.

Universidad Nacional  
de General Sarmiento 



Libro  
Universitario  
Argentino

