

La construcción de capital sociotécnico: fabricación de materiales híbridos y transformaciones profesionales

Sociotechnical capital construction: professional transformations and the production of hybrid materials

Laura María Morales-Navarro / aah@uaemex.mx

Antonio Arellano-Hernández / l.moralesnavarro@lancaster.ac.uk

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Abstract: Conventionally, the social capital notion has been analyzed delimiting borders between types of capital in its minimalist dimensions, the transitional and expansionist, and its expression at the micro, meso or macroaction of agents. In this paper we adapt the contents of 'social capital' to be understood as 'socio-technical capital', defined as the action of the actors in the pursuit of profit collective and inseparable links with artifacts and knowledge. To demonstrate this use of social capital, we offer the results of an ethnographic study, showing the simultaneous production of scientific facts, artifacts, technological and social value, translating the transformation of the disciplinary identity of the actors with the production of a hybrid nature anticorrosive coating. We analyzed mutations in the development of socio-technical capital in the form of disciplinary change, problem solving and development of industrial goods.

Key words: social capital, socio-technical capital, ethnography, corrosive materials, innovation.

Resumen: Convencionalmente la noción del capital social ha sido analizada delimitando fronteras entre los tipos de capital, tanto en sus dimensiones minimalista, transicional y expansionista, como en su expresión en los planos micro, meso o macro de la acción de agentes. En este trabajo adaptamos el contenido de "capital social" para entenderlo como "capital sociotécnico", definido como la valoración de la acción de los actores en la búsqueda del beneficio colectivo y de inseparables vínculos con artefactos y conocimientos. Para demostrar esta acepción de capital social, brindamos los resultados de un estudio etnográfico, mostrando la producción simultánea de hechos científicos, artefactos tecnológicos y valor social, traduciendo la transformación de la identidad disciplinaria de los actores con la fabricación de un revestimiento anticorrosivo de naturaleza híbrida. Analizamos las mutaciones en la elaboración de capital sociotécnico en forma de cambios disciplinarios, de resolución de problemas industriales y de desarrollos de mercancías.

Palabras clave: capital social, capital sociotécnico, etnografía, materiales anticorrosivos, innovación.

Introducción¹

En las últimas décadas, diversas teorías de la acción colectiva se han interesado por el estudio del capital social.² Con la noción de capital social, entendida como la valorización de la organización social, se han explicado la interacción de los individuos organizados, la producción de innovaciones y la búsqueda y materialización del beneficio común de los participantes. Sin embargo, los teóricos que la han empleado cuando aplican la noción de capital social a los fenómenos científicos, técnicos y de innovación, subsumen toda explicación a meras “acciones sociales”, no pudiendo conceptualizar, por ende, los procesos técnicos como asuntos técnicos y sociales, y limitando así su capacidad analítica para mejorar la comprensión del fenómeno sociotécnico.

Los sociólogos de ciencias y técnicas, en particular aquellos que han desarrollado la sociología de la traducción,³ han explicado la interpenetración existente entre los actores humanos y los no humanos en la producción de conocimientos científicos y artefactos, mostrando además la confluencia de la identidad de los actores que ocurre en la construcción de una red sociotécnica.

En este texto, exploraremos la reunión de ciertas nociones de capital social con las de la sociología de la traducción, para luego indagar etnográficamente la producción de una red sociotécnica bajo la modalidad de capital socioténico.

En este documento entenderemos la categoría de capital sociotécnico como las acciones de los actores orientadas simultáneamente al desarrollo de conocimientos tecnocientíficos y a la búsqueda del beneficio colectivo. Para demostrar esta categoría, mostraremos y explicaremos cómo un grupo

1 Este artículo es producto de la investigación “Etnografía de la investigación de la física aplicada en México: El caso de la red sociotécnica asociada al Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)”, finanziada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en el proyecto S41385. Los autores agradecen los comentarios críticos al presente documento de los miembros del Laboratorio Tecnociencia-sociedad y de María del Carmen Aguilera Padilla.

2 Entre ellas se encuentran la Teoría de la acción colectiva de segunda generación (Ostrom y Ahn, 2003), el nuevo institucionalismo económico (Vargas, 2002), la nueva sociología económica (Woolcock, 1997), entre otras.

3 Esto que se ha popularizado como Teoría del actor-red surgió como la sociología de la traducción en el Centre de Sociologie de l'innovation en la década de 1980 y reunía las aportaciones de Michel Callon, Bruno Latour, John Law y Madeleine Akrich. De manera sintética puede decirse que la sociología de la traducción consistía en aplicar la noción de traducción de Michel Serres a la sociología de la ciencia y la tecnología (Arellano, 1995).

de investigadores de la física de los nuevos materiales va transformando su identidad profesional, a medida que va produciendo un nuevo modelo teórico y fabricando un material de naturaleza híbrida que, en el presente caso, se refiere a la mezcla de un revestimiento anticorrosivo de características poliméricas y cerámicas.

Teorías de la valorización de la acción colectiva: dificultades conceptuales y metodológicas en el estudio del capital social de base técnica

La polisemia que acompaña a la noción de capital social gira en torno a la puesta en valor de la acción colectiva por sobre la acción individual. Así, por ejemplo, Bourdieu destaca el capital social como un recurso ligado a la posesión de una red de reconocimientos entre los actores (Bourdieu, 1983); Coleman destaca la función que adquieren algunas entidades en la facilitación de las acciones individuales en el interior de una estructura (Coleman, 1994); Putnam distingue el capital social del capital físico para referirse a las conexiones entre individuos y las normas de reciprocidad y confianza en las redes (Putnam, 2000). En todas estas nociones se destaca el valor de la acción colectiva y de la confianza para la generación de valor económico (Schuller, Baron y Field, 2002; Ostrom y Ahn, 2003).

Definido el capital social como una formación de actores organizados que persigue el bienestar colectivo, varios autores⁴ establecen y distinguen tipos de capital (físico, humano, intelectual y social) y niveles de organización social (micro, meso y macro). Además, establecen los elementos que conforman el capital social, entendidos como relaciones de confianza, instauración de reglas formales e informales, organización de formas de participación civil e implantación de políticas públicas.⁵ Sin embargo, las investigaciones derivadas de estas divisiones analíticas presentan varias dificultades metodológicas, particularmente cuando alguno de los elementos es asumido con el estatuto de carácter causal del que depende la formación del capital social.

Así, Ostrom y Ahn (2003) señalan las acciones de los colectivos orientados a la conformación del capital social, para ello establecen tres dimensiones analíticas: la minimalista, la transicional y la expansionista. Con la primera

⁴ Ostrom y Ahn (2003). Precisamente Bourdieu es uno de los autores que define el capital social bajo la forma de red más o menos institucionalizada, véase Vargas (2002: 3).

⁵ De hecho, Bourdieu fue de los primeros teóricos que utilizó la noción del capital social bajo un esquema de múltiple influencia en las diversas manifestaciones humanas, sin que ninguna dimensión particular subordinara a las otras (Ostrom y Ahn, 2003; Vargas, 2002).

dimensión explican la organización del capital social que, en forma de redes interpersonales (entre familiares, vecinos y amigos, por ejemplo), favorece la conformación del bien personal y del compromiso comunitario. Ejemplo de ésta son los casos descritos por Hanifan⁶ sobre la satisfacción de necesidades de los individuos (Hanifan, 1920).

Con la dimensión transicional, explican la organización del capital social como un bien público (principalmente, el existente en las instituciones públicas), considerando que el capital social necesita ser movilizado por los colectivos para que el beneficio alcance al conjunto de los individuos. Con la tercera dimensión, la expansionista, manifiestan que el capital social es una forma de organización macrosocial, cuyos beneficiarios directos son la sociedad en su conjunto. Los trabajos de Ostrom (2003), Putnam (2000, 1995) Putnam y Gross (2003) y Bourdieu (1986) son ejemplos de ello.

El hecho de señalar tres dimensiones donde opera el capital social, ha sido útil para que los autores mencionados privilegien alguno de los elementos causales que lo conforman, a saber: las personas, las instituciones y las sociedades. Pero esto ha traído como consecuencia una división de funciones: entre los teóricos del capital social, de acuerdo con su propia disciplina, y los hacedores de políticas públicas (Ostrom y Ahn, 2003).

Esto se expresa en las formas de definir el capital social, en los métodos de investigación utilizados y en las dimensiones de análisis seleccionadas. De ahí resulta que algunos autores, de acuerdo con su propia disciplina, se orienten al estudio de dimensiones más específicas: la psicología y la antropología, a las redes interpersonales; la sociología, a las organizaciones y las estructuras sociales; la ciencia política, a las formas de participación ciudadana y la gobernabilidad.

A pesar de las diferenciaciones disciplinarias y de la separación entre académicos y políticos, algunos autores como Coleman han hecho un esfuerzo por conjuntar la explicación teórica y la toma de decisiones en el estudio del capital social (Coleman, 1988); sin embargo, Coleman solamente ha analizado la funcionalidad del capital social, dejando de lado su proceso de conformación organizacional.

Establecer divisiones entre aspectos teóricos y prácticos presenta un doble problema metodológico: por un lado, resulta confuso explicar cómo las

⁶ De conformidad con Putnam, el término capital social es acuñado por el activista Lyda Judson Hanifan en 1916 (Putnam y Gross, 2003). Luego de no ser empleado por más de 30 años, se retoma para aludir al valor de los vínculos informales a inicios de los años sesenta como noción de capital humano, para medir el valor de las habilidades colectivas de los trabajadores (Field, 2003).

acciones individuales se relacionan con las decisiones políticas que beneficiarían al conjunto de los individuos; por el otro, una vez identificados y separados los elementos del capital social, no resulta claro cómo volverlos a integrar con el objeto de explicar el contenido teórico de la decisiones públicas.

Otra división analítica establecida por Ostrom y Ahn (2003), es la que separa conceptual y analíticamente tres tipos de capital social, a saber: físico, social y humano. Es claro que esta división permite enriquecer el contenido analítico de cada una de las categorías con las cuales se puede conformar la noción del capital; pero al establecer esta división, se dificulta el análisis de casos particulares, dado que en la realidad estos tipos de capital se encuentran imbricados y sólo es posible dar cuenta de ellos a condición de abstraer sus íntimas relaciones con el resto de los tipos.

Es entendible que algunos autores consideren necesario identificar las características propias de cada tipo de capital, pues persiguen el propósito de encontrar las semejanzas y diferencias que posibiliten relacionarlos en una hipotética selección de elementos causales. De esta asimetría analítica resulta el desproporcionado contraste que existe entre las sofisticadas teorías del capital social y los incipientes estudios de casos (Schuller, Baron y Field, 2002).

Ahora bien, Casas, Dettmer y Sampere⁷ han revisado los trabajos que abordan la relación entre capital social e innovación de la cual destacan el texto de Ostrom y Ahn, donde plantean la importancia de desarrollar redes de actores organizacionales en los niveles regional y nacional de investigación y desarrollo (Ostrom y Ahn, 2003: 199-200, en Casas, Dettmer y Sampere, 2004); el de Park (2001), que relaciona los procesos de aprendizaje colectivo y redes de innovación, y la promoción de redes locales y globales de políticas para la innovación; el de Fountain sobre las relaciones de colaboración entre laboratorios, universidades y gobiernos al nivel federal y estatal, con objeto de influir en los beneficios de la colaboración (Fountain, 1997, en Casas, Dettmer y Sampere, 2004); el de Powell, Koput, Smith-Doerr y Owen-Smith (1999) sobre la importancia de combinar ideas, gente y recursos en nuevas formas colaborativas; el de Nielsen (2003), donde se ilustra la relevancia política de las estrategias para mejorar la disponibilidad del capital social para los procesos de innovación mediante instrumentos adecuados (Nielsen, 2003, en Casas, Dettmer y Sampere, 2004); y finalmente, el de Cooke y Wills (1999), donde defienden la importancia de la oportunidad proporcionada a las firmas para vincularse a las redes de innovación externa y constituirse en un marco

⁷ Para profundizar en estos aspectos puede consultarse el texto “Capital colaborativo socio-técnico e innovación antigraffiti” en Arellano (2012).

o base institucional para el aliento del capital social (Cook y Wills, 1999, en Casas, Dettmer y Sampere, 2004).

Estos estudios tienen el mérito de incorporar alguna dimensión social específica en el incremento de valor de la colaboración para el desarrollo de la innovación. Estos trabajos han sido importantes para valorizar la colaboración para la investigación y desarrollo que conduce a la innovación; pero simultáneamente, dejan fuera el papel que juegan los conocimientos y artefactos en la constitución de ese valor colaborativo. Para ello es preciso avanzar en la perspectiva tecnocientífica que sería útil para mostrar el papel de los no-humanos en la constitución de valor de colaboración.

Avanzando en la perspectiva tecnocientífica del valor, debemos decir que el estudio de la acción de los actores en la producción de hechos tecnocientíficos ha sido abordado por la sociología de la traducción (Callon, 1986). Algunas de las principales contribuciones al análisis sobre la confluencia de la identidad de los actores en el proceso de construcción de redes sociotécnicas proviene de Latour, en su clásico estudio sobre la vida del laboratorio (Latour, 1985), y de nuestro propio trabajo, sobre la imbricación de identidad de los actores y contenido social de los aspectos técnico-cognoscitivos (Arellano, 1995).

En este texto habremos de seguir el “método de la traducción”, derivado de la sociología de la traducción (Callon, 1986), que hemos empleado para temas distintos (Arellano, 1995; Arellano *et al.*, 2004); pero en esta ocasión aplicaremos este método al estudio de la construcción de un capital sociotécnico por un grupo de científicos del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM (CFATA). Veremos cómo este grupo de investigación fue cambiando su identidad profesional de la física a la fisicoquímica a medida que, de manera correspondiente, iba fabricando un artefacto de naturaleza híbrida.

Respecto a las divisiones del nivel de análisis del capital social, habremos de señalar que en nuestro caso no es necesario separar las formas de organizar el capital social de acuerdo al tamaño de la red. No consideramos que sea distinto el análisis de una red interactiva pequeña, de una red corporativa o de una red de alcance mundial, ni tampoco que los elementos causales sean distintos para cada una de las formas de red (Arellano *et al.*, 2004).

En este trabajo mostraremos cómo los actores van modificando su identidad profesional concreta que va de la física a la fisicoquímica, y que esta modificación se acompaña de los cambios en el desarrollo cognitivo-técnico, de la forma de organizar la red de investigación (Latour, 1991) y de la vinculación con otros actores; construyendo, por lo tanto, una forma de capital

social en la vertiente de capital sociotécnico.

Respecto a la idea de separar conceptual y analíticamente los tres tipos de capital vistos anteriormente, habremos de proponer que no es necesario establecer *a priori* tal división; más bien, se trata de analizar el proceso de construcción del capital sociotécnico en sus diferentes dimensiones, explicando la participación de los humanos y los no humanos en la construcción de la red. En nuestro caso, se trata de profundizar en el estudio de los colectivos que producen innovaciones tecnológicas, siguiendo la recomendación de Callon, cuando dice que una red es una traducción de entidades diferentes, por la cual un mundo natural y social se forma y se estabiliza (Callon, 1986). En el sentido del capital social convencional, agregamos a ese mundo social los aspectos técnicos que construyen los valores de los actores.⁸

Ahora bien, no sólo se trata de revisar la noción de capital social en una versión de capital sociotécnico como hemos hecho hasta aquí. La cuestión es que la noción de traducción tampoco resulta indemne del proceso de reflexión que hemos realizado; la propia noción de traducción resulta enriquecida cuando sugerimos que la construcción de un artefacto es la construcción identitaria del colectivo que la efectúa. No se trata entonces de un colectivo predefinido e inmóvil, como normalmente ocurre en la conceptualización y descripciones de los trabajos afiliados a la Teoría del Actor-Red sino que, por el contrario, la propia organización social se va modificando en el transcurso y a causa de sus investigaciones.⁹

Etnografía de la innovación y capital social

Nuestra observación etnográfica toma como punto de partida un problema que reúne a físicos y empresarios atraídos por un problema de corrosión que

8 Cabe recalcar que los sociólogos de la traducción no sólo han abordado las investigaciones realizadas sobre las llamadas ciencias básicas. De igual manera, han hecho aportes al tema de la innovación propiamente dicha cuando estos sociólogos han estudiado las innovaciones tecnológicas en laboratorios, hospitales, bancos, etc., dando puntual seguimiento de la innovación tecnológica, con el análisis de las invenciones, de la fabricación industrial y de la adopción de innovaciones por los usuarios.

9 En otras investigaciones se ha criticado la Teoría del Actor-Red el débil peso de los hábitos y tradiciones de los investigadores en el destino de sus pesquisas y de las matrices técnicas expresadas en la materialidad de las trayectorias de las innovaciones y del cambio tecnológico; como lo han ilustrado Bruun y Hukkinen (2003) con un caso de la informatización en Finlandia. Sin embargo, los datos previos de los investigadores y de los anticorrosivos nos impiden mostrar el contenido y peso de la historia de la situación analizada en este estudio.

se presenta en ciertas partes automotrices y que se representa como fenómeno de interés común.

De conformidad con la máxima de seguir etnográficamente a los actores, hemos distinguido en esta historia tres momentos. En cada uno de ellos distinguimos la forma de valorizar socialmente su organización, el cambio de relación de los actores humanos y no humanos y la propia identidad de los actores. En la primera etapa observaremos la construcción de una red de confianza y reciprocidad con la cual unos industriales ponen en escena a los físicos resolviendo un problema de la corrosión. En la segunda etapa analizaremos el proceso de investigación sociotécnica en el laboratorio de investigación, aquí describiremos los cambios disciplinarios producidos en los actores, la división del trabajo académico y la representación conceptual y empírica de la innovación, y la mezcla de identidades de humanos y no humanos surgidos de la innovación en el modelo físico de la corrosión. Finalmente, en la tercera etapa observaremos la expansión de la organización sociotécnica; en este punto describiremos cómo fueron desplazados determinados objetos de conocimiento a escalas ampliadas con una identidad fisicoquímica.

Las preguntas que han orientado nuestra investigación se expresan de la siguiente manera: ¿Se construye valor organizativo sociotécnico en la fabricación de un artefacto? ¿La construcción de una red sociotécnica puede asimilarse a la noción de capital social? ¿Los cambios en la identidad de los investigadores se vinculan con la elaboración de los artefactos? Intentamos responder las tres preguntas dando cuenta de los datos que hemos obtenido de un trabajo etnográfico en un Centro de Investigación en Física Aplicada, en el que de modo particular seguimos la elaboración tecnocientífica de un recubrimiento anticorrosivo.

La puesta en escena de la investigación de la corrosión de piezas automotrices

A comienzos del siglo XXI, investigadores del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM (InvCFATA) fueron invitados por una gran empresa localizada en la ciudad de Querétaro para estudiar y tratar de resolver un problema de corrosión en partes automotrices.¹⁰ En el caso que nos ocupa, se trataba de un problema de oxidación de una carcasa de trans-

10 El lugar donde se presentó la corrosión es una gran empresa metalmecánica ubicada en la ciudad de Querétaro. La empresa fabrica transmisiones automotrices, automáticas y manuales para diversos tipos de autos y camiones.

misión automotriz que si bien no alteraba el funcionamiento mecánico, daba mala impresión a los importadores asiáticos. Cabe notar que esta impresión no se refería a una cuestión estética, sino a la idea de que los materiales empleados en el conjunto del mecanismo tenían mala calidad; dicho de otro modo, se trataba de la afectación de la relación de confianza de los importadores asiáticos en la empresa exportadora mexicana.

El problema por enfrentar consistía en que las carcásas que protegen la parte interna de las cajas de velocidades automotrices sufrían de deterioro en medios altamente salinos, situación que ocurría cuando las carcásas eran transportadas en buques atravesando el océano Pacífico. Al llegar a su destino, las cajas de velocidades eran rechazadas porque presentaban un evidente estado de corrosión, generando, por ese hecho, importantes pérdidas económicas para la empresa de autopartes (Arellano *et al.*, 2004). Después de intercambiar una serie de opiniones sobre la corrosión, los representantes de la empresa y los InvCFATA tuvieron conversaciones en las que fueron estableciendo ciertos acuerdos y compromisos de cooperación, con el objeto de investigar y resolver dicho problema (Castaño, 2003: c.p.).

De entrada, los investigadores y los empresarios valoraron mutuamente sus propias capacidades antes de avanzar en esta interacción: los primeros demostraron poseer un amplio dominio teórico en el estudio de la corrosión; los segundos demostraron poseer un amplio conocimiento de los anticorrosivos existentes en el mercado, debido a que los habían aplicado sin obtener éxito. Cada uno de los grupos reconoció en su contraparte su dominio, los empresarios reconocieron el valor del dominio teórico sobre la corrosión por parte de los investigadores, y los investigadores valoraron el dominio de los productos anticorrosivos disponibles en el mercado.

Ambos grupos de profesionales no sabían hasta qué punto era posible resolver el problema de la corrosión en estas piezas; sin embargo, aceptaron trabajar conjuntamente. A diferencia de aquellos autores que explican el valor de las relaciones de confianza como actos de cooperación exitosa en la asignación de tareas comunes (Ostrom y Ahn, 2003: 188; Martins *et al.*, 2003: 428),¹¹ en nuestro caso, aún era incierta la demostración de esa cooperación, a pesar de que el hecho mismo de la invitación de los empresarios y aceptación de los investigadores evidenciaba que se estaba construyendo una red de confianza y reciprocidad.

Desde este momento puede notarse la inevitable participación de los objetos en las relaciones entre los actores humanos. En el asunto de la “con-

11 Tal es la postura de autores como Martins, Cassiolato y Maciel (Martins *et al.*, 2003).

fianza”, queda claro que no se trata solamente de una relación estrictamente humana que alude a la “esperanza firme o seguridad que se tiene en que una persona va a actuar” (WordReference.com Diccionario de la lengua española, 13/11/2011), sino que ésta tiene un sustento material cuando se alude a “esperanza firme o seguridad que se tiene en que una cosa va a funcionar como se desea” WordReference.com Diccionario de la lengua española, 13/11/2011). En nuestro caso, esto puede apreciarse cuando la evidente oxidación de las carcchas ponía en riesgo la confianza exportador-importador de transmisiones y la relación investigadores académicos-investigadores de empresa.

Así comenzaron las primeras actividades conjuntas de los InvCFATA y los investigadores de la empresa en torno a la corrosión, estableciendo los siguientes acuerdos: la empresa no participaría activamente ni financiaría la investigación, sólo permitiría que los investigadores tuvieran acceso a la empresa para observar los procesos de fabricación, les proporcionaría la información técnica requerida y facilitaría sus cámaras salinas para llevar a cabo las pruebas pertinentes.

Por su parte, los investigadores aceptarían analizar el caso y proponer una solución técnica a la empresa para resolver el problema de corrosión (Castañó, 2003: c.p.). Así inicia la red incipiente de confianza y reciprocidad entre investigadores y empresarios en torno al tema de la corrosión.

Una vez aceptadas las reglas de reciprocidad, los actores se dieron a la tarea de indagar las posibles causas del fenómeno de la corrosión. Para ello, los investigadores del Centro de Investigación desplazaron el problema de la corrosión de la empresa de autopartes al laboratorio de investigación y lo convirtieron de un problema de corrosión de carcchas a un problema de la física de la oxidación.

Ya en su laboratorio, los investigadores comenzaron por analizar el agua utilizada para lavar las transmisiones. Querían saber si el agua presentaba minerales que pudieran ser la causa de la corrosión. Asimismo, llevaron al laboratorio muestras de los protectores anticorrosivos comerciales empleados por la empresa. Desde la óptica científica, volvieron a revisar los artículos de investigación que ellos mismos habían publicado sobre el tema de la corrosión y ampliaron sus búsquedas bibliográficas. En otras palabras, el problema de la corrosión de carcchas fue abstraído para abordar el problema científico de la corrosión.

El modelo teórico que habían utilizado hasta entonces seguía el camino convencional del análisis en física de la oxidación de los metales, mismo que implicaba la recomendación de crear una barrera física para obstaculizar en la medida de lo posible y retardar el acceso del oxígeno al metal objeto de pro-

tección (Arellano *et al.*, 2004). En este punto se anexa la literatura que habían producido los investigadores y que corrobora la utilización de la barrera física sustentada en su modelo teórico (véase Cuadro 1¹²).

Los InvCFATA constataron que los recubrimientos anticorrosivos disponibles en el mercado se sustentaban en el modelo de la barrera física; se trataba de productos que agregaban más barreras físicas y más reforzamiento de las paredes con el objeto de evitar el contacto del oxígeno con los metales. Consecuentemente, aunque se tuviera una barrera física perfectamente lisa, a nivel microscópico bastaría con que se tuvieran hoyos, en escala nano, para permitir la entrada del oxígeno y producir la corrosión.

Para los InvCFATA había dos opciones: o se trataba de continuar la ruta de desarrollar nuevas barreras físicas, o de cambiar de modelo, buscar otras alternativas fuera de la Física y, por ende, redefinir su identidad profesional en tanto que físicos de tiempo completo.

El problema de la corrosión de carcásas había sido irremediablemente modificado. Sin una solución a la mano, los actores se habían comprometido entre ellos en una relación de confianza en la búsqueda de una solución particular de la empresa y científica de los InvCFATA. Así termina esta primera etapa con la evaluación de la cadena de actores involucrados en el fenómeno de la corrosión: el agua, los protectores anticorrosivos, el modelo teórico sustentado en la barrera física anticorrosiva e investigadores perplejos ante la búsqueda de soluciones.

La organización empresa-centro de investigación tomaba forma potencial de red, pues los científicos tenían la ocasión de revalorar su trabajo no sólo como científicos de la llamada ciencia básica, sino que estaban en la posibilidad de resolver problemas “reales” y “sentidos por la industria”. Pero también la empresa podría tomar aliento de la colaboración con la Universidad al dar ocasión a los científicos para replantear los problemas científicos de la oxidación como fenómeno “universal”. Dicho desde la perspectiva del capital social, ambos actores estaban en una situación organizativa que los potenciaba, a raíz de sus acuerdos racionales de colaboración.

La innovación en el modelo de la corrosión y cambios en la identidad de los actores

Hasta este momento hemos analizado el origen de la red de confianza y reciprocidad entre investigadores y empresa. Observamos cómo los investiga-

12 Todos los cuadros se localizan al final del presente documento, en el Anexo (N. del E.).

dores fueron involucrados por los empresarios en el tema de la corrosión de piezas automotrices. Posteriormente, describimos las reglas establecidas entre las entidades y el desplazamiento al laboratorio de ciertos objetos insertos en el estudio de la corrosión (el agua de lavado de piezas, el análisis de los protectores anticorrosivos comerciales y la revisión del modelo de la barrera física).

El hecho de seguir desarrollando una barrera física contra la corrosión hacía imposible encontrar algo novedoso (Arellano *et al.*, 2004). Si bien las cuestiones que planteaba la barrera física eran estratégicas frente a lo que existía en el mercado de los anticorrosivos, las limitaciones de la barrera física planteaban a los investigadores una pregunta relevante de investigación: ¿Es posible construir otro tipo de barrera que con menor presupuesto implique una protección corrosiva más eficiente?

Frente a este dilema conceptual, los investigadores se interrogaron sobre la posibilidad de producir otro modelo teórico alterno. Si los investigadores fueran capaces de establecer otra estrategia, entonces podrían ser capaces de proponer otra fórmula teórica y ser competitivos frente a las grandes empresas que controlaban el mercado de los anticorrosivos. Así pues, los investigadores tenían que superar su propio modelo teórico de la física de la corrosión, con lo cual se posibilitaría la fabricación de un protector anticorrosivo de menor costo y de mejor rendimiento y calidad.

Los investigadores reconocían la imposibilidad de evitar el fenómeno universal de la oxidación pero consideraron que si, *grosso modo*, la “barrera” fuese química habría más posibilidades de retardar la corrosión (Castaño, 2003: c.p.; Arellano *et al.*, 2004).

Para resolver la pregunta anterior, los físicos se vieron ante la necesidad de redefinir el dominio de la física de la corrosión y temporalmente transformarse en químicos o más bien en fisicoquímicos. Durante un año, los investigadores se dedicaron a la construcción de un modelo químico de protección anticorrosiva. A diferencia de la primera etapa, en la cual los InvCFATA pasaron del fenómeno de la corrosión como un problema industrial concreto a la reflexión crítica del modelo teórico, esta segunda etapa se constituyó a la inversa: los fisicoquímicos pasaron de la formulación teórica del dispositivo químico a la materialización de un artefacto anticorrosivo.

Para llevar a cabo esto, al interior del laboratorio de investigación los InvCFATA establecieron una división interna de trabajo: investigadores teóricos y experimentales. Cada uno de ellos se asignó tareas particulares. Por un lado, los teóricos trabajando en la formulación del modelo de recubrimiento químico; por otro, los experimentales tratando de materializar el acoplamiento químico.

Aquí es importante señalar que la división de investigadores teóricos y experimentales ocurre de modo *situado etnometodológicamente*; esta división no es definitiva ni absoluta, pues constituye un arreglo organizativo para mejorar la eficacia del grupo. Se trata, sin duda, de una forma de colaboración sustentada en la confianza y retroalimentación mutua; es una forma de valorizar la organización de la academia para resolver ciertos problemas comunes. Desde la óptica del capital colectivo, esta organización de la investigación creaba una constelación de confianza entre un equipo de investigación que obtenía valores dependiendo de sus logros colectivos.

Las actividades de los investigadores se encaminaron a darle forma teórica y empírica al acoplamiento químico. Sus prácticas de investigación consistieron en mezclar dos componentes de naturaleza aparentemente opuesta: uno orgánico y otro inorgánico, dando lugar a un polímero-cerámico;¹³ en sí mismo, cada componente presentaba sus propias cualidades materiales (Castaño y Rodríguez, 2003: c.p.). Los investigadores hicieron un compuesto donde el elemento cerámico es un material capaz de resistir altas temperaturas y radiaciones ultravioleta, pero su principal debilidad es ser frágil y de fácil ruptura; por su parte, el polímero es demasiado flexible y resistente, pero no tolera las altas temperaturas.

Así pues, los investigadores experimentales necesitaron trabajar con las cualidades de ambos componentes mediante la mezcla de varios tipos de dichos materiales para reunir las cualidades de ambos e inhibir las debilidades existentes. En sus experimentos produjeron un nuevo material polímero-cerámico que empezaba a cumplir con los fines deseados por el grupo de investigación.

En experimentos posteriores comenzaron a construir un material denominado de acoplamiento (Castaño y Rodríguez, 2003: c.p.). El acoplamiento sería el dispositivo que posibilitaría la mezcla de los componentes poliméricos y cerámicos; además sería el componente que sellaría el paso del oxígeno en la superficie recubierta, cumpliendo la hipótesis de investigación establecida al inicio de esta fase.

El término acoplamiento significó el logro que les permitió abandonar la idea de barrera. Este último proviene del modelo de la física de la corrosión, mientras que el primero viene de la fisicoquímica de la corrosión que estaban poniendo en forma. De este modo, la huella lingüística quedaba acuñada en el término acoplamiento polímero-cerámico.

13 Desde la década de 1950, los polímeros-cerámicos se han utilizado en la industria de los “capacitores”, debido a las propiedades dieléctricas o como implantes usados en la biomedicina.

Para estabilizar toda la mezcla, el material recibió un tratamiento térmico exagerado (250°C) para conocer que no sufriría alteración ni degradación. Las virtudes halladas en el agente acoplador consistieron en unir el polímero y el cerámico sin generar segregación ni separación entre ellos. Este agente acoplador era un elemento acrílico hecho con sílices. Durante las actividades de investigación enfrentaron varios problemas: no romper la cadena química de los materiales, establecer diferentes fuerzas moleculares para cada material, dejar libres los radicales y formar grupos químicos activos.

Una vez concluido el estudio de la funcionalidad se procedió a la unión de los materiales con las cantidades exactas según las posibles aplicaciones al material sujeto a protección, sea: por inmersión del objeto en la mezcla, por brocha sobre el material y por pistola aspersora del material.

La siguiente actividad de investigación fue la obtención de un primer prototipo de recubrimiento, después se encaminaron a la puesta en acción de rutas de aplicación. Ensayaron la aplicación sobre metales, maderas, dientes y otros objetos para probar su eficacia. En cada caso realizaron los ajustes correspondientes en la composición de la mezcla. La asignación de las rutas de aplicación iba mostrando la capacidad técnica y social que poseía el recubrimiento químico (Castaño y Rodríguez, 2003: c.p.).

Una vez que el dispositivo pasó por una serie de rutas de aplicación, los investigadores experimentales consideraron que el recubrimiento polímero-cerámico había sido estabilizado, logrando la unión de la cerámica, el polímero y el agente acoplador. Para los *experimentales* la noción de funcionalidad mostraría que las partículas de los materiales lograban unirse; así se obtuvo el primer prototipo del polímero cerámico anticorrosivo (Estévez *et al.*, 2003).

Ahora, habría que describir la identidad del polímero cerámico anticorrosivo y de su funcionamiento. Para ello se utilizaron determinados aparatos de observación (principalmente el microscopio electrónico), fueron producidos y procesados los diversos datos mediante técnicas estadísticas y gráficas, con los cuales se estimaron cuantitativamente los siguientes criterios: capacidad de reacción de los compuestos, deformaciones de los materiales, grado de distribución de las partículas y eficiencia de los desempeños comprometidos (Castaño y Rodríguez, 2003: c.p.).

Al final de esta etapa, la confianza en el grupo de investigación se vio acrecentada y esto tenía como base el propio desempeño logrado en la conceptualización y diseño empírico del recubrimiento químico anticorrosivo.

El producto fue empleado por la industria de autopartes que había planteado el problema de corrosión de las carcasas aplicando el producto desa-

rrollado, evitando así la corrosión de las carcasa y la fuente de problemas entre exportadores mexicanos e importadores asiáticos. Los investigadores de CFATA habían resuelto de modo concreto un problema industrial gracias al giro en la investigación científica de la oxidación, mediante el concepto de acoplamiento químico anticorrosivo. La confianza entre empresa e investigadores había permitido el desarrollo de un artefacto que los vinculaba con mayor fuerza.

Sin embargo, para la industria el problema de las carcasa corroídas aunque era crucial para la exportación, no representaba un gran consumo del producto, haciendo inviable económicamente su producción en gran escala. De este modo, la escala de la confianza se ajustaba a la medida de la circulación del propio producto. Mientras tanto, el recubrimiento químico anticorrosivo tomaría otros caminos de desarrollo.

Expansión de la organización sociotécnica anticorrosiva

Desde la perspectiva científica, el trabajo realizado en la etapa anterior permitió a los investigadores redactar un par de artículos científicos, mostrando la efectividad del concepto *recubrimiento químico anticorrosivo*. Los científicos se dieron a la tarea de volver a reafirmar su identidad de académicos ante la empresa en una relación que los colocaba como artífices de un recubrimiento anticorrosivo potencialmente convertible en mercancía. De eso trataremos en esta tercera y última etapa de análisis.

En este nuevo movimiento, los investigadores recurrieron a empresarios de la localidad con objeto de generar confianza en el mundo de la industria, así como generar una mercancía. Para llevar a cabo ambos movimientos, los investigadores identificaron al propietario de una pequeña empresa de la localidad con el cual emprendieron la construcción de otra red de confianza y reciprocidad. Los investigadores le asignaron a ese pequeño empresario las siguientes reglas informales: él mantendría la confidencialidad de la fórmula, mezclaría los componentes y elaboraría un plan de escalamiento industrial. Asimismo, el pequeño empresario trataría de industrializar el prototipo para transformarlo en mercancía.

Durante varios meses el pequeño empresario local intentó lograr la transformación del artefacto en mercancía; sin embargo, no lograba estabilizar técnicamente el producto. Así, los InvCFATA comenzaron a negociar la explotación y distribución del artefacto con empresarios que controlan el mercado nacional de los recubrimientos. En el año 2004, los investigadores

conversaron con los representantes de una gran empresa especializada en pinturas y recubrimientos.

Paralelo a las actividades empresariales, los investigadores incorporaron a su capital sociotécnico a las autoridades jurídicas de la universidad. Ellos querían proteger la propiedad del material híbrido. Los investigadores y las autoridades de la universidad aceptaron mantener la confidencialidad del polímero cerámico anticorrosivo, respetando la manipulación de la fórmula por parte de los investigadores, así como transferir la fórmula a la gran empresa para su futura explotación comercial. Por su parte, las autoridades se encargarían de cobrar las regalías por el uso comercial del producto industrial. Los investigadores, ya en su carácter de empresarios, recibirían más apoyos económicos para la realización de otros proyectos de investigación.

Al finalizar el año 2004, apareció a la venta el polímero cerámico anticorrosivo, denominado *PROTEXIS-UNAM*. En el corto plazo, la gran empresa se vio favorecida con este producto y los investigadores también se vieron beneficiados al recibir apoyos económicos para continuar investigando otras aplicaciones del recubrimiento.¹⁴

Durante los años 2003 y 2004 los investigadores divulgaron en revistas científicas internacionales el modelo del acoplamiento químico, publicaron cuatro artículos científicos en revistas internacionales (véase Cuadro 2); asesoraron tres tesis de grado¹⁵ en la anticorrosión a nivel nanotecnológico,¹⁶ de recubrimientos híbridos y de recubrimientos cerámicos,¹⁷ y crearon una nueva línea de investigación en el CFATA, denominada: Recubrimientos Cerámicos de Alta Dureza.

14 Piezas metálicas, mejora de las propiedades mecánicas y de resistencia a la intemperie de placas de Poli-Propileno cargadas con partículas de madera, recubrimiento antioxidante para piezas de plata, recubrimiento protector contra radiación ultravioleta, recubrimiento antigraffiti corrosivo, recubrimiento protector para electrodos de soldadura eléctrica, recubrimiento para esmalte dental, recubrimiento para endurecer vidrio de botella.

15 Georgina Carvajal de la Torre (2002), “Síntesis y caracterización de nanopartículas de sílice-alúmina para producir recubrimientos anti-corrosivos”. Tesis de Doctora en Ciencia de Materiales presentada en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

16 Tesis de Miriam Rocío Estévez González (2002), “Síntesis y caracterización de un recubrimiento híbrido a base de pmma-SiO₂ resistente a la corrosión y abrasión”. Tesis de Doctora en Ingeniería presentada en la Universidad Autónoma de Querétaro.

17 Tesis de Agustín de la Isla León (2002), “Desarrollo de recubrimientos cerámicos de alta dureza para uso dental”, Tesis de Doctor en Ciencia e Ingeniería de los Materiales presentada en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

El grupo de investigadores ganó un gran prestigio y reconocimiento nacional e internacional, debido a los desarrollos logrados en este campo de la anticorrosión y otros recubrimientos,¹⁸ incrementando la confianza en su institución, en sus relaciones con las empresas y con otros colegas del equipo de investigación. Es importante recalcar que todo este capital social-técnico tuvo como correlato un capital anticorrosivo-social y que ambos fueron construidos en procesos simultáneos de colaboración e investigación.

Conclusiones

Definido el capital social como un tipo de organización en forma de red social, varios teóricos se dieron a la tarea de explicar las acciones de los individuos, la satisfacción de las necesidades sociales y los compromisos comunitarios y democráticos de los colectivos. Sin embargo, encontramos en la literatura ciertas dificultades metodológicas que no permiten analizar simultáneamente la acción técnica de los actores y el papel activo de los no humanos.

El punto central es que en la revisión de literatura hallamos delimitadas fronteras entre los tipos de capital y los prototipos de redes sociales de acuerdo al nivel de análisis micro, meso o macro de acción de los agentes.

Por nuestra parte, hemos utilizado la noción de capital sociotécnico, definido como una forma de organización construida por humanos y no humanos, para explicar la acción de los actores en la elaboración de un artefacto inédito que modificaba su identidad en cada logro de investigación. Inspirados en la sociología de la traducción, hemos realizado un estudio etnográfico con el objeto de mostrar y explicar la producción simultánea de hechos científicos y artefactos tecnológicos, proponiendo además que la fabricación de materiales de naturaleza híbrida se expresa también en la transformación de la identidad de los investigadores.

El estudio etnográfico sobre la fabricación de un polímero cerámico anticorrosivo nos ha permitido analizar la construcción del capital sociotécnico como un proceso en tres fases. Primero, ubicados en el problema de corrosión planteado por una empresa, un grupo de científicos analizaron en detalle las consecuencias de abordar la corrosión como una barrera física; enseguida, innovando y desarrollando un acoplamiento químico anticorrosivo que resolvió el problema de una empresa construyendo relaciones de confianza entre los investigadores involucrados y entre ellos con la empresa; y finalmente, el problema planteado ha servido para que los investigadores reformulen el

18 Véase la elaboración de antigraffitis en Arellano (2012).

enfoque de la investigación en corrosión, publiquen en redes internacionales de estudios sobre corrosión e indaguen sobre la posibilidad de transformar su innovación en una mercancía.

Asimismo, la descripción etnográfica de la acción de los actores nos ha permitido explicar que la construcción del capital social tiene en el mundo de la investigación un sustento técnico; es decir, mediante la descripción de la acción y el discurso de los actores, analizamos las redes de confianza y reciprocidad, las reglas informales y, sobre todo, las redes de expansión internacional con las cuales los actores iban concentrando y acumulando su propio capital sociotécnico. En cada una de las fases descritas fue importante señalar el cambio de identidad de los actores humanos y no humanos: para la fabricación del protector anticorrosivo, la producción del modelo de recubrimiento químico y la transformación de la identidad de los profesionistas.

Finalmente, el hecho de explicar la organización del capital como una red sociotécnica ha sido más enriquecedor que explicar el capital exclusivamente como una red social, como convencionalmente lo explicitan los autores del capital social. Sin establecer divisiones ni recortes metodológicos previos entre tipos de capital y tipos de redes de acuerdo al nivel de acción de los actores, las diferencias entre ambos modelos son las siguientes: no se parte de ningún a priori sobre la conformación del capital; se sigue a los actores en sus propias actividades, se integra al análisis de las redes sociotécnicas el cambio de identidad tanto de los humanos como de los no humanos.

Inversamente, la organización de los investigadores muta con la progresiva modificación de la naturaleza de los materiales, no ocurre como con la estandarizada TA-R en la que los actores humanos construyen redes; por el contrario, ellos mismos se están modificando en su organización y su representación identitaria. Explicar la elaboración sociotécnica de una innovación nos ha permitido explicar los cambios en la organización social y con ello cerrar el círculo explicativo del capital sociotécnico como un valor que descansa en la elaboración simultánea de valor técnico y social, tal y como se anunció en nuestra definición inicial.

Bibliografía

- Arellano Hernández, Antonio (1995), *L'hybridation du maïs et des agriculteurs dans les Hautes vallées du Mexique, la production des objets techniques agricoles*. Thèse de doctorat, Québec: Université Laval.
- Arellano Hernández, Antonio (2012), “Capital colaborativo socio-técnico e innovación antigraffiti”, en *Revista Mexicana de Sociología*, vol. 74, núm. 1, enero-marzo, México, DF.

Laura María Morales-Navarro y Antonio Arellano-Hernández. *La construcción de capital sociotécnico: fabricación de materiales híbridos y transformaciones profesionales*

- Arellano Hernández Antonio, Ortega Ponce Claudia y Martínez Miranda Rubén (2004), “¿Es global o local la investigación? La proliferación situada de polímeros, transgénicos y colectivos”, en *Convergencia, Revista de Ciencias Sociales*, año 11, núm. 35, mayo-agosto, México-Brasil: UAEM, Coedición Universidad Estadual de Campinas y Departamento de Política Científica e Tecnológica.
- Bourdieu, P. (1986), “The forms of capital”, en J. Richardson [ed.], *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*, New York: Greenwood.
- Bruun y Hukkanen (2003), “Crossing boundaries: An integrative framework for studying technological change”, en *Social Studies of Science*, vol. 33, núm. 1, Boston: Sage.
- Callon, Michel (1986), “Éléments pour une sociologie de la traduction”, en *L'Année Sociologique*, París: PUF.
- Coleman, James Samuel (1988), “Social Capital in the Creation of Human Capital”, en *American Journal of Sociology*, vol. 94, Supplement: Organizations and Institutions: Sociological and Economic Approaches to the Analysis of Social Structure.
- Estévez Miriam et al. (2003), “Hybrid ceramic-polymer coating used to protect metallic surfaces against corrosion”, en *International Journal of Polymeric Materials*, vol. 52, núm. 9, Philadelphia: Publisher Taylor & Francis.
- Field, John (2003), *Social Capital*, London: Routledge.
- Latour, Bruno (1991), *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie sysmétrique*, París: La découverte.
- Martins Lastres Helena María, Cassiolato José Eduardo y Maciel María Lucía (2003), *Pequena Empresa. Cooperacão e Desenvolvimento Local*, Río de Janeiro: Relume Dumará.
- Nielsen, Klaus (2003), “Social capital and the evaluation of innovations policies”, en *International Journal of Technology Management*, vol. 26, núm. 2-4, Geneve: InderScience Publishers.
- Ostrom, Elinor y Ahn, Toh-Kyeong (2003), “Una perspectiva del capital social desde las ciencias sociales: capital social y acción colectiva”, en *Revista Mexicana de Sociología*, año LXV, núm. 1, enero-marzo, México: UNAM.
- Park, Sam-Ock (2001), “Regional innovations strategies in the knowledge-based economy”, en *Geojournal*, enero, vol. 53, núm. 1, Wiesbaden.
- Putnam, Robert (1995), “Bowling Alone: America's Declining Social Capital”, en *Journal of Democracy*, enero, vol. 6, núm. 1, Washington: The Johns Hopkins University Press.
- Putnam, Robert (2000), *Bowling Alone: The collapse and revival of American community*, New York: Simon and Schuster.
- Putnam, Robert y K. A. Gross (2003), “Introducción”, en Putnam, Robert [ed.], *El declive del Capital Social. Un estudio internacional sobre las sociedades y el sentido comunitario*, Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- Schuller Tom, Baron Stephen y Field John (2002), “Social Capital: A Review and Critique”, en Baron Stephen, Field John y Schuller Tom, *Social Capital, critical perspectives*, Oxford: Oxford University Press.
- Vargas Forero, Gonzalo (2002), “Toward a Theory of Social Capital”, en *Revista de Economía Institucional*, vol. 4, núm. 6, Colombia: Universidad Externado de Colombia.

Woolcock, Michael (1998), "Social capital and economic development: Toward a theoretical synthesis and policy framework", en *Theory and Society*, vol. 27, núm. 2, St. Louis, USA: University of Missouri.

Recursos electrónicos

Latour, Bruno (1985), "Dadme un laboratorio y levantaré el mundo". Disponible en: www.oei.org.co/cts/latour/htm (07 de noviembre de 2011).

WordReference.com Diccionario de la lengua española [13 de noviembre de 2011].

Comunicaciones personales

Castaño, Meneses, Víctor Manuel. 2003.

Rodríguez, Talavera, Rogelio 2003.

Anexo

Cuadro 1

Producción escrita de los investigadores relacionada con el tema de la corrosión

| Año | Autores | Título |
|------|--|--|
| 1991 | Aguirre y Castaño | Diseño y construcción de un dispositivo para evaluar corrosión en construcciones de concreto con refuerzo metálico |
| 1991 | Aguirre y Castaño | Corrosion monitoring by using a semi-automated electro-chemical half-cell (conferencia invitada) |
| 1992 | Castaño | Recubrimientos poliméricos |
| 1993 | Castaño | Espectroscopía Raman aplicada a corrosión |
| 1994 | Castaño | Curso "Principios de corrosión y electroquímica y su aplicación a estomatología" |
| 1995 | Carpio, Parra, Martínez, Mondragón y Castaño | Scanning electron microscopy and infrared spectroscopic analysis of marine atmospheric corrosion products of steel |
| 1996 | Hernández, Caballero y Castaño | Use of a fiber microconcrete as a corrosion protection method |
| 1997 | Caballero, Gaitán, Hernández y Castaño | Preparation of a microfibre-modified, corrosion resistant hydraulic concrete |

| Año | Autores | Título |
|------|---|---|
| 1998 | Sánchez, Caballero, González, Cano y Castaño | Correlación de resistencia residual y protección anticorrosiva del acero de refuerzo embebido en probetas de morteros reforzados con fibra y ceniza volante |
| 1999 | Carrión, Hernández, Martínez, Herrera, Lozano y Castaño | Corrosion behavior of prestressed steel-reinforced structures |
| 2000 | Herrera, Alcántara, Hinojosa y Castaño | Studies on the corrosion resistance of various copper alloys |
| 2000 | Caballero, Sánchez, Cano, González y Castaño | On the effect of fly ash on the corrosion properties of reinforced mortars |
| 2001 | Carvajal, Martínez, González y Castaño | Corrosion-resistant coatings: a nanotechnology approach |
| 2001 | Carvajal, Espinosa, Martínez y Castaño | Corrosion properties of ceramic coatings on low carbon steel |
| 2002 | Carvajal, Nava, Espinosa, Martínez, González y Castaño | Corrosion protection of 1008 carbon steel by hybrid coatings |

Fuente: Elaboración propia a partir de los informes de investigación del Instituto de Física de la UNAM.

Cuadro 2

Publicaciones relacionadas con el polímero cerámico anticorrosivo

| Año | Autores | Título |
|------|---|---|
| 2003 | Estévez, Vargas, Rodríguez, Castaño, Rodríguez | Hybrid ceramic-polymer coating used to protect metallic surfaces against corrosion |
| 2003 | Estévez, Vargas, Rodríguez, Castaño, Rodríguez | Corrosion resistance of $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ and $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-pmma}$ coatings produced by the sol-gel process on 316 stainless steel |
| 2004 | Rosas, Castaño | Aqueous nanoemulsions in fuels: a corrosion study |
| 2004 | Martínez, Pérez, Velasco, Torres, Alonso, Martínez, Castaño | Evaluation of the environmental corrosion effect on the reinforced bars un hydraulic concrete |

Fuente: Elaboración propia.

Laura María Morales Navarro. Licenciada en Psicología por la Universidad Autónoma del Estado de México y Maestra en Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología por la Universidad de Lancaster. Candidata a Doctora por la Universidad de Lancaster. Línea de investigación: sociología médica. Publicación reciente: junto con Antonio Arellano, “Ética e investigación; hacia una política de integridad tecnocientífica”, en *REDES* (Revista de Estudios Sociales de la Ciencia), núm. 22, vol. 11, Editorial Universidad Nacional de Quilmas (2005).

Antonio Arellano Hernández. Doctor en Filosofía por la Universidad Laval. Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de México. Líneas de investigación: epistemología y tecnologías sociales, y antropología de la tecnociencia. Publicaciones recientes: coordinador del libro *Tramas de redes sociotécnicas. Conocimiento, Técnica y Sociedad en México*, México: Porrúa-UAEM (2011); coordinador junto con Pablo Kreimer del libro *Estudios Ciencia-tecnología-sociedad desde Latinoamérica*, Colombia: Siglo del Hombre (2011); “Representación matemática de una terapéutica: circulación de inscripciones tecnocientíficas en el tratamiento de la litotripsia extracorporal”, en *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* vol. 18, núm. 3, Río de Janeiro (2011).

Recepción: 25 de noviembre de 2011.

Aprobado: 26 de agosto de 2012.