

UN ESTUDIO SOBRE LOS PROCESOS DE INSTITUCIONALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

Erika García Torres, Ricardo Cantoral Uriza

CINVESTAV-IPN

egarcia@cinvestav.mx, rcantor@cinvestav.mx

Resumen. La investigación que se presenta aborda la problemática de la construcción social del conocimiento matemático, que asume que la construcción de conocimiento se origina a través de procesos de institucionalización de las prácticas, donde la práctica social tiene un papel normativo. El objetivo de esta investigación es estudiar prácticas, en particular las que se producen un conocimiento especializado dentro de una comunidad profesional: la ingeniería biomédica, así como evidenciar el funcionamiento del conocimiento matemático en las mismas. Se ejemplificará a través de una práctica de esta comunidad, la obtención de la temperatura de Curie, la existencia de saberes funcionales y cómo la variación puede ser una categoría que norme los procesos de institucionalización de las prácticas.

Palabras Clave: Socioepistemología, prácticas, saberes funcionales, ingeniería biomédica.

Introducción

La investigación que se presenta aborda la problemática de la construcción social del conocimiento matemático. La socioepistemología se ocupa de dicha problemática y dota a la investigación en Matemática Educativa de una aproximación sistémica y situada, que permite incorporar las cuatro componentes fundamentales en la construcción del conocimiento; su naturaleza epistemológica, su dimensión sociocultural, los planos de lo cognitivo y los modos de transmisión vía la enseñanza (Cantoral y Farfán, 2003).

La socioepistemología asume como base filosófica de la construcción del conocimiento la postura pragmática, que establece que el uso de un objeto es el que produce su significado. Esta postura se opone a la visión platónica de los objetos, que manifiesta que éstos

preexisten a la experiencia humana, y que un humano para conocer debe descubrir. En este acercamiento teórico se habla del aprendizaje a nivel de las *prácticas sociales*, puesto que se postula que antes que los conceptos existen prácticas asociadas que le dan significación a los objetos matemáticos, como se reporta ampliamente en Cantoral, Farfán, Lezama y Martínez (2006).

A través de la noción de práctica social se intenta privilegiar el trabajo del humano en la construcción del conocimiento, indicando que los objetos no surgen individualmente, sino emergen como organizaciones de grupos humanos que reconocen útil al conocimiento, y por ende, hacen que se transmita por generaciones, de esta forma se transforma en un material continuo. Un *saber*, ante todo, es un producto material continuo. Lo continuo refleja su permanencia en la vida que es transformada por ese saber y, a la vez, el saber es transformado. Tal continuo no se destruye porque hay ciertas formas de actuar impuestas o sugeridas desde afuera del individuo las cuales son encarnadas en sucesos individuales. Tales formas son las instituciones (Durkheim, 1982 citado en Cordero, 2006).

En este sentido, la socioepistemología comparte la tesis de que los objetos son creados en el ejercicio de las prácticas normadas. Los *saberes* se institucionalizan por la existencia de mecanismos que lo posibilitan, esto es, *los procesos de institucionalización de las prácticas*, donde la práctica social adquiere un carácter normativo. Esto se evidenció en Covián (2005), al referirse a la construcción de la vivienda tradicional maya. En esta investigación se estudió al proceso de institucionalización reconociendo en la evolución de las prácticas aquello que está cambiando por la influencia social, los contextos y tiempos, pero identificando lo que permanece. En este sentido se identificó la permanencia a través del cambio, o el cambio a través de la permanencia. Sólo de esta forma se pudo identificar aquello que es producto de la institucionalización, los saberes. La práctica social se postuló con base en la evidencia empírica, como aquello que hace hacer lo que se hace, lo que norma los procesos de institucionalización.

Otro resultado de este estudio fue reconocer la funcionalidad del conocimiento matemático en las prácticas. En este sentido, la *funcionalidad* la entendemos en el sentido de Flores y

Cordero (2007). Este término hace referencia a la presencia y movilización en diversas situaciones de *saberes funcionales*, aquellos que el individuo utiliza en la realización de tareas, que están incorporadas a él en un sentido orgánico. Un *saber funcional* puede no necesariamente corresponder con un conocimiento que se aprenda en la escuela, si bien puede ser constitutivo de éste, la noción se presenta en un sentido más amplio. Por ejemplo, se puede poner de manifiesto en situaciones de naturaleza distinta en las que fue aprendido. La identificación de tales situaciones será de trascendencia para nuestra investigación.

Objetivo

El objetivo de esta investigación es estudiar prácticas, en particular las que producen un conocimiento especializado dentro de una comunidad profesional.

Si bien en la socioepistemología se asume que la construcción social del conocimiento se origina a través de procesos de institucionalización de las prácticas, donde la práctica social tiene un papel normativo, se intentará dar evidencia de dicho papel bajo la hipótesis de la práctica social como generadora de conocimiento.

Para ello, se caracterizará la funcionalidad del conocimiento matemático dentro de una práctica profesional, a través del análisis de los procesos de institucionalización de las prácticas.

Acepción de práctica

Diferentes enfoques teóricos en Matemática Educativa hacen uso de la acepción de *práctica*.

En el enfoque ontosemiótico se define como “toda actuación o manifestación (lingüística o no) realizada por alguien para resolver problemas matemáticos, comunicar a otros la solución, validar la solución y generalizarla a otros contextos y problemas” (Godino y Batanero, 1994, p. 334). Aunque este enfoque hace una distinción entre prácticas personales y prácticas institucionales, éstas giran en torno de la acepción descrita

anteriormente. Se considera que esta caracterización puede identificarse con la que propone la teoría antropológica de lo didáctico. En esta teoría Chevallard define al objeto matemático como “un emergente de un sistema de prácticas donde son manipulados objetos materiales que se desglosan en diferentes registros semióticos (...)” (D’Amore y Godino, 2007, p. 197). En ambos enfoques teóricos la práctica es considerada como *lo que se hace*.

Referente a la socioepistemología, Arrieta (2003, p.63) señala que “la práctica es hacer algo pero no simplemente hacer algo en sí mismo y por sí mismo, es algo que en un contexto histórico y social otorga una estructura y un significado a lo que hacemos (...)”. Esta caracterización se interpreta como lo que se hace con cierta intencionalidad, es decir, es la intencionalidad lo que hace hacer lo que se quiere hacer. Retomaremos esta idea para definir la acepción de práctica que se utilizará en esta investigación.

Para efectos de la investigación se considerará a la práctica como la repetición de la actividad, y en este sentido, será el ejercicio intencional de la actividad, ya que aunque la práctica puede ser una, su repetición se realiza con intencionalidad. Cabe señalar que hacemos una distinción entre práctica y práctica social, puesto que la práctica involucra la intencionalidad del individuo ante la actividad concreta, mientras que la práctica social se apega al proceso cultural que norma a la sociedad.

Comunidad de estudio: Ingeniería Biomédica

Esta investigación se interesa en el estudio de prácticas en comunidades científicas. Como ya se ha mencionado, la investigación pretende identificar la funcionalidad del conocimiento matemático, por lo que se decidió acercarse a una comunidad diferente a la de un aula de clase, que pusiera en funcionamiento⁴² conocimiento matemático y de otras ciencias para generar conocimiento tecnológico innovador. En particular, se estudiarán las prácticas de una comunidad de científicos que desarrollan investigaciones en el área de

⁴² Funcionamiento en el sentido de funcionalidad.

Ingeniería Biomédica, “actividad interdisciplinaria entre las ciencias exactas e ingenieriles con las ciencias de la vida” (Suaste, 1998, p.1).

La ingeniería biomédica consiste en aplicar las técnicas y las ideas de la ingeniería a la biología, en particular la biología humana. El conocimiento generado por estas comunidades de ingenieros biomédicos está encaminado principalmente al diseño y mantenimiento de equipo médico con fines terapéuticos o de diagnóstico.

El estudio de esta comunidad se realiza en el laboratorio 10 del departamento de ingeniería eléctrica del Cinvestav-IPN, en la sección de bioelectrónica. En este laboratorio el doctor a cargo dirige proyectos de investigación de varios alumnos y alumnas de maestría y doctorado. El laboratorio se caracteriza por hacer investigación en equipo médico que ayude al diagnóstico y tratamiento de padecimientos relacionados con la visión humana.

Para llevar a cabo la investigación se decidió delimitar la comunidad de estudio a las prácticas de un estudiante sobresaliente de maestría: Agustín, cuando lleva a cabo la investigación de su proyecto de tesis. Si bien nos centraremos en observar sus prácticas, esto no implica ignorar la interacción con sus compañeros y con su director de tesis, en este caso el doctor a cargo del laboratorio.

Agustín es Ingeniero en Biónica y se encuentra en el segundo año del programa de maestría, trabaja dentro de una línea de investigación que estudia las cerámicas que se utilizan en el equipo médico para realizar un ultrasonido, el cual no sólo sirve para obtener imágenes sino para terapia, ya sea térmica o mecánica. Por ejemplo, cuando se excita un tejido con ultrasonido, en el tejido se genera un movimiento muy pequeño que equivale a un movimiento a gran escala o se genera temperatura que sirve como terapia o diagnóstico. Dentro del ultrasonido se ha visto que las cerámicas que se utilizan para la realización del mismo están hechas de plomo, por lo que Agustín está desarrollando cerámicas piezoeléctricas libres de plomo que además tienen aplicaciones ópticas.

Metodología

Utilizamos el *enfoque etnográfico* de la metodología cualitativa de investigación educativa. El término etnografía deriva de la antropología y significa literalmente “descripción del modo de vida de una raza o grupo de individuos”. Se interesa por lo que la gente hace, el cómo se comportan y cómo interactúan (Woods, 1986).

Se está utilizando la técnica de *observación no participante*, que consiste en observar las cosas tal y como suceden, con la menor interferencia posible. Hasta ahora se han presenciado 10 sesiones en el laboratorio, en las cuales se registran los datos observados por medio de registros de voz, videograbaciones y toma de fotografías. Adicionalmente se realizan preguntas no estructuradas a Agustín mientras realiza sus actividades.

Descripción del escenario

El laboratorio 10 es un espacio reducido. Se compone de un área principal en la que se encuentra el equipo de trabajo y donde se realizan los experimentos, una sección de cubículos donde se disponen de computadoras para los estudiantes, la oficina del doctor a cargo del laboratorio, un espacio de cafetería y un anexo que es el lugar en el que Agustín desarrolla sus experimentos. El anexo surgió para desarrollar las cerámicas piezoeléctricas y al igual que el resto del laboratorio es un espacio reducido con equipo especializado para las pruebas que se requieren realizar. La figura 1 muestra algunas secciones del laboratorio.



El laboratorio cuenta además con un técnico que apoya a los y las alumnas en la generación de ciertos materiales. Todos interactúan entre sí, trabajan en un ambiente muy relajado, platican de cuestiones personales, escuchan música y bromean.

Resultados y Discusión

El estado actual de la investigación no permite proporcionar resultados definitivos, por lo que se limitará a proporcionar caracterizaciones de las observaciones realizadas.

1. Ambientación

El laboratorio es un espacio donde sus participantes desarrollan su creatividad, tienen la libertad de realizar pruebas, que si bien son dirigidas por el doctor a cargo, se les permite tomar decisiones. Las y los alumnos –dos alumnas entre 9 alumnos- pasan la mayor parte del día en el laboratorio, el cual cuenta con las condiciones necesarias para su desenvolvimiento académico.

2. Actividades de Agustín

Agustín tiene una rutina de trabajo larga, llega al laboratorio por la mañana, sale a comer al mediodía y se retira por la noche, en promedio diariamente trabaja 10 horas. Es una persona que se percibe disciplinada y responsable, expresa gusto por el trabajo que realiza y las expectativas para su tesis son altas, puesto que desea aplicar las cerámicas que

desarrolla para la estimulación de tejidos y con ello desarrollar una aplicación; él es el experto del laboratorio en la obtención de cerámicas y su trabajo es valorado por sus compañeros. Su primer año de maestría lo dedicó al aprendizaje del método, pero como él manifiesta, esta labor aunque se aprenda nunca se realiza de manera mecánica, puesto que todos los experimentos son distintos y debe, con base en su experiencia, determinar las condiciones óptimas en la que se realizan.

Las actividades que realiza diariamente se relacionan con la obtención de cerámicas piezoeléctricas. Un piezoeléctrico es un material al cual si se le aplica un campo eléctrico genera un movimiento mecánico y viceversa, si se le aplica un movimiento mecánico genera un campo eléctrico. Para producir estas cerámicas, debe seguir un procedimiento: Calcula los componentes químicos, por medio de balanceo de ecuaciones, para obtener las cerámicas las cuales siguen una estructura cristalina. Luego realiza la mezcla de compuestos químicos en un mortero de ágata o en un mortero mecánico para posteriormente realizar un prensado del material para obtener las cerámicas y someterlas a un precocido. Enseguida las cerámicas se vuelven a moler y se prensan en moldes en los que va a tener la figura final que son de forma circular con cierto espesor. Después se realiza un sinterizado, que consiste en llevar las cerámicas a altas temperaturas para que cambien su estructura cristalina.

Una vez que se tienen las cerámicas –por lo general son capas de cerámicas– en su forma final procede a caracterizarlas. Una característica que es de particular interés es la *temperatura de Curie*, que es la temperatura a la cual el material cambia su estructura. Asimismo, le interesa caracterizar la *frecuencia de resonancia*, que es la cualidad de las cerámicas de mantenerse en una frecuencia o resonancia natural.

Además de realizar estas actividades, Agustín y en general toda la comunidad, se caracteriza por una gran capacidad inventiva, por lo que también es común observarlo realizando dispositivos que tiene que utilizar para poner llevar a cabo sus experimentos.

3. Una práctica: Obtención de la temperatura de Curie

Dentro de la práctica biomédica ejercida por Agustín se han identificado la obtención de la temperatura de Curie y la caracterización de la frecuencia de resonancia, pruebas que caracterizan a las cerámicas. En nuestra estancia en el laboratorio hemos observado en varias ocasiones la realización del experimento con el cual se obtiene la temperatura de Curie, por lo cual ejemplificaremos la funcionalidad del conocimiento matemático en dicha práctica.

Las cerámicas que se caracterizan en el laboratorio son por lo general de titanato de bario y bismuto. En la figura 2 se observa la forma que adoptan las cerámicas.

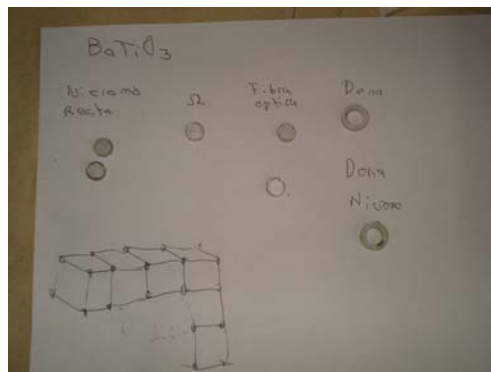


Figura 2. Cerámicas

Agustín nos explica lo siguiente: La temperatura de Curie es la temperatura a la cual el material cambia su estructura, dependiendo del tipo de material puede tener una, dos tres o cuatro temperaturas de Curie, en esos puntos de temperatura en especial la estructura cristalina va a sufrir cambios, entonces esto va a modificar totalmente las características, por lo que en algunas partes ya no va a ser útil la cerámica, entonces lo que nos interesa a nosotros es trabajar en un cierto rango que nos sirva, en el que las características piezoeléctricas sean las mejores.

Se ha observado que el experimento para determinar la temperatura de Curie puede ocurrir de diversas formas. Las cerámicas se pueden someter a altas temperaturas -400°C o más- o a bajas temperaturas $-\text{menos de } 3^{\circ}\text{C}-$. Para iniciar el experimento, con base en el material de la cerámica Agustín determina la temperatura a la que se someterá. Si el experimento se

va a realizar a altas temperaturas, programa cómo irá aumentando la temperatura en el horno. Lo que se mide es la *capacitancia* de la cerámica en función del tiempo. Agustín nos comenta acerca de la capacitancia: Tú sabes que todos los cuerpos cuando se calientan, bueno la mayor parte de los cuerpos cuando se calientan se expanden, igual las cerámicas sufren modificaciones en su estructura cuando se someten a cambios de temperaturas, un capacitor funciona por medio del área de sus placas, el área de las superficies que se encuentran en uno y otro lado, entonces es de esperarse que si tú modificas el área o la separación que existe entre esas placas se va a modificar su capacitancia, nada más que para este tipo de materiales, son tipos de respuesta en una especie de ciclo que se repite constantemente a diferentes temperaturas. Has de cuenta que vas variando la temperatura, por ejemplo aumentándola y la estructura se va expandiendo, va a llegar un momento en que se contrae bruscamente y otra vez empieza a expandir y otra vez se contrae, entonces se refleja en un cambio en la capacitancia, entonces ya se hacen curvas. En la figura 3 se observa un montaje de un experimento para determinar temperatura de Curie.

Posterior al experimento, Agustín registra los datos en la computadora y genera las gráficas en Excel, las gráficas que espera obtener son curvas “con picos” como él menciona, como se muestra en la figura 4. Agustín comenta al respecto: Si nosotros no obtenemos curvas de este estilo (figura 4) nos indica que no estamos obteniendo las características adecuadas del material.



Figura 3. Experimento temperatura de Curie para cerámica de bismuto

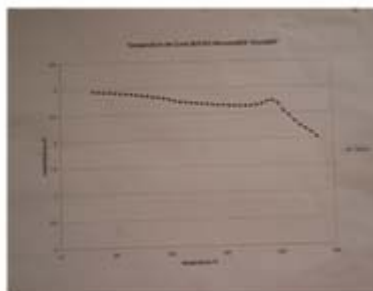


Figura 4. Gráficas esperadas

Las gráficas que obtiene siempre las discute con su asesor de tesis, basándose en la literatura existente sobre los comportamientos gráficos que se han estudiado para distintas cerámicas. Si no hubiera literatura al respecto por tratarse de nuevas formulaciones, Agustín comenta que infieren cómo se comportarán las gráficas, con base en el comportamiento de otras cerámicas de formulaciones químicas ya estudiadas.

Dentro de esta práctica se considera que la *funcionalidad* del conocimiento matemático está presente en la lectura de las gráficas que realiza esta comunidad. Por ejemplo, en cierto intervalo –al cual denominan rango– esperan encontrar funciones de variación acotada, aunque no lo expresen en esos términos. Utilizan el término de “pico” para referirse a un punto máximo. Se pueden decir que las nociones de rango, margen de error y optimización les permite tomar decisiones acerca de la factibilidad del experimento.

En cuanto a los procesos de institucionalización, se ha tratado de identificar la permanencia a través del cambio en la práctica antes descrita. Puesto que utilizan criterios basados en las gráficas para decidir si un material es bueno o no, la composición química es la que cambiar, incluso ellos esperan cambiarla por materiales que produzcan condiciones óptimas para ciertas aplicaciones, pero lo que siempre permanece constante es que las gráficas resultantes alcancen un máximo en un rango determinado.

Conclusiones

Se ha podido identificar la presencia de *saberes funcionales* en las prácticas observadas. Aunque la investigación debe caracterizar con mayor precisión dichos saberes y proporcionar más evidencia empírica al respecto, se advierte la presencia de nociones variacionales que se ponen en funcionamiento en la práctica de los ingenieros biomédicos.

La *variación* puede ser una categoría que norme los procesos de institucionalización de estas prácticas, puesto que consideramos que algunos elementos relacionados a ésta determinan en gran medida la toma de decisiones en cuanto al éxito o fracaso de los experimentos efectuados, determinando por ende, la generación de nuevas producciones de cerámicas.

Las gráficas son instrumentos de comunicación de la información, pues mediante ellas se genera una interacción que permitirá tomar decisiones. Sin embargo, la gráfica no es un producto final, pues el profesional construye el significado de los términos de la gráfica en acción directa sobre su experiencia. En el desarrollo de la práctica, mientras se realiza un experimento él puede *predecir* cómo se está comportando la curva y determinar si el experimento será exitoso.

Bibliografía

Arrieta, J. (2003). *Las prácticas de modelación como proceso de matematización en el aula*. Disertación doctoral no publicada, Cinvestav-IPN, México, D. F, México.

Cantoral, R. & Farfán, R. (2003). Mathematics Education: A vision of its evolution. *Educational Studies in Mathematics*, 53(3), 255-270.

Cantoral, R., Farfán, R., Lezama, J. y Martínez, G. (2006). Socioepistemología y Representación, algunos ejemplos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, número especial, 83-102.

Cordero, F. (2006). EL uso de las gráficas en el discurso del cálculo escolar. Una visión socioepistemológica. En R. Cantoral, O. Covián, R. M. Farfán, J. Lezama & A. Romo (Ed.), *Investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: un reporte Iberoamericano* (pp. 265-286). D.F., México: Díaz de Santos-Comité Latinoamericano de Matemática Educativa. A. C.

Cordero, F. y Flores, R. (2007). El uso de las gráficas en el discurso matemático escolar. Un estudio socioepistemológico en el nivel básico a través de los libros de texto. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 10(1), 7-38.

Covián, O. (2005). *El papel del conocimiento matemático en la construcción de la vivienda tradicional: El caso de la Cultura Maya*. Tesis de maestría no publicada. México: Cinvestav.

D'Amore, B. y Godino, J. (2007). EL enfoque ontosemiótico como un desarrollo de la teoría antropológica en didáctica de la matemática. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 10(2), 191-218.

Godino, J. y Batanero, C. (1994). Significado institucional y personal de los objetos matemáticos. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 14(3), 325-355.

Suaste, E. (1998). *Ingeniería Biomédica: Antecedentes, Desarrollo y desenlaces en México*. México: México.

Woods, P. (1986). *La escuela por dentro. La etnografía en la investigación educativa*. Barcelona, España: Paidós.