

*Nota de investigación*

## **Interdisciplina, aprendizaje y producción de conocimiento en el laboratorio: el caso de la nanotecnología**

*María de los Ángeles Pozas*

El Colegio de México  
mapozas@colmex.mx

---

### **Resumen**

Esta investigación busca entender los procesos de producción de conocimiento en el laboratorio asociados al aprendizaje y la comunicación interdisciplinaria. La producción de conocimiento es un proceso complejo que rebasa los límites físicos del laboratorio; no obstante, el objetivo de este trabajo es observar dichos procesos en espacios socialmente organizados, es decir, en centros de investigación de diverso tipo. Esto permitirá distinguir efectos provenientes de la dinámica de las organizaciones, de aquéllos más intrínsecamente ligados a todo proceso de aprendizaje y comunicación interdisciplinaria. Las observaciones se realizan en un conjunto de laboratorios de nanotecnología del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT) ubicado en la ciudad de Monterrey. El diseño busca mostrar la forma en que distintos tipos de lenguajes científicos y de representaciones materializadas en un medio físico, se constituyen como medios de aprendizaje y puentes de comunicación entre los cuerpos de conocimiento de investigadores provenientes de distintas disciplinas.

Palabras clave: interdisciplina; aprendizaje; conocimiento científico; representaciones; nanotecnología.

**Abstract****Interdiscipline, learning and knowledge production in the laboratory: the case of nanotechnology**

This work aims to a better understanding of the production of scientific knowledge in the laboratory by looking at processes of learning and interdisciplinary communication. Knowledge production is a complex process that goes beyond the physical boundaries of any laboratory, however, the specific objective of this work is to observe these processes in socially organized spaces, i.e. public and private research centers. This will allow us to identify the effects arising from the shape and dynamics of organizations, from those most intrinsically linked to any process of learning and interdisciplinary communication. Observations are made in a sample of nanotechnology laboratories located at the Park for Research and Technological Innovation (PIIT) in Monterrey. The research has been designed to show how different types of scientific language and various types of representations embodied in a physical medium are constituted as means of learning and communication between scientists coming from different disciplines.

Key words: interdisciplinary; learning; scientific knowledge; representations; nanotechnology.

---

**Introducción**

Los avances científico-tecnológicos que se desarrollan en las últimas décadas del siglo XX y las primeras del actual tienden a requerir en forma creciente del trabajo conjunto de investigadores provenientes de disciplinas muy diversas. No obstante, ha sido muy poco estudiada la manera en que los científicos y especialistas logran comunicarse y colaborar para la producción de innovaciones y nuevos conocimientos. Este trabajo busca contribuir a mejorar la comprensión de los procesos de comunicación interdisciplinaria a partir de la investigación empírica realizada en el área de la nanotecnología. En términos muy sintéticos, la nanotecnología se puede definir como la ciencia que interviene en el diseño, la producción y el empleo de estructuras y objetos que cuentan con al menos una de sus dimensiones en la escala de 100 nanómetros o menos ( $100\text{nm} \leq a 0.1$  milésimas de milímetro). La manipulación de la materia a estas escalas permite producir nanopartículas que, incorporadas a las matrices moleculares de diferentes materiales, permiten modificar sus propiedades.

Este campo emergente de conocimiento e innovación científico-tecnológica es por naturaleza interdisciplinario, ya que sus avances provienen de

diversas ciencias, como la física, la química, la biología y varias ramas de la ingeniería. Su potencial para cambiar las propiedades de la materia hace que sus aplicaciones para la producción prácticamente no tengan límites; esto significa que, además de los universitarios, en este campo han proliferado laboratorios científicos adscritos a empresas. De hecho, la integración de nanopartículas a las matrices propias de las diversas materias primas constituye una de las áreas más demandantes en términos de investigación básica y colaboración interdisciplinaria.

Esta investigación aspira a identificar mecanismos de comunicación que se puedan generalizar a otros espacios de aprendizaje y producción de conocimiento, por lo que se optó por buscar un medio propicio que asegurara un mínimo de control sobre el potencial de generalización de las observaciones realizadas. Con este objetivo se eligió el Parque de Innovación e Investigación Tecnológica (PIIT), ubicado en la ciudad de Monterrey, ya que cuenta con varios tipos de laboratorios de nanotecnología: pertenecientes a universidades públicas y privadas, a empresas industriales y al sistema de centros de investigación Conacyt. Si bien estos laboratorios comparten un objeto de trabajo común que resulta en la generación de nuevo conocimiento, los puntos de partida y de llegada de sus procesos de investigación son diferentes. El objetivo de los laboratorios de la universidad pública es la producción de conocimiento para su publicación como artículos especializados y la formación de investigadores de los programas de posgrado de áreas afines. Los laboratorios montados por grandes empresas industriales, aunque también se constituyen en espacios de aprendizaje para estudiantes de posgrados de ingeniería, se dedican esencialmente a investigar para la modificación de sus productos a partir de demandas provenientes del mercado. Los laboratorios del Conacyt funcionan con un esquema mixto, ya que su organización se asemeja en cierto sentido a los laboratorios universitarios, pero sus objetivos buscan resultados de utilidad práctica inmediata para el sector productivo. La diversidad de estructuras y dinámicas organizacionales ofrece cierto grado de variabilidad que, a través de la comparación sistemática, permitirá atribuir las diferencias a dichas variaciones e identificar con un grado razonable de certeza los aspectos inherentes a los procesos de aprendizaje y comunicación interdisciplinaria en el laboratorio.

### **Los elementos teóricos**

Este trabajo se inscribe en el campo de la sociología de la ciencia y el conocimiento, específicamente en el enfoque que considera que para el in-

vestigador de la ciencia no es posible ni deseable separar los “aspectos sociales” de los “estrictamente científicos” si se quiere dar cuenta cabal de la forma en que se produce este tipo de conocimiento. Evidentemente, partir de este postulado plantea de entrada una pregunta difícil de responder sin investigación empírica: ¿cuánto debe el sociólogo de la ciencia conocer y comprender de la materia científica que es objeto de investigación de sus propios objetos de investigación? La evidente dificultad que esta pregunta acarrea dio lugar a un debate de carácter epistemológico ya histórico, cuya reproducción no es relevante en este momento. Baste decir que este dilema llevó a Robert K. Merton (1979) a renunciar al análisis de la forma en que los científicos arriban a sus conclusiones y sus hallazgos, para centrarse en los aspectos sociales de su actividad, es decir en el sistema de valores que dan forma a la ciencia como institución. No obstante, si hemos de entender la manera en que científicos de diversas disciplinas se comunican, resultaría contradictorio renunciar al intento de comunicación con dichos científicos a causa de las limitaciones que impone la propia disciplina.

El diseño del modelo de análisis descansa en una serie de postulados propuestos en los estudios de la ciencia y tecnología, así como en desarrollos de las ciencias cognitivas y su reciente interés por salir del laboratorio para estudiar en campo los procesos de cognición (Giere y Moffat, 2003; Hutchins, 1996). En otras palabras, el abordaje es también de origen multidisciplinario, decisión metodológica no exenta de riesgos pero que hasta el momento ha resultado sumamente fructífera. La complementariedad de las observaciones y los conceptos acuñados, por un lado en la sociología de la ciencia y por otro en las ciencias cognitivas, resulta sorprendente y por lo mismo alentadora, ya que parece confirmar la validez de sus resultados.

El primer elemento teórico en que convergen, presente en la sociología de la ciencia desde Mannheim (1987) en adelante, es el postulado que propone que “el conocimiento está socialmente distribuido”, mismo que los trabajos de Bruno Latour y sus asociados llevan a la investigación empírica (Latour y Woolgar, 1986; Latour, 1992). Por otro lado, en las ciencias cognitivas tiende a difundirse en la década de los noventa el concepto de “cognición distribuida” (Varela, Thompson y Rosch, 1993; Hutchins, 1996; Giere y Moffat, 2003). Si bien el concepto de “cognición” no es estrictamente equivalente al de conocimiento, cuando se le asocia al término “distribución” constituye una puerta de entrada para establecer el diálogo entre los hallazgos de ambos cuerpos de conocimiento. Para las ciencias cognitivas, el concepto de cognición distribuida se emplea para argumentar que todo proceso de conocimiento o acción cognitiva se realiza a través de representaciones materializadas en un medio físico; por tanto, el investigador, más los objetos que emplea para crear

o producir representaciones, más la materia de estudio, forman un “sistema cognitivo local”. En otras palabras, la cognición se encuentra distribuida entre el agente cognoscente (ser humano) y sus herramientas de representación, y el resultado varía de acuerdo con el tipo y el grado de sofisticación de las mismas. El argumento básico es que los seres humanos “piensan de un modo diferente” cuando manipulan la materia y la representan en un medio físico, que cuando reflexionan en soledad. Edwin Hutchins (1996) amplía este concepto al de “cognición socialmente distribuida”, para incluir en el proceso a otros agentes cognitivos. Este autor añade además que el conocimiento se propaga a través de “estados representacionales”. La novedad de este planteamiento respecto al concepto sociológico de representación es justamente la materialidad que adquiere, lo que lo rescata del carácter etéreo que fue adquiriendo desde los días en que Durkheim lo acuñara.

Por otro lado, los estudios de sociología de la ciencia y la tecnología encabezados por Bruno Latour detectan un movimiento parecido en la producción de conocimiento en el laboratorio. Los “artefactos de inscripción” pueden considerarse equivalentes a los estados representacionales de los cognitivistas, y su “proceso de traducción y desplazamiento” es semejante al concepto de propagación representacional. Latour considera además que el laboratorio constituye un “dispositivo” diseñado históricamente para hacer visible lo invisible. Ambos enfoques otorgan un lugar central al papel de todo tipo de objetos y artefactos cuyas propiedades y características modifican la forma en que se conoce, al grado de determinar los resultados de la observación. Ambos enfoques destacan la importancia de lograr la correspondencia entre los datos que provienen del entorno sensible, con las formas en que se les representa en símbolos y lenguajes representacionales de todo tipo —matemáticos, conceptuales, ideográficos, gráficos, lingüísticos, ilustraciones, imágenes, fotografías, mapas—. La traducción a estas formas de representación son la forma universal en que el científico o el agente cognitivo logra identificar patrones y emitir juicios acerca de la exactitud de la correspondencia entre los datos y sus formas de representación. Consideramos que esta forma de triangulación múltiple entre datos sensibles y todas las formas de representación propiciadas por microscopios electrónicos, espectroscopios, diagramas, gráficos, ecuaciones etc., es observable en el laboratorio; y la capacidad compartida para leer, interpretar y reproducir su significado constituye el espacio de encuentro interdisciplinario.

## El diseño analítico

Los postulados teóricos de dichos enfoques sirven de base en esta investigación para proponer como primer postulado que “toda representación, por más abstracta que sea, requiere un medio físico para ser comunicada”. Arribar a este postulado nos puso en la pista de lo que tendríamos que observar en el laboratorio; es decir, ¿qué tipo de representaciones emplean los científicos para explicar a sus colegas sus ideas y qué medio físico emplean para materializarlas?

Por otro lado, si el conocimiento está socialmente distribuido significa que un biólogo puede tener muy escaso conocimiento de la *física del estado sólido* y, sin embargo, el desarrollo de partículas nanométricas y su integración a todo tipo de materiales pasa por las ecuaciones de transformación de Lorentz. Esto sugiere, como segundo postulado, que “las representaciones son empleadas no sólo para materializar las ideas, sino para simplificarlas, para traducirlas a un lenguaje accesible a colegas de otra disciplina”. Evidentemente, la teoría de la propagación del conocimiento a través de representaciones de Hutchins es mucho más general que nuestros postulados, porque se refiere a la forma en que se socializa el conocimiento, pero su investigación se realiza en un barco de la marina norteamericana del que estudia su sistema de navegación. El núcleo de todo sistema de navegación es poder establecer de manera precisa la posición de la nave en el tiempo y el espacio con nulos o muy pocos puntos de referencia a la vista. En este contexto, la capacidad para convertir las notaciones en un mapa o carta de navegación en la manipulación de objetos concretos, como son los equipos que mueven el barco, se vuelve crucial. No obstante, Hutchins parte de un esquema en que el puesto más alto en el equipo de navegación lo ocupa un oficial cuya trayectoria dentro del barco se inició al mismo nivel que los marineros novatos que constantemente se integran, es decir que conoce las tareas de todos. Este tipo de jerarquía ascendente facilita la coordinación de las acciones y el proceso de enseñanza-aprendizaje de los novatos. Nada parecido ocurre en los laboratorios objeto de nuestro estudio. El trabajo en el laboratorio produce formas muy sofisticadas de representación, dado que los conocimientos que se comunican son sumamente complejos. A esto hay que añadir no sólo la interdisciplina que es propia de la nanotecnología, sino que el proyecto del parque tecnológico es muy reciente, muchos de los laboratorios son prácticamente nuevos. Esto significa que el trabajo conjunto demanda un gran esfuerzo de intercambio de conocimientos entre pares con frecuencia recién llegados, y de enseñanza-aprendizaje con estudiantes de posgrado que están en constante movimiento. Es por esta razón que decidimos adop-

tar el concepto de proceso de “traducción representacional” antes que el de propagación, ya que permite reflejar su bidireccionalidad. Estos argumentos nos conducen directamente a un tercer postulado en esta investigación: “la comunicación interdisciplinaria y los procesos de enseñanza-aprendizaje en el laboratorio se realizan a través de la lectura e interpretación compartida de representaciones materializadas en un medio físico”.

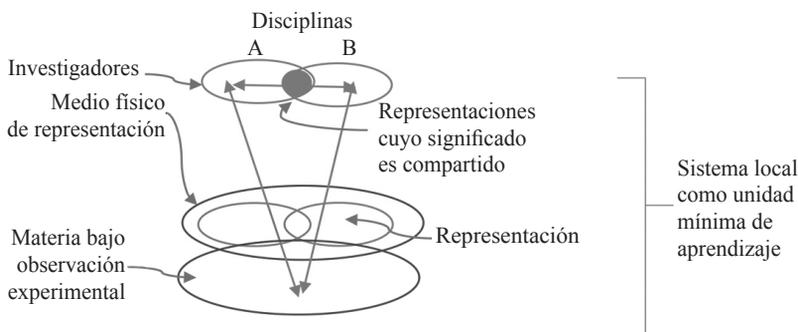
### **El ciclo de aprendizaje en el laboratorio**

En la primera fase de la investigación en curso se hizo una exploración general en tres laboratorios, representativos cada uno de los tipos de centros de investigación instalados en el parque (PIIT). Esta breve exploración visual nos dio un punto de comparación inicial de gran utilidad—como se verá más adelante—; sin embargo, el punto de partida para la construcción del modelo analítico fue la observación más detallada del centro de investigación adscrito a la universidad pública, en donde se realizó observación directa en uno de sus laboratorios de nanotecnología, así como largas conversaciones informales con los investigadores, desarrolladas en la biblioteca del centro.

La función educativa de toda institución pública de educación superior vincula las actividades de investigación científica con procesos de enseñanza-aprendizaje. Por esta razón, para el análisis de dichos procesos en el laboratorio optamos por considerar este espacio como una extensión y un complemento del aprendizaje en el aula universitaria, así como observar la dinámica de operación del centro de investigación en relación con la facultad que lo gobierna. Los programas de posgrado (maestría y doctorado) de esta institución distribuyen el tiempo de los estudiantes entre el espacio del aula y su laboratorio en el PIIT, por lo que cuentan con servicio regular de transporte entre ambos espacios. Parte de la estrategia de observación consistió en asistir a algunas de las clases impartidas en los programas, para identificar el tipo de lenguajes representacionales incluidos en el proceso de enseñanza. No se trataba simplemente de constatar, por ejemplo, que se enseña matemáticas y física a través de símbolos numéricos, sino de identificar el cuerpo disciplinario en el que esos símbolos fueron acuñados, ya que la forma de la notación propia de la física, la química y la biología probaron ser diferentes para cada disciplina.

Como señalamos, las representaciones materializadas en un medio físico constituyen el punto de encuentro de la comunicación interdisciplinaria, pero tienen además un importante papel en el proceso de aprendizaje en el laboratorio. Resultó útil referirse al sistema cognitivo: investigador (representación visual), equipo o medio físico que la soporta (véase esquema 1).

### Esquema 1



Fuente: elaborado por la autora.

De acuerdo con la teoría, es la forma de este sistema cognitivo la que posibilita emitir un juicio acerca de la correspondencia entre un modelo abstracto y los materiales que se manipulan experimentalmente (Giere y Moffat, 2003; Hutchins, 1996; Latour y Woolgar, 1986). Pero, como pudimos concluir en las observaciones del laboratorio, no se trata de juicios cuya validez se fundamente sólo en la lógica de las inferencias, sino que demanda la habilidad o capacidad de alinear o poner en correspondencia conocimientos previos (provenientes del aula), con las representaciones materializadas en una red de entidades heterogéneas que incluyen artículos publicados seleccionados, materiales químicos, equipos de experimentación, espectroscopios y microscopios con sus respectivas computadoras, entre otros. Esta heterogeneidad se encuentra organizada en el espacio del laboratorio diseñado para optimizar la experimentación y los procesos de aprendizaje.

A diferencia de lo que ocurre en otros espacios socialmente organizados para el desarrollo de tareas colectivas, no es posible definir los patrones de comportamiento de los investigadores en un laboratorio. Sin embargo, los fenómenos emergentes a que da lugar su actividad conjunta son estables, regulares y observables. Esto refleja la determinación del espacio físico sobre prácticas y actividades, y permite considerar el laboratorio como un dispositivo que determina las prácticas en función de la forma en que su espacio está equipado y distribuido. No todos los laboratorios que recorrimos tienen la misma distribución, por lo que suponemos —y buscaremos probar en la segunda fase— que dicha distribución varía de acuerdo con el tipo de institución. Esta intuición parte de la importancia que probó tener la distribución del espacio para lograr poner en correspondencia los datos provenientes de la manipulación

experimental, con la secuela de representaciones que le siguen, conforme se despliegan las pruebas para el análisis de los resultados. La importancia de esta correspondencia la ejemplifican tanto Latour como Hutchins a través de un mapa: si no logra alinear las marcas en el mapa con la topografía que observa en el terreno sobre el que se mueve, el explorador estará perdido.

Evidentemente el aprendizaje y la traducción interdisciplinaria remiten en primera instancia al lenguaje verbal como forma de representación, pero incluso esta forma de representación requiere un cierto tipo de triangulación con los conocimientos previos adquiridos en el propio campo de conocimiento que rara vez se corresponden entre disciplinas. El ajuste de conceptos e interpretaciones expresadas de forma verbal se facilita al recurrir a otras formas de representación no verbales, como imágenes o demostraciones. La hipótesis es por tanto que el espacio del laboratorio permite desplegar secuencias de representaciones que facilitan el procesamiento de información y por consiguiente la comunicación. Este hecho se vuelve muy evidente cuando se transita del aula al laboratorio, espacio que permite a los jóvenes investigadores *fixar* el sentido de lo aprendido en clase.

De acuerdo con Hutchins (1996: 230), cada “estado representacional” tiene una estructura particular, pero no todas son igualmente útiles, su utilidad estaría determinada por la naturaleza de la tarea y por otros recursos estructurales al alcance. El laboratorio favorece el aprendizaje y la comunicación interdisciplinaria porque está diseñado para producir múltiples formas de representación que permiten a los investigadores diversos tipos de triangulación de información. La información emitida por los equipos científicos no se puede medir en términos absolutos, ya que depende de la triangulación que el lector del dato puede realizar. Este tipo de triangulación es distinta para el investigador de cada disciplina, ya que vincula su observación con un campo de conocimiento diferente. Una de nuestras entrevistadas señala que “resolver problemas con colegas de otras disciplinas te permite *ver* soluciones que no habías visto”. Si bien el dato puede ser duro, la interpretación resulta de un ajuste y una negociación en donde los investigadores intercambian los resultados de sus propias triangulaciones. En este proceso, la referencia constante a los productos de la tecnología sirve para mediar estos ajustes, al evitar que se transformen en formas individuales de percibir el problema o su solución. En etapas posteriores de la investigación se buscará ilustrar qué tipo de estructuras representacionales coordinan los investigadores para realizar una tarea específica de forma conjunta.

Entre más moderno y mejor equipado está el laboratorio, mayor es el número de equipos digitalizados en grandes pantallas que pueden ser vistas por un equipo de investigadores desde distintos puntos de dicho lugar. Este arti-

ficio permite tener a la vista y comparar el mismo material analizado y representado de distintas formas en las pantallas. Permite incluso cierto control del tiempo al poder revisar la trayectoria de un proceso cuya evolución fue grabada en dichos medios. Esto significa una mayor exactitud cuando se logra poner en correspondencia datos sensibles —soluciones químicas y gases que soportan nanopartículas producidas en el laboratorio— y representaciones —imágenes, gráficos, cálculos, fórmulas—.

Así, por ejemplo, el laboratorio privado perteneciente a una gran corporación tenía una distribución circular con cubículos de cristal, así como un gran espacio compartido al centro en donde su ubicaban mesas para trabajo en grupo y pantallas conectadas a distancia con sofisticados equipos localizados en alguno de los cubículos. Esta distribución del espacio refleja la coordinación centralizada de proyectos unificados de investigación, aprobados en los consejos de administración, así como las multimillonarias inversiones en equipo e instalaciones.

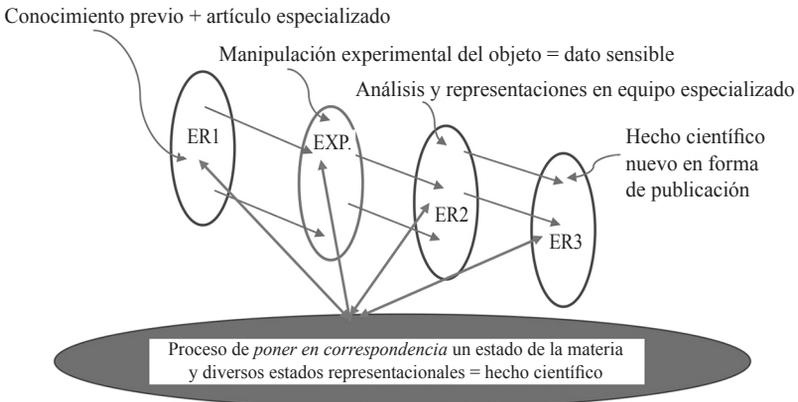
El centro de investigación público cuenta también con equipos de última generación, pero la distribución del espacio se asemeja a la forma tradicional de los laboratorios universitarios. Los espectrómetros de emisión atómica, los difractores de electrones, las estaciones de sistemas criogénicos, el microscopio escáner de electrones, por ejemplo, empleados en el análisis de las soluciones químicas que soportan las nanopartículas, se ubican en un área distinta de los equipos de experimentación donde éstas se producen. Son los investigadores responsables de proyecto quienes gestionan su adquisición y obtienen los recursos públicos para comprarlos. Son ellos quienes buscan un sitio donde ubicarlos y son a su vez supervisores de su uso y mantenimiento. Se podría decir que la distribución del espacio en este centro está pensada para una mayor variedad de proyectos cuya coordinación es menos jerárquica; asimismo, su diseño parece corresponder a las necesidades de la enseñanza y garantizar que un número significativo de estudiantes de posgrado compartan el espacio. Llama la atención la gran libertad de que gozan los jóvenes investigadores durante sus estudios. A pesar de que las gavetas donde se guardan los reactivos están etiquetadas por profesor y proyecto, los materiales y componentes químicos están permanentemente a su alcance. Salvo algunos equipos muy delicados, como el espectrómetro RAMAN, cuyo uso requiere autorización y capacitación del profesor responsable, los investigadores estudiantes tienen en general libre acceso a los equipos de la institución. Todo se presta y todo se comparte, y la menor eficacia de la distribución y uso del equipo respecto a los centros de investigación de las corporaciones se ve compensada por una dinámica que tiende a favorecer la comunicación entre los investigadores y los procesos colectivos de aprendi-

zaje. Incluso el origen de la presión que normalmente existe para concluir un proyecto de investigación es diferente: en los centros privados se contabiliza en términos de capital, en los públicos en términos de las fechas de examen o de publicación. Esto tiene efectos sobre el uso del tiempo y la tolerancia a cometer errores, aspectos que probaron ser determinantes en la formación de investigadores e incluso en los procesos de innovación.

En este contexto se volvió evidente un patrón que define el ciclo de aprendizaje en el laboratorio. Un punto de partida para observar el ciclo es un artículo publicado donde se describen los hallazgos de una investigación similar a la que se propone el joven investigador. En teoría, el estudiante recién llegado al laboratorio cuenta con el conocimiento matemático, conoce el significado de las notaciones y ha desarrollado la capacidad para interpretar gráficos y cálculos a partir del trabajo en el aula universitaria. Sin embargo, a decir de los profesores-investigadores entrevistados, en realidad llega con una visión vaga y confusa que se vuelve gradualmente más clara y precisa como resultado de sus actividades en el laboratorio. El o los artículos seleccionados se convierten en referente permanente al que se vuelve a cada momento durante el proceso, para poner en correspondencia lo que describe y mide con lo que ellos observan en su propia investigación (véase esquema 2).

### Esquema 2

Hecho científico como resultado de *poner en correspondencia* datos con diversos estados representacionales



ER: tipos de estados representacionales      EXP.: manipulación experimental  
 Fuente: elaborado por la autora.

El proceso de investigación consiste en utilizar la información producida en forma de representaciones por los equipos de análisis de datos sensibles que, combinadas, permiten poner en correspondencia la justeza de sus predicciones o modelos abstractos, respecto de las observaciones experimentales. Entre mayor número y tipo de representaciones hay, más fácil es corregir el *ruido* que proviene de datos faltantes que no se pueden observar directamente en el experimento.

El término ruido lo tomamos como analogía de las ciencias cognitivas, que consideran que la complejidad de los estímulos que recibe el cerebro durante el proceso de percepción introduce ruido en la relación estímulo-percepción. La forma en que el cerebro humano decide sobre la justeza de sus percepciones consiste en predecir lo que va a ocurrir en el siguiente momento basado en su experiencia previa, y contrastar su predicción con lo que realmente ocurre para adecuar instantáneamente su respuesta o reacción ante el evento en cuestión. Entre mayor sea la experiencia, mayor es la eficacia del predictor y más fácil dar una respuesta apropiada. Aunque este ciclo es observado en el laboratorio esencialmente para estímulos y respuestas sensorio-motrices poco complejas, la ecuación basada en estadística bayesiana como medio de representar de forma accesible esta relación constituye un buen ejemplo del potencial comunicativo de una representación.

$$P(\text{creencia}) \mid \text{estímulo sensorial} = \frac{\overbrace{P(\text{estímulo sensorial} \mid \text{creencia})}^{\text{Predicción}} \overbrace{P(\text{creencia})}^{\text{Conocimiento previo, memoria}}}{P(\text{estímulo sensorial})}$$

Fuente: tomada y traducida de “Daniel Wolpert: the Real Reason for Brains”, trabajo presentado en la conferencia oficial TED-Talk, julio, 2011 (en el original se usa el término *belief*).

La lectura con base en las notaciones sería: la probabilidad de que una suposición sea correcta dado un estímulo sensorial, es igual a la probabilidad de ese estímulo sensorial dada la creencia, por la probabilidad de la creencia entre la probabilidad del estímulo sensorial.

Consideramos que en el caso de la analogía con lo que ocurre en el proceso de investigación en el laboratorio, el ruido podría ser asimilado a información faltante en el modelo con que se representa el fenómeno. En este sentido, la correspondencia entre datos y representaciones nunca es perfecta, porque no necesariamente se conocen todas las propiedades de la materia bajo estudio. Los modelos son siempre imperfectos, pero entre más

puntos de referencia se tenga para triangular la información, más fácil resulta armar el rompecabezas de la explicación. En síntesis, se puede decir que el ciclo de aprendizaje consiste del permanente contraste entre lo encontrado en artículos científicos publicados y lo que es posible inferir al combinar y poner en correspondencia la información proveniente de los distintos medios físicos de representación, cuya función es el análisis de ciertas propiedades de los productos del experimento, siempre expresadas en algún tipo de lenguaje representacional más o menos formalizado.

### **Interdisciplina y representaciones**

Partir de un marco teórico centrado en el papel de las representaciones en los procesos de comunicación y aprendizaje en el laboratorio nos preparó para buscar este tipo de elemento en el centro de investigación bajo estudio. Por esta razón, los pósteres o carteles científicos elaborados por los investigadores y pegados en las paredes del laboratorio, llamaron nuestra atención desde el primer día. Después de la publicación en revistas especializadas, los pósteres son una de las formas más importantes de sintetizar y presentar los resultados de la investigación, por lo que toda conferencia del campo incluye una exposición de pósteres en donde los asistentes se detienen a leer las representaciones y a hacer preguntas a sus autores. Evidentemente, esto quiere decir que el significado de las representaciones es ampliamente compartido y constituye en sí mismo un lenguaje que requiere de códigos de interpretación con mayor o menor grado de complejidad. Las facultades de ingeniería y ciencias cuentan generalmente con concursos de pósteres en donde no sólo se premian los avances científicos, sino la capacidad para sintetizarlos. Como señalamos antes, la interpretación de representaciones requiere conocer no sólo conceptos teóricos, sino leer y poder usar notaciones matemáticas de distintas disciplinas; conocer las particularidades de los equipos usados para analizar las propiedades de las partículas a fin de poder emplearlos para el análisis requerido y leer los resultados; ser capaz de construir e interpretar gráficos, diagramas, ilustraciones, etcétera.

El póster en la imagen 1 se presenta para ilustrar los diferentes tipos de representación empleados para sintetizar procesos y hallazgos.

De acuerdo con Latour (1992), los artefactos de inscripción son instrumentos que permiten desplazar o sintetizar información compleja—obtenida de la observación y manipulación del objeto de estudio— para traducirla a información objetivamente legible y acreditada como válida en el campo. Los instrumentos legítimos de inscripción tienen además el poder de limi-




Centro de Investigación  
en Materiales Avanzados S.C.



**Theoretical and experimental influence of synthesis parameters of AACVD on the microstructural properties of Magnetite Nanoparticles and its response to the removal efficiency of arsenic.**

P. G. Hernández-Salcedo, P. Amézagua-Madrid\*, B. E. Monárdez-Cordero, W. Antúnez-Flores, P. Pizá-Ruiz, C. Leyva-Porras, C. Ornelas-Gutiérrez, M. Miki-Yoshida,  
 Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. - Laboratorio Nacional de Nanotecnología, Miguel Alemán, Km. 120, Chikilá, CDM., México, C. P. 21100.  
 \*Corresponding author: [pam@ciqam.cimat.mx](mailto:pam@ciqam.cimat.mx)

**1**

**Abstract**

The development and optimization of methodologies to synthesize matter and generate magnetite nanoparticles in particular is currently an important topic. For a desired application, the generation of these nanostructures with specific microstructural properties is determinant; other important aspects to consider are the quality, purity, high efficiency and low cost production. Obtaining the desired material involves several steps: deposition (AACVD) methodology and varying the parameters, conditions, precursors and solvents, resulting in the generation of nanostructures that differ in their microstructural properties. This is due to the parameters affecting the rate and quantity of production, and also influence in their physical, chemical and thermodynamic characteristics (1,4). For this reason, it is necessary to understand what happens during the nanoparticles formation process. This work reports the influence of synthesis parameters of AACVD technique in the magnetic nanoparticles formation. The following parameters were varied: temperature, tubular reactor diameter, precursor solution concentration, solvent type in collection process and the carrier gas flow. Theoretical simulation was performed on five parameters to determine the heating rate and residence time. It synthesis temperature, it tubular reactor diameter and its gas carrier flow, to obtain a combination between experimentally results and simulated model results. The microstructure and surface morphology of the different nanostructures obtained were characterized first by field emission scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. Subsequently five materials obtained at 220 and 175°C (D and E) were selected, with the other precursor conditions fixed: carrier solution ratio 0.2/0.5, precursor solution concentration 0.55 mol/L, reactor diameter 10 mm, to continue the microstructural analysis by TEM, HRTEM and Raman spectroscopy. Finally, to determine the removal efficiency in the two materials (D and E) the arsenic adsorption was evaluated by contact test at four different times and then were analyzed by atomic absorption. The presented data TEM images which shows the presence of arsenic in the nanoparticles after the adsorption process.

**2 AACVD system and conditions**

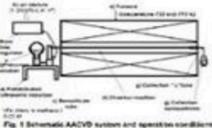


Fig. 1 Schematic AACVD system and operating conditions.

**3 Theoretical simulation by SolidWorks-Fluents**

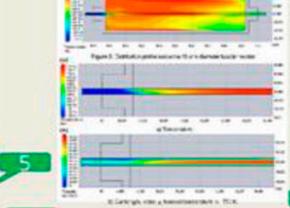


Figure 2. Graph of the flow rate, temperature distribution profile versus time.

Figure 3. Velocity profile across the reactor length.

Figure 4. Graph of the velocity profile across the reactor length.

**4 Materially obtained D and TEM**

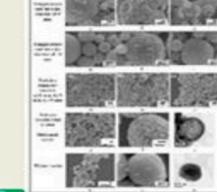


Figure 4. TEM image of magnetite nanoparticles obtained by AACVD at 220°C.

**5 Materially obtained E selected microstructural characterization morphology and diffraction pattern (TEM)**

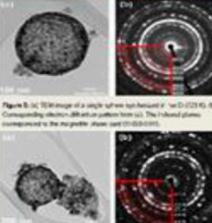


Figure 5. (a) TEM image of a single sphere has diameter:  $r = 10 \text{ nm}$  ( $0.023 \text{ nm}^{-1}$ ), corresponding electron diffraction pattern (b). The lattice spacing corresponded to the magnetite phase (see Table 1).

**6 HRTEM analysis of crystalline in materials D and E, each crystalline is a monocrystal in both materials.**

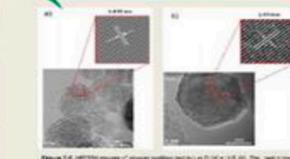


Figure 6. HRTEM images of magnetite nanoparticles (a) at 220°C and (b) at 175°C. The lattice spacing corresponded to the magnetite phase at a distance of 0.2175 nm at 0.4576 nm<sup>-1</sup> between materials.

**7 Raman analysis**

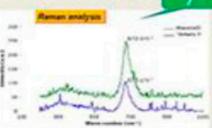


Figure 7. Raman spectra of the materials D and E. Shows the presence of magnetite phase.

**8**

Table 1. Removal efficiency of arsenic at different contact times (Materials D and E). Contact of 15 mg of AS<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with 100 µg of 0.05 ppm of arsenic. Concentration 0 shows higher than allowed by the NOM-127-SSA1-2007 of water for human consumption.

Material	Time (min)	Removal (%)	Removal (µg)
Material D	0	0	0
	15	100	100
	30	100	100
	45	100	100
Material E	0	0	0
	15	100	100
	30	100	100
	45	100	100

**9 Demonstration of presence of arsenic in Material D and E after contact test by TEM and EDX**

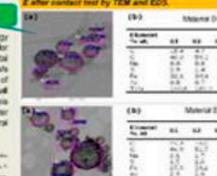


Figure 8. EDS spectra of the materials D and E. Shows the presence of arsenic.

**10 Conclusion**

The AACVD technique is a recommended methodology for the synthesis of nanostructures and magnetite particles for environmental applications, like the removal of heavy metal from water for human consumption. Obtained materials were nanostructured porous, yellow, magnetic spheres of high quality and purity, composed of many small nanocrystallites. It was confirmed that synthesis parameters, such as temperature, tubular reactor diameter and nature of precursor solution affect the microstructural properties of magnetite nanoparticles.

**References**

1. Miki-Yoshida, M., Ornelas-Gutiérrez, C., Leyva-Porras, C., Hernández-Salcedo, P. G., Amézagua-Madrid, P., Antúnez-Flores, W., Monárdez-Cordero, B. E., Pizá-Ruiz, P., 2014. Synthesis of magnetite nanoparticles by AACVD technique. *Journal of Nanoparticles*, vol. 2014, pp. 1-10.

Fuente: CIMAV, Póster premiado en el Congreso ISMANAM 2014: “Theoretical and Experimental Influence of Synthesis Parameters of AACVD on the Microstructural Properties of Magnetite Nanoparticles and its Response to the Removal Efficiency of Arsenic”. Cuyos autores son: P. G. Hernández-Salcedo, P. Amézagua-Madrid, B. E. Monárdez-Cordero, W. Antúnez-Flores, P. Pizá-Ruiz, C. Leyva-Porras, C. Ornelas-Gutiérrez, M. Miki-Yoshida.

tar el número de contraargumentos entre la comunidad científica (Latour, 1999a). En estos términos, los pósters científicos constituyen una síntesis de los instrumentos de inscripción empleados por los investigadores con este fin, y ofrecen al sociólogo de la ciencia un medio también sintético de

familiarizarse con la forma de las representaciones empleadas para la comunicación de las ideas. Empleando las imágenes de pósteres disponibles en línea, elaboramos un catálogo de dichas representaciones y las sometimos al escrutinio de algunos investigadores (esencialmente estudiantes de maestría y doctorado de distintas disciplinas) para evaluar el grado de conocimiento que tenían sobre las mismas. El interés se centró en saber si se conocía el origen o fuente de la imagen; a qué disciplina se recurría para interpretarla; qué tipo de conocimientos matemáticos se requerían para leerla: estadística, físico-matemática o ingeniería; si conocía el significado de las notaciones inscritas; si mostraba información útil para su proyecto. Este ejercicio, pensado con el fin de elaborar un cuestionario que será aplicado en la segunda fase de la investigación, no sólo probó ser de gran utilidad, sino que disparó comentarios directamente asociados a la forma de la comunicación interdisciplinaria en el laboratorio.

La pregunta ¿qué conocimiento es necesario compartir entre físicos, químicos, biólogos e ingenieros de diversas especialidades para trabajar en equipo en el laboratorio?, permitió identificar que compartir los protocolos de investigación, entendidos como procedimientos estandarizados que incluyen técnicas de observación y habilidades de manipulación del objeto de estudio, resultó ser de gran utilidad para los investigadores al entrar en contacto con un campo de conocimiento nuevo. Evidentemente, esta es la parte rutinaria de la comunicación interdisciplinaria, pero a partir de este punto el puente consiste en comparar y homogeneizar los lenguajes representacionales de distinto grado de abstracción. Si bien las matemáticas nunca se homogeneizan del todo, quedó claro que en tanto se tenga un conocimiento general, lo que resulta esencial es el aprendizaje suficiente de las notaciones para lograr una lectura fluida de gráficos y ecuaciones, sumado al proceso visual de poner en correspondencia dichas ecuaciones y gráficos con otras formas menos complejas de representación. Lo interesante es que en opinión de los investigadores, esta comprensión compartida se convierte en puerta para entrar en un diálogo disciplinario en donde todos aprenden mucho de la otra disciplina sin necesariamente recurrir a artículos del otro campo. Una doctora en química consideró incluso que este diálogo ha sugerido a su equipo de investigación formas distintas de solucionar problemas hasta ese momento no resueltos.

La disposición al diálogo interdisciplinario se relaciona además con la necesaria continuidad de las distintas fases de los proyectos de investigación que puede iniciar con la caracterización de partículas, realizada esencialmente por químicos y físicos, al uso de matrices nanoestructuradas en los materiales cuyas propiedades se desean modificar —tareas realizadas por ingenieros y biólogos, dependiendo del objetivo y tipo de matriz—. Esto no

significa necesariamente que haya una división del trabajo entre las distintas fases del proceso, o al menos no es suficientemente claro en esta etapa de la investigación. La especialización disciplinaria del investigador permite que cada uno desplace lo observado al cuerpo de conocimiento que le es propio y lo interprete en función de su propia historia de aprendizaje. Fue interesante observar que un póster multidisciplinario constituye además una muestra de la forma en que se acostumbra construir las representaciones en cada disciplina, lo que volvió muy fácil discernir las que habían sido hechas por biólogos o ingenieros, por ejemplo.

## **Conclusión**

A manera de conclusión, más que adelantar hallazgos preliminares de la investigación en curso, resulta interesante enumerar los elementos identificados en la fase exploratoria que permitan construir instrumentos de observación sintéticos, especialmente si se considera que no en todos los laboratorios esperamos tener el mismo grado de libertad para presenciar el trabajo del día a día ni necesariamente habrá tanta disponibilidad de los investigadores para entrevistas largas. En este sentido, los instrumentos de observación deben permitir captar la distribución del espacio como socialmente organizado y la forma en que éste incide en la actividad de los investigadores; constatar el papel de las representaciones y los medios físicos en que se materializan para la comunicación interdisciplinaria; la validez del mecanismo de poner en correspondencia datos y representaciones en la producción de conocimiento. Un reporte final de este proyecto debe necesariamente incluir un diálogo más específico con la sociología y la filosofía del conocimiento, a fin de encontrar eco en la propia disciplina y disminuir en lo posible el número de contraargumentos.

Recibido: febrero de 2016

Revisado: abril de 2016

Correspondencia: Centro de Estudios Sociológicos/El Colegio de México/  
Camino al Ajusco 20/Col. Pedregal de Santa Teresa/Deleg. Tlalpan/C.P.  
10740/Ciudad de México/correo electrónico: mapozas@colmex.mx

## Bibliografía

- Giere, Ronald y Barton Moffat (2003), “Distributed Cognition: Where the Cognitive and the Social Merge”, *Social Studies*, vol. 33, núm. 2, abril, pp. 1-10.
- Hutchins, Edwin (1996), *Cognition in the Wild*, Cambridge y Londres, The MIT Press.
- Latour, Bruno (1999a), *Pandora's Hope: Essays on Reality of Science Studies*, Cambridge, Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1999b), “For David Bloor and Beyond: a Reply to David Bloor's ‘Anti-Latour’”, *Studies in History and Philosophy of Sciences*, vol. 30, núm. 1, pp. 113-129.
- Latour, Bruno (1992), *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*, Barcelona, Labor.
- Latour, Bruno y Steve Woolgar (1986), *Laboratory Life: the Construction of Scientific Facts*, Princeton, Princeton University Press.
- Mannheim, Karl (1987), *Ideología y utopía. Introducción a la sociología del conocimiento*, México, FCE.
- Merton, Robert K. (1979), “The Normative Structure of Science”, en R. K. Merton, *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*, Chicago, University of Chicago Press.
- Varela, Francisco J., Evan Thompson y Eleanor Rosch (1993), *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge y Londres, The MIT Press.

## Acerca de la autora

María de los Ángeles Pozas es doctora en sociología por la Universidad Johns Hopkins y profesora-investigadora del Centro de Estudios Sociológicos de El Colegio de México. Se especializa en el campo de la sociología de la ciencia y la economía del conocimiento. Entre sus publicaciones recientes se incluyen la coedición, junto con Marco Estrada, del libro *Disonancias y resonancias conceptuales: investigaciones en teoría social y su uso en la investigación empírica*, México, El Colegio de México, en prensa; y “Efecto de las innovaciones disruptivas sobre las redes globales de producción: el caso de la genómica y la industria farmacéutica”, en Arturo Ranfla González, Miguel Ángel Rivera Ríos y René Caballero Hernández (coordinadores), *Desarrollo económico y cambio tecnológico: teoría, marco global e implicaciones para México*, México, Juan Pablos, UNAM y Universidad Autónoma de Baja California, 2015, pp. 205-240.