



La integración de redes de cooperación científica y tecnológica en nanociencias y nanotecnología: el rol de las diásporas científicas⁺

Eduardo Robles-Belmont *

Rebeca de Gortari Rabiela **

Resumen

En este artículo analizamos las dinámicas de constitución de la red internacional en bio nanotecnología, organizada a partir de la iniciativa de una de las expatriadas científicas de la ex URSS, que fueron acogidos en el Centro de Nanociencias y Nanotecnologías de la Universidad Nacional Autónoma de México. Para abordar la conformación y desarrollo de esta red - conocida como Bionn-, partimos de los conceptos de redes de cooperación y de diásporas científicas y técnicas

⁺ Los autores agradecemos a los miembros de la Red Temática Conacyt “Red Internacional de Bionanotecnología con Impacto en Biomedicina, Alimentación y Bioseguridad” (Red Bionn) por su disposición a recibirnos como observadores y responder a nuestras solicitudes para entrevistarlos.

* Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, DMMSS, Laboratorio de Redes. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Correo electrónico:

eduardo.robles@iimas.unam.mx

** Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Correo electrónico: rebeca.degortari@gmail.com

organizadas alrededor de un proyecto de aplicaciones de nanopartículas de plata. Los resultados muestran la trayectoria de la red, desde sus orígenes pasando por la construcción de un espacio científico común apoyado en la cooperación entre grupos y equipos, hasta su traducción en resultados como son las aplicaciones para la salud humana y animal, así como su comercialización.

Palabras clave

REDES CIENTÍFICAS, NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍAS, DIÁSPORAS CIENTÍFICAS

Introducción

En México, la producción de conocimiento en el campo de la nanotecnología se lleva a cabo principalmente en las universidades y centros de investigación, y en menor medida en las empresas (Appelbaum *et al.*, 2016). En dicho proceso, la formación de redes a nivel nacional y su conexión a redes transnacionales es cada vez más significativa (Suarez, 2013). La organización de las redes de cooperación científica y técnica internacionales se integran y articulan a través de intermediarios intercambiables entre actores como son las habilidades tácitas, científicas, técnicas y organizacionales; los instrumentos de laboratorio, materiales y documentos; así como de recursos financieros de diversos fondos (Vinck *et al.*, 1993). Es decir, son sistemas emergentes autoorganizados donde la selección de los socios y la ubicación de la investigación depende de las decisiones e interés de los propios investigadores para vincularse en busca de recompensas, reputación y recursos ofrecidos por una red de colaboración, en lugar de emerger a cambio de incentivos o limitaciones. Cuyo crecimiento se debe más a una dinámica creada por los propios

intereses científicos individuales, que a factores estructurales, institucionales o relacionados con las políticas (Wagner and Leydesdorff, 2005). De ahí que la colaboración se establezca entre grupos a través de la elección de los socios, la definición de actividades y la elaboración de modos de regulación de manera de crear un espacio científico común (Vinck, 2017).

En el campo emergente de la nanotecnología, los avances logrados a nivel global, han tenido en países como México una importancia cada vez mayor, reflejada en el número de publicaciones, estudios especializados, institutos y centros de investigación, incluso patentes donde se han abierto áreas dedicadas a estas disciplinas, así como el establecimiento de laboratorios y *spin off* (Foladori *et al.*, 2015, 2018; Appelbaum *et al.*, 2016). Ello a pesar de la ausencia de una iniciativa nacional como los programas que existen en otros países desarrollados y emergentes, en donde el rol que han jugado los científicos y actores políticos sobre el potencial de las nanotecnologías ha permitido que se utilicen los programas públicos disponibles para desarrollar sus capacidades científicas y tecnológicas (Robles-Belmont and De Gortari Rabiela, 2014). Además, ha sido fundamental, el papel que han desempeñado las redes transnacionales para paliar la insuficiencia de la infraestructura tecnológica y científica (Robles-Belmont, 2009). En donde es necesario tener en consideración que las actividades en nanotecnología son multi situadas (Pérez-Martelo and Vinck, 2009), y en ese sentido se contextualizan permanentemente en ámbitos locales y globales, es decir se configuran a partir de los contextos en donde son creadas, extendidas y limitadas. Partiendo de estas observaciones, avanzamos la pregunta sobre ¿cómo se ha ido configurando la dinámica de las redes de cooperación científica y técnica en el campo emergente de las nanociencias y nanotecnologías? En el caso de las nanociencias y

nanotecnologías es difícil hablar de una sola dinámica, incluso sería ingenuo, ya que se trata de un campo emergente que es transversal a prácticamente todos los sectores tecnológicos e industriales. Sin embargo, en el caso del sector salud se han caracterizado algunos elementos del perfil de este campo emergente en México que nos permiten tener una base de partida (Robles-Belmont *et al.*, 2017).

En este artículo nos interesa estudiar las dinámicas de una red de colaboración científica y tecnológica en el campo de la bio nanotecnología. Se trata de la Red Internacional de Bio nanotecnología (Bionn) encabezada por investigadores del Centro de Nanociencias y Nanotecnologías (CNyN) de la Universidad Nacional Autónoma de México, localizado en la ciudad de Ensenada, Baja California. La red Bionn se ha caracterizado por sus actividades en el desarrollo de aplicaciones médicas, veterinarias y agrícolas con nanopartículas de plata. La red es de carácter internacional y ha llamado nuestra atención por su dinamismo en términos de productividad científica, de contactos tanto nacionales como internacionales, así como en la formación de recursos humanos. Es de resaltar que, en la cúpula organizativa de la red Bionn, uno de los actores científicos centrales es parte de la diáspora científica rusa en México y se mantienen relaciones estrechas con actores científicos de Rusia, y se ha extendido a otros países. Esto igualmente ha llamado nuestra atención en el análisis de la trayectoria de la red y surge la pregunta sobre cuál ha sido el rol de la diáspora científica en el desarrollo de esta red. Para analizar la trayectoria de esta red utilizamos en este trabajo el marco teórico de las redes de cooperación científicas y técnicas y de las diásporas científicas.

El artículo está conformado por seis secciones, además de esta sección introductoria. En la primera sección, exponemos el marco teórico sobre las diásporas científicas y las redes de cooperación científica y técnica, que encontramos útiles

para abordar la trayectoria de la red Bionn. Enseguida, exponemos algunos elementos del enfoque metodológico del estudio. En la tercera sección, analizamos por qué la utilización de las nanopartículas de plata constituye el proyecto que articula la colaboración y las relaciones entre el país de origen de la diáspora y el contexto local. Posteriormente, en la cuarta sección, describimos el origen de la red en torno a las aplicaciones de las nanopartículas de plata y las colaboraciones que han dado forma a la red Bionn a través de la articulación, cooperación e integración de actores y de agentes mediadores del conocimiento para caracterizar cómo ocurre esta dinámica sociotécnica. La quinta sección se centra en dos líneas de investigación que han permitido la aplicación de las nanopartículas de plata en la salud humana y animal, y la articulación de especialistas en transferencia de conocimientos e innovación para buscar la comercialización de productos basados en las aplicaciones desarrolladas. Finalmente, algunas reflexiones de este estudio son expuestas como conclusiones del texto, en donde resalta la utilidad de los conceptos antes mencionados.

De las diásporas científicas en las redes de colaboración científica y técnica

En el contexto de la emergencia de nuevas ciencias y tecnologías en las últimas décadas, las redes de colaboración científica y técnica han tenido un papel cada vez más central en diferentes niveles, como lo mencionamos en la parte introductoria. En estos procesos de intercambio e interacción y de conformación de estos nuevos espacios, ha sido reconocido el valor de la cooperación internacional y la intervención de las diásporas científicas y técnicas como actores relevantes. En ese mismo sentido algunos autores hacen referencia a la posibilidad de sacar provecho

de la circulación del conocimiento (*brain gain*) (Meyer and Charum, 1995; Gaillard, 1999; Meyer, Kaplan and Charum, 2001; Barré *et al.*, 2003; Tejada, 2012a).

Como ha sido señalado por varios autores, si bien el fenómeno de expatriación y circulación internacional de competencias data de fines de 1950, ha cobrado importancia en nuevas formas a causa de la globalización que ha implicado intercambios de todo tipo; de la misma manera que el aumento del papel del conocimiento especializado como factor de producción. Los que en conjunto generan nuevas lógicas de circulación, en la medida en que los espacios donde pueden aplicarse están segmentados por obstáculos como las fronteras nacionales y geográficas, pero también por la falta de consolidación del medio académico científico y técnico de un país para retener o llamar a investigadores e ingenieros. Hay que señalar que en el caso de la diáspora científica rusa “correspondió a circunstancias históricas únicas como consecuencia de la desintegración de la Unión Soviética y en su lugar, la formación de nuevos estados-nación y de una ola masiva de emigración desde principios de la década de 1990” (Korobkov and Zaionchkovskaia, 2012), que se tradujo en una variedad de motivos migratorios, y donde los “migrantes de la ex URSS” muestran propensión a adaptarse rápida y exitosamente en los países de acogida, gran potencial de colaboración ya que muchos de ellos cuentan con estudios superiores, en donde destacan químicos, físicos y matemáticos de algunas regiones (Ryazantsev, 2015).

En este contexto, las diásporas científicas se constituyen en nuevos actores que desarrollan y mantienen vínculos a través de las fronteras (Glick Schiller, 1999) y que cuentan con una identidad propia, así como con un sentido de pertenencia a varios lugares al mismo tiempo. Durante el funcionamiento de sus dinámicas, se establecen vínculos recíprocos que son indispensables para tener influencia en

ambas direcciones y promover la cooperación. Autores como Cohen (1997), Sheffer (1986) y Tejada (2012) subrayan la capacidad de las diásporas para hacer simultáneamente contribuciones valiosas y creativas tanto al país de origen como al de destino. A través de sus recursos materiales, culturales y organizacionales, que les permiten establecer interacciones entre sus miembros y fomentar su organización. Los científicos se mueven guiados por el desarrollo de la ciencia, atraídos por las oportunidades profesionales y el “capital tangible” que les ofrece recursos, equipos e infraestructura (David and Foray, 2002). Las actividades que realizan las diásporas científicas y técnicas son múltiples de acuerdo con Vinck (2017) entre las cuales se señalan la producción conjunta de un espacio científico común para acoger estudiantes e investigadores en donde circulen temáticas precisas a través de la organización de encuentros, favoreciendo la circulación de información y equipos y la movilización de recursos, así como la formación y difusión de resultados y la contribución a la infraestructura de I+D del país de origen.

El interés en la acogida de diásporas científicas y técnicas en países intermedios como México se sitúa entre la demanda de cooperación y el *laissez faire*, de igual manera que se puede ubicar entre aquellos interesados en las comunidades científicas desarrolladas en ciertos campos que buscan la colaboración, en la medida que cuentan con un aparato científico respaldado por numerosos centros (gubernamentales, universidades, departamentos de centros, etc.) y a un juego de actores de I+D interesados en el marco de la competencia por financiamientos a nivel internacional (Barré *et al.*, 2003).

La diáspora científica y técnica puede jugar un importante papel como promotora del desarrollo local, dadas las características que presenta: grupos con movilidad des territorializados, aglutinados en redes sociales y de conocimientos,

que cuentan con un cúmulo de habilidades, capacidades y recursos materiales con potencial para la difusión del saber, con una identidad étnica común y patrones de adaptación con base a nuevas capacidades adquiridas y con posibilidades de crear iniciativas autónomas (Cruz-Barajas y Aguirre-Ochoa, 2009) y, con vínculos e intercambios con sus lugares de origen. La principal cualidad de este grupo es la calidad de la formación e información que manejan. Para que tenga repercusión en el desarrollo local se debe traducir en mejoras tangibles para las sociedades de donde son originarias mediante la apropiación y aprovechamiento de los conocimientos y la capacidad tecnológica proveniente del exterior, así como de su capacidad para transformar estos recursos. Las diásporas científicas, partiendo de un origen común con un conocimiento local, generan nuevas combinaciones de conocimientos y habilidades en alianza con los recursos humanos, técnicos e institucionales, con potencial para promover nuevas y mejores opciones de crecimiento y desarrollo. A través del trabajo en red adoptan formas flexibles y participativas de organización, implementadas a la hora de crear y aplicar los conocimientos a la solución de problemas, con actores de diversas procedencias que se relacionan a fin de abordar problemas concretos y proponer soluciones. Es por ello que consideramos que tanto las diásporas como las redes de cooperación científica y técnica comparten la creación de espacios científicos comunes a partir de la auto organización del grupo. Cuya constitución se da alrededor de un proyecto concreto. Las cuales abonan a la cooperación en el desarrollo de la I+D como un nuevo actor, sobre todo en la composición de grupos e individuos con altas competencias en campos como las tecnologías emergentes.

Como ya mencionamos anteriormente, el actor científico central de esta red es una científica de origen ruso quien ha jugado un papel importante en la organización

de la red Bionn desde su creación y considerada como parte de la diáspora científica rusa en México. Por ello consideramos de interés realizar una caracterización desde esta perspectiva, del origen de la red y las motivaciones de sus miembros, las relaciones con el país de origen, la organización, el financiamiento, las actividades y los resultados.

Sobre el abordaje de la Red Bionn

Este trabajo surge de una primera aproximación al campo realizada entre 2014 y 2016 durante la cual llevamos a cabo varias visitas al Centro de Nanociencias y Nanotecnologías de la Universidad Nacional Autónoma de México, localizado en la ciudad de Ensenada, Baja California. Se trata de un trabajo etnográfico en el cual además de hacer observación directa no participante, en reuniones del grupo de investigadores que seguimos, realizamos entrevistas al conjunto de los miembros de la red, y llevamos a cabo una revisión de la escasa bibliografía existente. De manera de explicar el recorrido y la evolución que ha tenido la red y el papel que juega la diáspora científica y técnica.

Las nanopartículas de plata, eje de la red

La red Bionn se origina y está ligada a la trayectoria académica de su principal impulsora, la Dra. Nina Bogdanchikova¹. De hecho, su inmigración a México es el

¹ Nina Bogdanchikova nació en Cd. Novosibirsk, Siberia, Rusia en 1953. Estudió la carrera de Química en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Estatal de Novosibirsk, recibiendo el grado de Licenciada en 1974. Posteriormente allí mismo estudió la Maestría, terminando en 1975. De 1975 a 1978 estudió el Doctorado en Instituto de Catálisis de Novosibirsk, Rusia, recibiendo el grado de Doctora en 1980. De 1978 a 1995 trabajó como investigadora, Instituto de Catálisis de la Academia de

punto de partida de la construcción y auto organización de un espacio científico común de cooperación alrededor de las nanopartículas de plata, y de una red de cooperación científica y técnica. Para el desarrollo de sus líneas de investigación, utilizó los contactos de su país natal, además de las ligas que tenía con otros países a través de sus estudiantes en países como España, Bielorrusia, Holanda, Cuba, Ucrania y Chile. Es en este contexto, que los esfuerzos de la investigadora se dirigirían a aprovechar el papel que puede desempeñar como parte de la diáspora científica, estableciendo un equilibrio entre depender de su adscripción al centro, al mismo tiempo que aprovechar su autonomía para auto organizarse, movilizándose a través de distintos contactos y de los lazos de proximidad que fue construyendo. Es decir, jugar un rol importante como promotora del desarrollo local, apoyándose en individuos y grupos con movilidad en diferentes espacios y del aprovechamiento del conjunto de habilidades, capacidades y los recursos materiales. Es entonces a partir de un proyecto principal, apoyado en la utilización de nanopartículas de plata que dio inicio su creación; primero a partir de la integración de pequeñas redes, movilizando grupos alrededor de algunos equipos y entorno a problemas específicos sobre las aplicaciones de las nanopartículas de plata; después, de la integración de algunos actores informales y finalmente, de la conformación de una red alrededor del proyecto.

Ciencias de Rusia, Novosibirsk, Rusia. En 1993 y 1994 trabajaba como investigador invitado en Instituto Nacional de Recursos y Ambiente, Japón e Instituto Nacional de Materiales y Investigación Química, Tsukuba, Japón. De 1975 a 1978 hice su estancia de Cátedra Patrimonial en Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, B.C., México. A partir de 1998 se incorporó Centro de la Materia Condensada, que cambio a CNYN en 2008.

El desarrollo y experimentación con nanopartículas de plata (ligadas con polímeros), fue posible gracias al conocimiento, desarrollo y aplicación que se había gestado en Rusia en un laboratorio nivel 4 en bioseguridad y que ha podido aprovechar en México, gracias a sus contactos y diversas colaboraciones, así como a su experiencia para preparar las soluciones y su aplicación, apoyada con recursos humanos, técnicos e institucionales de ambos países. De esta manera, por una parte, aprovechando sus contactos con investigadores rusos, empezó a trabajar desde 1995 con las nanopartículas de plata desarrolladas por el grupo de investigación del Dr. Vasily Burmistrov, director de Vector-Vita Ltd., de Novosibirsk, antiguo miembro también del Centro de Catálisis de la misma ciudad. Por otra, desde que el Centro de la Materia Condensada, se convirtió en el CNYN en 2008, permitió que se fomentara la cooperación entre los diferentes departamentos, entre ellos la generación de aplicaciones tecnológicas asociadas a nuevos materiales. A partir de las cuales integraría un equipo multidisciplinario, sin dejar de continuar y diversificar sus contactos y relaciones con otros centros de la región y del país.

En este caso, las colaboraciones internacionales, las universidades y centros de investigación que funcionan como lugar de trabajo para los estudiantes de posgrado abren la posibilidad de intercambios. Al mismo tiempo que los investigadores aprovechan los lazos generados en la diáspora científica que provoca la dispersión de investigadores en laboratorios extranjeros. En ambos casos, es de señalarse que una gran parte de estas colaboraciones internacionales dependen de las relaciones personales de los investigadores, en gran medida del sitio donde realizaron su doctorado y, en este caso también su lugar de trabajo. En otros términos, estos contactos y colaboraciones que han ido acumulando a lo largo de su trayectoria académica son parte medular de su capital científico y social que se

refleja en sus redes de colaboración científica y técnica, alrededor de un proyecto. Iniciando con la movilización de redes alrededor de pequeños equipos, como el ejemplo de la incorporación de una bióloga molecular de la Universidad de Guadalajara, que ingreso con una catedra Conacyt al CNYN, quien colaboraba con la Facultad de Medicina de la UNAM a través de la utilización de equipos y de los bioterios, a la que se agregarían estudiantes de licenciatura. Ello con el propósito de integrar y sumar investigadores de varios campos, donde constatamos los intermediarios como las habilidades tacitas, técnicas y organizacionales, los instrumentos de laboratorio y materiales, documentos y financiamiento (Vinck *et al.*, 1993). Los cuales circulan entre los actores y apoyan la integración y articulación de la red.

La construcción de la red

Origen y colaboraciones

Al llegar al país, la Dra. Bogdanchikova se insertó en el CICESE donde además de continuar con sus líneas de investigación, le sirvió para establecer vínculos internamente y entre los colegas a nivel local, así como con diferentes entidades del país y promover la cooperación con su país de origen. De igual manera que consolidar sus contactos a través de sus estudiantes de posgrado, quienes con el tiempo se convirtieron en colegas y parte de su red académica. Su cambio al CNYN, coincidió con un proyecto en dicho centro, que implicó llevar la rama biológica a un centro especializado en física y química teórica enfocada a materiales², y que se

² “Desde 2003 nos reunimos en Cuernavaca –donde Vázquez era investigador del Instituto de Biotecnología (IBt) de la UNAM– Rodolfo Quintero (del IBt), María Teresa Viana (de la Universidad

formalizaría en 2013 al establecerse el Departamento de Bio nanotecnología, cuyo funcionamiento en términos de colaboración inicio informalmente desde entonces. La Dra. Bogdanchikova forma parte del Departamento de Fisicoquímica de Nanomateriales en donde se realiza investigación teórica y experimental de materiales novedosos con aplicación tecnológica potencial, en particular en forma de películas delgadas y nanopartículas, a partir del cual, ha logrado aprovechar los recursos, equipos e infraestructura del centro y, en particular de esta área.

Un caso de aprovechamiento de sus lazos establecidos desde su llegada a México es el ejemplo de una joven investigadora quien, desde la maestría en biotecnología marina, empezó a trabajar con líneas celulares de cáncer, probando productos naturales marinos en el CICESE. Posteriormente, una vez obtenido el doctorado en inmunología molecular del cáncer y un posdoctorado en Estados Unidos, continuó interesada en la biotecnología. Al regresar nuevamente a Ensenada ingresó al CNyN con una plaza de investigador, integrándose al seminario de catálisis de la Dra. Bogdanchikova, recomendado por su antiguo asesor. "Empecé a trabajar con ellos y cuando yo escuchaba los seminarios y veía lo que hacían... veía que había un gran potencial para aplicaciones biológicas... cuando entraba a los seminarios, realmente me imaginaba las cosas porque podían unir... esto me sirve para esto y esto lo voy a aplicar para esto... por eso somos

Autónoma de Baja California), y yo, con el entonces director del Centro de Ciencias de la Materia Condensada, Leonel Cota Araiza. La idea era traer la rama biológica a un centro especializado en física y química teórica enfocada a materiales; la oportunidad se dio en el momento que este espacio se convirtió en el CNyN". Cabe mencionar que este nuevo departamento en el CNyN será un área que conjuntará el Departamento de Bionanotecnología del CNyN, que se concretó tras 10 años de planear dentro de la UNAM un centro de investigaciones en biología avanzada (López, 2013).

multidisciplinarios... le ayudo a comprender el potencial que tienen las aplicaciones biológicas” (Juárez Moreno, 2015). A partir del cual, le propuso trabajar con camarones, siguiendo su línea de investigación: “empecé a trabajar con algo muy general con Nina, que era usar las nanopartículas de plata en camarones. Estos se estresan mucho cuando los tienen en cultivos en las granjas. Yo conocía las propiedades oxidativas, antiestrés de las partículas. Fue lo primero que hice con ella, porque tenía amigos en el CICESE... un grupo de investigadores que me podían ayudar con el trabajo” (Juárez Moreno, 2015).

El anterior fue el primer grupo que empezó a trabajar con camarones en dicha región, apoyados por la investigadora, quien hizo la dosificación y probó que las nanopartículas empleadas no fueran tóxicas para los camarones. Proyecto al que posteriormente, se integraron varios grupos de acuicultores y a partir de las pruebas anteriores, lo empezaron a aplicar. Es el caso de un grupo conformado por investigadores y estudiantes del Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Sonora, del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) de Baja California Sur y de un empresario de una granja acuícola. Quienes para 2012 estaban evaluando las propiedades antivirales de las nanopartículas de plata en el camarón de cultivo.

La continuación de su trabajo de prueba, caracterización y toxicidad de las nanopartículas tanto de plata como de otros materiales, fueron conduciendo a la Dra. Juárez, junto con otros investigadores del grupo al desarrollo de nuevas aplicaciones relacionadas con las líneas de investigación de la red, de manera que a partir del reconocimiento de un proyecto líder, se conjuntan los intereses de los equipos de investigación y se seleccionan temas que no hayan sido explorados, de manera de ir organizando la red.

De la creación de un espacio común científico a la red internacional

Bionn

Como se ha mencionado en el caso de la red Bionn, las partículas de nano plata son el articulador central de las relaciones entre los investigadores, las disciplinas y otros actores (Pérez-Martelo and Vinck, 2008). Desde el inicio, su utilización y aplicación fue concebida como un proyecto de largo alcance que integraría un espacio científico común, donde el grupo inicial tiene su sede en Ensenada, en el CNyN a partir del cual se preparan las soluciones para el trabajo de los distintos grupos, así como el envío de soluciones concentradas a diferentes grupos de investigación en México y otros países. Este nanomaterial tiene detrás un desarrollo antes mencionado, a partir del grupo de investigación del director de Vector-Vita Ltd., quien en colaboración con hospitales e institutos médicos de Rusia ha desarrollado, investigado y comercializado medicinas basadas en nanopartículas de plata³. Las nanopartículas de plata son uno de los nanomateriales que han atraído el mayor interés en biomedicina, debido a sus propiedades clínicas prometedoras. Tienen efectos antimicrobianos contra bacterias, hongos y protozoos, además de exhibir propiedades antivirales. Además, también existen preguntas sobre la toxicidad de

³ Las nanopartículas de plata empleadas en esta red han sido probadas en 15 organizaciones médicas e institutos de investigación para el tratamiento de más de 20 enfermedades. Estas nanopartículas de plata cuentan con la certificación en Rusia como una preparación para usos veterinarios, cosmetológica y como suplemento alimenticio y dispositivos médicos de uso humano, para lo cual cuenta con 17 registros sanitarios por instancias internacionales para su aplicación. En 2012 fue nuevamente certificada de acuerdo con la nueva legislación de ese país. Cuenta con 6 patentes rusas (2 en coautoría con mexicanos), conferencias internacionales especializadas sobre la aplicación de las partículas en medicina y veterinaria, libros y numerosas tesis de alumnos. (2º simposio internacional en Nanociencias y Nanotecnología, CNyN, noviembre 2012).

algunas propiedades de estas nanopartículas de plata, lo que ha requerido la profundidad de estudios en toxicidad dentro de la red Bionn.

La integración de un espacio común científico ha pasado por varias etapas hasta su constitución en una red de cooperación científica en la que. “los actores crean redes estables a través de la elección de los socios, la definición de actividades y la elaboración de sus modos de regulación. La cooperación se da entre grupos de investigación y redes y es necesaria para ser compartidos (Vinck, 2017).

A partir del proyecto y de utilizar las nanopartículas de plata se inicia el reclutamiento de los grupos. Primero a los conocidos a través de diferentes redes y posteriormente a otros que se van integrando por intermediación de los líderes de grupo. Como ejemplo, es el caso de la Dra. Maritza García de inmunología. quien se integró al CNyN por medio del programa de Cátedras Conacyt, y pertenecía al grupo del laboratorio de Inmunoterapia Experimental de tejidos de la Facultad de Medicina de la UNAM, del laboratorio de Inmunología del Centro Universitario de la Salud de la Universidad de Guadalajara y del servicio molecular de medicina del hospital viejo de Guadalajara, grupo en el cual todos con estudiantes adscritos. Al igual que el de la Dra. Juárez, que se transformaría en un grupo de análisis de diferentes líneas celulares de cáncer, con la integración de varios posdoctorantes de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) de las facultades de Ciencias Químicas y de Ciencias. En donde uno de los criterios de integración es la disposición de equipos y del planteamiento de problemas desde la multidisciplina para la aplicación de las nanopartículas de plata. Para ello como en otras redes en donde el objetivo es reunirse en torno a un proyecto, se van construyendo estructuras de intercambio. En la red Bionn, casi desde su inicio se organizaron seminarios para la elaboración de protocolos, de intercambios de conocimiento, de personal y de equipo. Así se

pueden mencionar, por un lado, las reuniones semanales en el CNyN, como también las reuniones anuales- que hasta 2020 habían sido 20- en las que participa el conjunto de la red. En las primeras, se presentan desde protocolos de tesis, pasando por algunos resultados en la aplicación de las nano partículas, hasta presentaciones de investigadores invitados.

Las reuniones anuales en cambio tienen varios propósitos. Por un lado, invitar a líderes de grupos, investigadores y pequeñas redes locales que pueden hacer aportaciones a través del debate de sus avances e intercambio de publicaciones y técnicas. Como también, de la discusión de asuntos de la red sobre el financiamiento y el presupuesto, así como los resultados y entregables (artículos, solicitud y registro de patentes, grados de doctorado, maestría y licenciatura, convenios de colaboración, programas de elaboración de seminarios y congresos, contratos de transferencia de tecnología). De igual forma que estrechar los lazos de colaboración y cooperación entre los diferentes grupos.

Desde el inicio, la red se fue construyendo en torno a problemas bien identificados con los líderes de grupo: Oncología y Nanomedicina, Enfermedades del Sistema Inmune, Ingeniería de Tejidos y Catálisis sobre Nanomateriales, apoyados por el Programa de Cátedras para la Investigación y de proyectos financiados por el Conacyt, así como del financiamiento de la UNAM a través del fondo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT). Además, que se apoyaba en una estructura de funcionamiento en donde los grupos están organizados como sigue: de la etapa de transferencia de la tecnología desarrollada por la red; de desarrollo tecnológico avanzado; y de investigación científica con resultados promisorios de grupos encargados de la preparación de protocolos para la investigación científica.

En este caso, las funciones de intermediación profesional desempeñadas por la Dra. Bogdanchikova fueron claves para su integración y funcionamiento. Su condición de inmigrada y parte de la diáspora científica y técnica, la coloca en “*un entre deux*”, en cuanto a tradiciones y a prácticas de trabajo, junto a la convergencia creciente entre saberes disciplinarios, propiciada por la internacionalización de las comunidades y por el desarrollo de la propia nanotecnología. Además, como señalan Didou y Durand (2013), las posibilidades de intermediación han estado influenciadas también por su trayectoria académica previa a la migración, por la notoriedad y por el perfil de sus recorridos profesionales. Siendo relevantes, por una parte, las relaciones ex ante establecidas durante la época de entrenamiento a la investigación y ex post con los integrantes de los laboratorios de inserción. Por otra, la productividad y las relaciones profesionales que la respaldan en Rusia, previamente a su migración, constituyen un segundo conjunto de elementos que explican tanto el desempeño de roles, como en la calidad de las oportunidades de su inclusión.

En una segunda etapa de la conformación de la red, los grupos comparan, identifican y comparten la utilización de las nanopartículas en los diferentes ámbitos que llevan a la construcción de proyectos comunes. Los cuales se expresan en el establecimiento de las líneas de trabajo de la red: en salud humana (tuberculosis, cáncer, inmunología, infecciones nosocomiales, resistencia antibióticos, diabetes y sus complicaciones y parasitosis) y en salud veterinaria (pequeñas especies, bovinos y especies acuáticas). La cuales son resultado de un proceso de integración y de intercambio que se lleva a cabo a través de la creación de una base común de referencia y de materiales y de una base instrumental común.

En ese sentido, su programa de trabajo que desembocaría en la construcción de la red alrededor de las nanopartículas de plata surgió de mecanismos que ellos mismos han establecido para organizarse por grupos y líneas de investigación. A través de la acogida de estudiantes e investigadores, la circulación de individuos en temáticas precisas, la organización de encuentros para favorecer la circulación de información y equipos y la movilización de recursos a través de contratos conjuntos, de manera de contribuir a mantener las relaciones entre los miembros, así como con los países de acogida y origen (Barré *et al.*, 2003). La red tiene colaboraciones a nivel local e internacional, que se fundan sobre todo en intereses académicos comunes y también en relaciones personales. Son intercambios que permiten el acceso a objetos técnicos, equipos y financiamiento. Las colaboraciones se basan en el intercambio de recursos, competencias y también de confianza, y necesitan mucha flexibilidad para durar en el tiempo. Con Rusia, se mantiene el vínculo tanto para el acceso a las partículas de nano plata de las instituciones donde fueron desarrolladas, de igual manera que para la elaboración de patentes, con la participación de la Dra. Bogdanchikova; de igual manera que de la colaboración de dos miembros prominentes de la empresa Vector-Vita Ltd. y de otro del Instituto Tomsk, con quienes dio inicio la red.

Además, como observan Pérez-Martelo y Vinck (2009) en esta red se pueden identificar procesos de visibilidad internacional y apropiación local, en donde si bien hay un peso importante de los actores científicos, en el caso de la red Bionn se han integrado otros actores, tanto públicos como empresariales. De manera que, en las prácticas de gestión del conocimiento, la contextualización y recontextualización en los diferentes espacios, los ha llevado a generar relaciones con distintos actores que a su vez realimentan la investigación. Al mismo tiempo como señalan los mismos

autores, en un área emergente como la nanotecnología las redes incorporan desde sus inicios actores del mundo empresarial y se caracterizan por estrategias de difusión de conocimiento a público no científico como forma de interesamiento de nuevos actores.

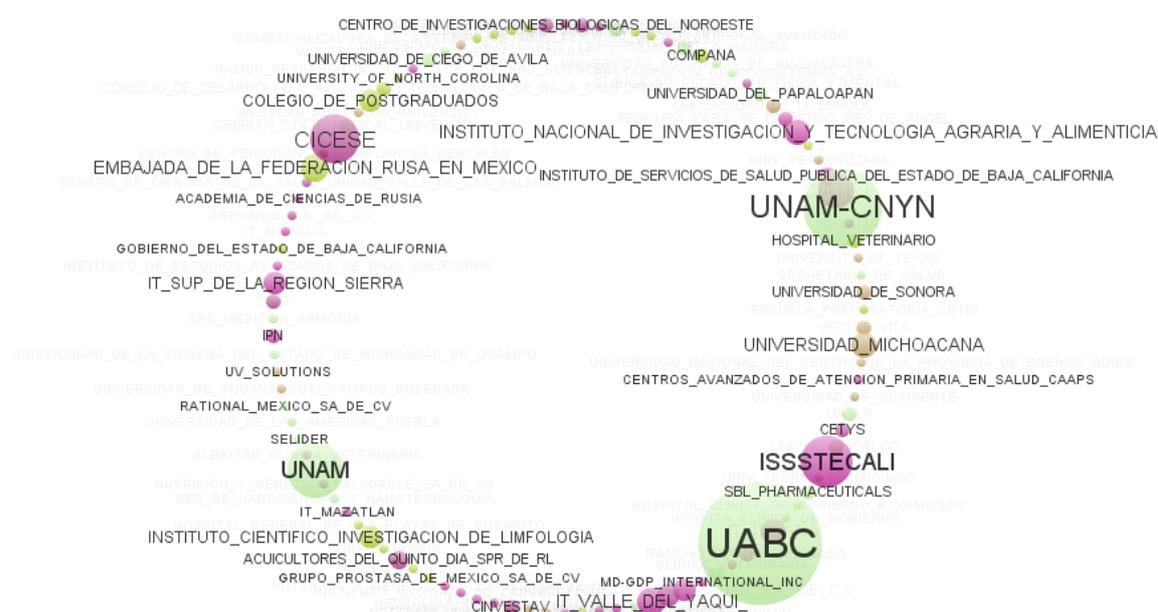
La formalización de la red

La formalización de la red se dio en 2012 bajo el liderazgo del CNYN a partir de la constitución de un grupo interdisciplinario y de contactos y alianzas tanto nacionales como internacionales entre diferentes investigadores e instituciones. Dos años después, en el 2014, recibió financiamiento del CONACYT para su consolidación. Para el año siguiente, momento de las entrevistas realizadas, la red Bionn estaba constituida por 26 grupos, 115 participantes de 27 instituciones gubernamentales y empresas privadas de México, Rusia, España, Puerto Rico y Estados Unidos (ver Figura 1). Hasta 2019, incluía cerca de 200 miembros activos⁴,

⁴ Pertencientes en España a CISA-INIA e Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario; Cuba: Universidad de Ciego de Ávila; Rusia: Universidad Politécnica de Tomsk, Institute of Cytology and Genetics SB RAS y Sci Prod Ctr Vektor Vita; Estados Unidos: Universidad de Utah; Gran Bretaña: University of Liverpool y Suecia: Chalmers University of Technology. En México con: Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 198, Centro de Estudios Tecnológicos del Mar, CIAD AC, CIATEJ, CIBNOR, CICATA-IPN, CICESE, CINVESTAV-Irapuato, CINVESTAV Zacatenco, Colegio de Postgraduados, CUCS-UdeG, ECITEC-UABC, ECS-UABC, FCB-UANL, FCQI-UABC, FCQI-UABC, FC-UABC, FES-Cuautitlan-UNAM, FE-UABC, FIAD-UABC, FM-UABC, FM-UNAM, FMVZ-UNAM, Hospital General de México, FM-UNAM, IIMAS-UNAM, IIS-UNAM, INIFAP, Instituto de Oftalmología Fundación Conde de Valenciana, Instituto Nacional de Medicina Genómica, Instituto Nacional de Pediatría, Instituto Nacional de Salud Pública, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra, ISSSTECALI e ITESM-Campus Querétaro.

entre investigadores, estudiantes y médicos. Para su operación, cuenta con un Consejo Técnico Académico Nacional y un Consejo Técnico Académico Internacional estratégico. El primero está conformado por investigadores de varias instituciones de Baja California (Facultades de administración y de estudios de la salud), del propio CNyN, CIAD, CIBNOR y de la Clínica Integral de Ensenada. El segundo comité está integrado por miembros del Tomsk Politechnic University, Vector Vita Research and Production Center y del Instituto of Clinical and Experimental Lymphology de Novosibirsk de Rusia, así como por miembros de los institutos de Catálisis y Petroquímica y Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia y de Neiker de España. El funcionamiento de la red descansa entonces en los dos comités, normados por un reglamento que organiza las interacciones más allá de sus miembros. El primero, que se encarga de la invitación y acceso de nuevos investigadores y grupos, quienes además de una carta de confidencialidad para tener acceso a las nanopartículas de plata deben presentar un protocolo general del proyecto apoyado en un esquema general de experimentación. Al igual que los investigadores, los alumnos incorporados deben también ser aceptados por el comité. Sobre los resultados, estos también son entregados a la red y en el caso de la publicación de artículos, por ejemplo, cuenta con un consejo editor que acompaña a los autores hasta su publicación, al igual que sucede con la preparación de nuevos proyectos y patentes.

Figura 1. Instituciones de donde provienen al menos un participante de la red Bionn hasta el año 2015.



Fuente: Elaboración propia

La consolidación de esta red auto organizada, si bien fue impulsada por una institución como Conacyt, para motivar las agrupaciones de los actores, las relaciones entre las entidades mostradas en la Figura 1 no son del todo estables, en la medida que su configuración se ha dado a partir de los puntos de convergencia más allá de las políticas, que han emergido entre los actores a lo largo del desarrollo de las aplicaciones de las nanopartículas de plata.

El desarrollo de aplicaciones de las nanopartículas de plata

Como ya se ha mencionado, al inicio de la colaboración, las nanopartículas de plata fueron desarrolladas por un grupo de investigadores rusos, y actualmente las nanopartículas utilizadas en la red Bionn son fabricadas por la empresa Vector-Vita de Novosibirsk, Rusia, el nombre comercial de estas nanopartículas es Argovit™ y la Dra. Nina Bogdanchikova ha colaborado con este grupo de investigadores desde el

periodo en el cual fueron desarrolladas. Los materiales basados en plata desarrollados por la compañía han sido objeto de estudios clínicos alrededor de 23 enfermedades en 15 instituciones médicas ubicadas en distintas ciudades de Rusia. Además, que los medicamentos desarrollados se aplican en los departamentos de Traumatología, Ginecología y Otorrinolaringología de varias clínicas y hospitales de la ciudad de Novosibirsk, las cuales están apoyadas en varias patentes que se han registrado de 1994 a 2017. Por una parte, están las registradas en Rusia, que van desde la preparación antiviral, para el tratamiento de heridas infectadas, profilaxis de mico toxicosis de aves de corral, hasta el método de producción de nanopartículas coloidales de plata. A partir de 2013, se añaden varias patentes en colaboración entre científicos mexicanos y rusos solicitadas ante el IMPI, que comprenden desde moquillo canino, manufactura y tratamiento de materiales para la manufactura de calzado, esterilización de medios de cultivo, composición veterinaria para ganado bovino y composición para el tratamiento de cáncer sin efectos genotóxicos⁵, entre otras, las cuales responden a necesidades locales identificadas por la red. Las nanopartículas utilizadas por la red son fabricadas exclusivamente en Vector-Vita y se importan a México. En donde el grupo del centro se encarga de la caracterización del estado de las nanopartículas antes de su utilización, para lo cual cuentan con microscopía electrónica de alta resolución, espectroscopía ultravioleta-visible y espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos X, entre otros instrumentos científicos. Desde que se tuvieron los primeros lotes de nanopartículas, la Dra. Bogdanchikova se encargó de su difusión tanto de manera informal como formal en Baja California, y paulatinamente con otras entidades de México y aún del

⁵ Reglamento de la Red Internacional de Bionanotecnología,

<https://www.redinternacionaldebionanotecnologia.org/documentos-de-la-red>

extranjero. De manera que los acercamientos con algunas áreas de salud humana y veterinaria iniciaron con aquellas en que se identificaron enfermedades que tienen gran impacto en la salud pública, como el tratamiento del pie diabético.

Aplicación de las nanopartículas de plata para el tratamiento del pie diabético

Las aplicaciones para combatir la ulceración del pie diabético en México iniciaron después de un encuentro en un congreso entre la Dra. Bogdanchikova y una empresaria de León, Guanajuato, que se interesó por ellas. A partir de la cual, dio inicio un proceso de colaboración hacia el año 2000 para utilizar las nanopartículas de plata en la fabricación de calzado especial. El calzado fue desarrollado a través de una investigación en el CIATEC en Guanajuato, a cargo de la Dra. María Maldonado Vega, que, en el transcurso de los 3 años del proyecto, los pacientes indicaron mejoría en los pies. El desarrollo de dicha innovación tecnológica consiste en la incorporación de nanopartículas de plata al forro de cuero para el calzado, para disminuir las infecciones causadas por gérmenes y ayudar a mantener el pie limpio (Salinas Ramírez *et al.*, 2009). Para dicha innovación se tuvo el apoyo de la Secretaría de Economía, CONACYT, CIATEC, del Centro de Nanociencias y Nanotecnología, y de la Manufacturera de Calzado San Rafael, SA de CV. A partir de la cual se constituyó la empresa Nanopartículas Aplicadas SA de CV y una marca con el nombre de Nanofit® para representar la línea de nano-plata calzado diabético, la cual fue registrada en el IMPI y en proceso de registro en la USPTO (Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos). Esta innovación tecnológica está relacionada con el proyecto: "Aplicaciones de la guarnición calzado nano-plata para los pacientes diabéticos y pies sensibles, para proteger de patógenos

microorganismos", desarrollado por CNyN-UNAM y CIATEC, AC, con el apoyo de la solicitud de patente IMPI folio MX / E / 2012/071886.

Posteriormente a nivel local, en Ensenada, la utilización de las nanopartículas inició apoyada en sus redes sociales y de contactos con funcionarios de salud. Al principio se probó su seguridad y eficacia en estudios experimentales y controlados, pasando después a la identificación de las necesidades terapéuticas con pacientes y población de la localidad de Baja California. Al principio se dio de manera fortuita con los pacientes de un médico (Dr. Cesar Almonaci) que atendía pacientes diabéticos, y con el apoyo de otro galeno conocido de Tijuana. Se llevo a cabo la medición de dosis efectivas en ratas y la búsqueda por cortes histológicos de la presencia de las nanopartículas y en que concentraciones podían ser utilizadas. Con estos datos dio inicio su uso en pacientes que corrían el riesgo de ser amputados, en los consultorios de ambos médicos. A partir de los resultados anteriores, se han utilizado las nanopartículas en varios padecimientos como amígdalas y heridas quirúrgicas infectadas en pacientes con VIH. Aplicaciones que en todo momento van acompañadas desde el inicio del acuerdo con protocolos entre pacientes y su consentimiento, además de su revisión por parte de los comités de bioética de los médicos de la red del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Gobierno y Municipios del Estado de Baja California (ISSSTECALI). También, la aplicación de las nanopartículas de plata condujo a la realización de un estudio sobre el resultado eficaz que tuvo en forma de gel y pomada en las úlceras de pie diabético infectado y no infectado, así como contra el virus del papiloma humano y el fibroma digital adquirido (Almonaci *et al.*, 2009). Posteriormente, se obtuvieron tejidos de 8 pacientes con pie diabético de diferentes características fisiológicas antes y después del tratamiento con las nanopartículas de

plata Argovit™. Las nanopartículas fueron preparadas y analizadas también con técnicas histológicas estandarizadas. En aquellas muestras tratadas, se encontró que las capas epidérmicas mostraban una morfología y estructura normal y había ausencia de microorganismos (Montes *et al.*, 2012). El estudio de las muestras de los ocho pacientes se llevó a cabo entre 2011 y 2012 en el laboratorio de histología de la UABC como parte de la colaboración con el CNYN en donde participó la jefa del laboratorio, además de 6 estudiantes de biología de la Facultad de Ciencias. Dicho trabajo se llevó a cabo como parte de la materia Tópicos Selectos de Zoología: aplicaciones histológicas como parte del estudio preclínico “Evaluación del uso de nanopartículas de plata en el tratamiento de pie diabético” (Montes *et al.*, 2012).

Con estos avances y a partir del contacto con la subdirectora general médica del ISSTECALI se elaboró un proyecto piloto junto con el Hospital Mirador de Tijuana, que después se replicaría en los hospitales de Mexicali y Ensenada. El contacto se hizo a través de una invitación que le hizo la propia Dra. Bogdanchikova tanto debido a su condición de profesora e investigadora de la UABC, como por su cargo como subdirectora. De manera que a través del área de Enseñanza e Investigación pudo promover que se aplicara el protocolo bajo la estructura interna del hospital: cirujanos, enfermeras y el jefe de enseñanza. Para lo cual se formó un equipo multidisciplinario que se encargó de la selección de los pacientes y de darles seguimiento; todo ello con el apoyo de la propia Dra. Bogdanchikova y del Dr. Roberto Luna, quienes se encargan de proporcionar las nanopartículas de plata y supervisar el protocolo. Para ello se llevó a cabo una preparación documental con los directivos respectivos, como son el Director de Enseñanza e Investigación y el jefe de área de investigación de ISSSTECALI, así como con el director del hospital y

el jefe de área de investigación, de manera paralela, junto a la capacitación del equipo de investigadores (Luna *et al.*, 2012).

Como se mencionó anteriormente el tratamiento con las nanopartículas Argovit™ en pie diabético también se aplicó de marzo a junio de 2010 a más de 70 pacientes del Hospital General de Tijuana, en la ciudad de Playas de Rosarito a partir de estudios preclínicos, en donde el comité de ética de dicho hospital aprobó el protocolo de tratamiento con el método desarrollado. El Dr. Almonaci fue el responsable de entrenar al equipo médico de los hospitales ISSSTECALI: 4 médicos, una especialista en nanotecnología, una enfermera y pasantes, así como estudiantes de las Facultades de Medicina de la UABC y de Xochicalco, Ensenada. El comité ético del Hospital General de Tijuana aprobó el método desarrollado por el grupo, que permitió que se salvaran de la amputación del pie más de 70 pacientes (Almonaci *et al.*, 2012).

Por otro lado, al igual que en otros campos, la red ha aprovechado la colaboración a partir de las relaciones académicas y personales establecidas durante sus estudios de posgrado entre algunos de los actuales investigadores. La cual se ha realizado a partir del intercambio de conocimientos, el uso de la infraestructura y la utilización de las nanopartículas de plata, que han posibilitado la interacción entre los dos espacios de conocimiento tanto in situ como fuera de ellos. Es el ejemplo de una investigadora que trabaja en el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) de Madrid, en donde se abordan en condiciones de alta seguridad biológica el estudio de virus causantes de las denominadas enfermedades exóticas, emergentes y transfronterizas como la fiebre aftosa, la peste porcina y la influenza, así como de virus zoonóticos como la propia influenza, el virus de la fiebre del Valle del Rift, entre otros. Para los cuales no

existen tratamientos y tampoco vacunas. Para ello a partir de los resultados que se han obtenido en el grupo del CNYN de la actividad antiviral de las nanopartículas de plata sobre el VIH entre otros, se iniciaron con la red, los ensayos de toxicidad y viabilidad celular in vitro. En donde, dadas las características del centro, les ha permitido llevar a cabo ensayos in vivo en modelos animales e incluso en especies hospedadoras naturales (Borrego *et al.*, 2012). Como fruto de esta cooperación que se ha consolidado, dicha investigadora forma actualmente parte del comité internacional estratégico de la red.

El uso de las nanopartículas de plata en la medicina veterinaria

Una segunda línea de trabajo está relacionada con la salud animal, para combatir varios padecimientos en animales experimentando con nanopartículas de plata que se suministran vía oral o de forma inyectada. Esta aplicación ha sido resultado de la colaboración con veterinarios de la región, y permitido que la red tenga información sobre los efectos antivirales, antimicrobianos y fungicidas de las nanopartículas de plata, de las etapas más apropiadas para aplicarlas y los tiempos de recuperación de los animales. En este caso, la vinculación de la red ha sido a través de empresas para la utilización de las nanopartículas. Un ejemplo es la empresa Integración y Comercio, SA de CV., la cual ha participado en el establecimiento de protocolos y la comercialización de una amplia gama de antibióticos tanto para animales de granja como especies de compañía. Desde su fundación la empresa ha desarrollado y se ha vinculado con las nuevas tecnologías orientadas a la salud y bienestar animal. De ahí su interés en colaborar con el CNYN, con el objetivo de facilitar la transferencia del uso de las nanopartículas a sus áreas de producción. Para ello destinaron granjas ya establecidas tanto para pollos de engorda como para becerras (Nuñez, García López and Pinos Rodríguez, 2012), de manera de reducir la mortalidad,

disminuir el uso de antibióticos, así como favorecer el crecimiento de los animales. Los beneficios de la aplicación de Argovit™ en terneros lecheros han sido probados en el campo, a través de ensayos en grupos de control tratados con una mezcla de antibióticos. De igual manera, se probaron las nanopartículas en forma inyectada para tratar la mastitis bovina en el Rancho Cortes de Ensenada, obteniendo mejores resultados. Finalmente, las nanopartículas fueron también utilizadas en el agua que ingieren los becerros y que contribuye a prevenir la neumonía.

Una colaboración distinta de transferencia de tecnología se estableció a través de la constitución de un grupo de veterinarios del Hospital Veterinario Blvd. Costero y del Centro Veterinario AGUZVET, en Ensenada, para la aplicación de nanopartículas de plata y su uso en mascotas, en particular para el tratamiento del moquillo canino (Peña Jasso *et al.*, 2012). A través de colaboraciones con veterinarios, la red ha conseguido información fidedigna respecto a los efectos antivirales, antimicrobianos y fungicidas de las nanopartículas de plata y las etapas para aplicarlas. Para ello se realizaron experimentos bajo el liderazgo de un médico veterinario (Antonio Peña Jasso) y el Colegio de Médicos Veterinarios Especialistas en Pequeñas Especies de Ensenada, en cuyas clínicas se recibieron los canes enfermos y, con la autorización de los propietarios de las mascotas, se iniciaron tratamientos con duración promedio de una semana, periodo en que, al animal, ya en su hogar, se le proporcionaban nanopartículas de plata en el alimento.

Resultados más allá del ámbito científico

Algunos de los ejemplos anteriores, y que se acercan a la tercera etapa de la red, confirman como han mencionado Pérez y Vinck (2008), que las redes de nanotecnología además de difundir sus potencialidades y avanzar en el conocimiento, están dirigidas a lograr maximizar los beneficios en salud asociados a

la inversión realizada en investigación a través de la entrega efectiva de cuidados al conjunto de la población. En ese sentido, los integrantes de la red se propusieron que el desarrollo de sus avances científicos no solamente culmine en hallazgos e innovaciones a través de publicaciones científicas y patentes y su difusión en diferentes foros, sino también en productos viables de comercializar, es decir en la traducción en la forma de resultados con aplicaciones concretas. Para ello integraron economistas expertos en transferencia e innovación tecnológica para facilitar y asesorar a la red en las tareas de producción y comercialización. Entre sus resultados esta la constitución en 2011 de Bionag S.A.P.I de C.V. con sede en Tijuana, empresa de base tecnológica que se encarga a partir de las nanopartículas de plata, de la producción comercial de productos innovadores para el sector salud y veterinario. Hasta la fecha han lanzado al mercado tanto productos para la salud humana como veterinaria. Para la primera, *Nagnet dermo* (protector de úlceras y enfermedades de la piel con propiedades bactericidas, antivirales, fungicidas y cicatrizantes) y para atender enfermedades veterinarias en pequeñas especies: *Nagpet* para lesiones de piel ótico y oral y *Tempernag*, para el tratamiento de moquillo canino, además de *Silvermast* y *Silverfot* para el ganado.

Recientemente, en el Hospital General de Tijuana un producto antiséptico *AG Protect* para prevenir la infección y progresión de la Covid-19 que fue probado en un total de 93 miembros del personal médico y de enfermería que tienen contacto diario con 70 pacientes infectados. Aplicación a la que se le dio seguimiento durante 9 semanas, teniendo como resultado el que solamente 2 trabajadores dieron positivo, debido a la falta de seguimiento en su uso de parte de éstos.

Algunas reflexiones

En este trabajo se han expuesto algunos elementos que buscan dar cuenta de las dinámicas de una red de investigadores, tecnólogos y profesionistas de diversos sectores en el desarrollo de aplicaciones de nanopartículas de plata en México. Esto en el marco del origen y el desarrollo de la red científica y técnica Bionn, en cuya cúpula organizacional el actor central es una investigadora miembro de la diáspora científica rusa en México. En los resultados expuestos en este texto hemos trazado algunos aspectos del desarrollo de esta red, donde son movilizados diferentes recursos disponibles de los actores de la diáspora mencionada. En la literatura sobre las diásporas científicas y técnicas se han señalado diversas características que benefician la cooperación entre los países de origen y los países anfitriones. Partiendo de la pregunta planteada en la introducción sobre el rol de la diáspora científica y técnica en el desarrollo de la red Bionn, hemos constatado su capacidad de desarrollar y mantener vínculos en ambas direcciones, así como promover la cooperación científica y tecnológica en torno a las aplicaciones de las nanopartículas de plata desarrolladas por el grupo de investigadores rusos y concretadas por diversos actores científicos, técnicos y económicos mexicanos. En estas capacidades y habilidades sobresale el actor científico que ha dirigido la red Bionn, quien coordina las actividades tanto cognitivas y sociales en diferentes grupos de investigadores para buscar soluciones a problemáticas concretas basadas en la aplicación de las nanopartículas de plata.

Por otro lado, la red Bionn ha sido un espacio donde actores de diversos sectores y niveles han convergido en torno al desarrollo de las aplicaciones para las nanopartículas de plata. En la forma de organizar la red Bionn se distinguen mecanismos para la vinculación basada en aspectos cognitivos como es el seminario semanal y las reuniones anuales donde los diferentes grupos presentan

sus problemáticas, experimentos, protocolos clínicos y resultados obtenidos. En estos espacios de intercambio de conocimientos sobresale la participación de la Dra. Bogdanchikova quien ha fungido como intermediario y traductor entre las comunidades de ambos países.

Finalmente, una característica interesante de esta red científica y tecnológica es el involucramiento de nuevos actores provenientes de otras disciplinas y áreas del conocimiento o profesionales, así como de otros países. Esta apertura posiblemente se debe a la dinámica de la diáspora científica y técnica, esto al reconocer la integración de actores externos para responder a los retos y barreras que han ido encontrado, como la comercialización de las nanopartículas de plata, así como la *expertise* en el establecimiento de protocolos clínicos y las actividades para el patentamiento y la protección de conocimientos aplicados.

Referencias bibliográficas

Almonaci, C. *et al.* (2009), "Aplicación de nanoplata en pacientes diabéticos tipo 2 con úlceras de pie diabético, condilomatosis y fibroqueratoma en Ensenada, México", *xiv Simposio en Ciencia de Materiales*, CNYN-UNAM, Ensenada, 10-13 de febrero, p. 62.

Almonaci, C. *et al.* (2012), "El desarrollo de nuevos métodos de tratamiento del pie diabético y la capacitación del personal clínico", *Reunión del Grupo Interdisciplinario "Aplicación de Nanoplata en Medicina y Veterinaria"*, CNYN-UNAM, Ensenada, 30 de noviembre, p. 20.

- Appelbaum, R. *et al.* (2016), "Inventory of nanotechnology companies in Mexico", *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 18, N° 2, pp. 1–13.
- Barré, R. *et al.* (2003), *Diasporas scientifiques Comment les pays en développement peuvent-ils tirer parti de leurs chercheurs et de leurs ingénieurs expatriés?*, Paris, IRD.
- Borrego, B. *et al.* (2012), "Estudio de la actividad antiviral de la nanoplata frente a virus veterinarios y zoonóticos", *Reunión del Grupo Interdisciplinario "Aplicación de Nanoplatas en Medicina y Veterinaria"*, CNYN-UNAM, Ensenada, 30 de noviembre, p. 19.
- Cohen, R. (1997), "Diasporas, the Nation-State, and Globalisation", en Wang, G. (ed.), *Global History And Migrations*, Nueva York, Routledge.
- Cruz-Barajas, E. C. y J. I. Aguirre-Ochoa (2009), "Fortalecimiento de las redes del conocimiento en el centro-occidente de México. Diáspora calificada y desarrollo regional", *Revista Cimexus*, vol. 4, N° 2, pp. 69–84.
- David, P. A. y D. Foray (2002), "Fundamentos económicos de la sociedad del conocimiento", *Comercio Exterior*, vol. 52, N° 6, pp. 472–490.
- Didou Aupetit, S. y J. P. Durand Villalobos (2013), "Foreigners in the mexican scientific field: First approximations", *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 15, N° 3, pp. 68–84.
- Foladori, G. *et al.* (2015), "Relevancia y apoyo público de la Investigación en Nanotecnología en México", *Anduli. Revista andaluza de ciencias sociales*, N° 14, pp. 195–222.
- Foladori, G. *et al.* (2018), "Patents and Nanotechnology Innovation in Mexico", *Recent Patents on Nanotechnology*, vol. 12, N° 3, pp. 243–256.
- Gaillard, J. (1999), *La coopération scientifique et technique avec les pays du Sud : ¿peut-on partager la science?*, Paris, Karthala.

- Glick Schiller, N. (1999), "Transmigrants and nation-states : something old and something new in the U.S. immigrant experience", en Hirschman, C., P. Kasinitz y J. DeWind (eds.), *Handbook of International Migration: The American Experience*, Nueva York, Russell Sage, pp. 94–119.
- Juárez Moreno, K. O. (2015), Entrevista personal, 25 de febrero.
- Korobkov, A. V. y Z. A. Zaionchkovskaia (2012), "Russian brain drain: Myths v. reality", *Communist and Post-Communist Studies*, vol. 45, N° 3-4, pp. 327–341.
- López, P. (2013), "Bionanotecnología, área de investigación con gran potencial", *Gaceta UNAM*, N° 4551, 14 de octubre, pp. 10–11.
- Luna, R. A. et al. (2012), "Estudio de pacientes con pie diabético y el uso de nanopartículas de plata en el Hospital Mirador de Tijuana Baja California", *Reunión del Grupo Interdisciplinario "Aplicación de Nanoplatina en Medicina y Veterinaria"*, CNYN-UNAM, Ensenada, 30 de noviembre, p. 18.
- Meyer, J. y J. Charum (1995), "La 'fuite des cerveaux' est-elle épuisée ? Paradigme perdu et nouvelles perspectives", *Cahiers des Sciences Humaines*, vol. 31, N° 4, pp. 1003–1017.
- Meyer, J., D. Kaplan y J. Charum (2001), "Nomadisme des scientifiques et nouvelle géopolitique du savoir", *Revue internationale des sciences sociales*, N° 168, pp. 341–354.
- Montes, M. I. et al. (2012) "Histological studies of diabetic foot samples obtained from patients treated with Argovit nanosilver", *2nd International Symposium on Nanoscience and Nanomaterials*, CNYN-UNAM, Ensenada, 4-8 de marzo, pp. 78–79.
- Núñez, M., J. C. García López y J. M. Pinos Rodríguez (2012), "Perspectivas de aplicación de Argovit en tratamiento de ganado y aves en el centro de México",

Reunión del Grupo Interdisciplinario “Aplicación de Nanoplatina en Medicina y Veterinaria”, CNYN-UNAM, Ensenada, 30 de noviembre, p. 12.

Peña Jasso, A. F. *et al.* (2012), “Aplicación de nanopartículas de plata y su uso en mascotas”, *Reunión del Grupo Interdisciplinario “Aplicación de Nanoplatina en Medicina y Veterinaria”*, CNYN-UNAM, Ensenada, 30 de noviembre, p. 11.

Pérez-Martelo, C. B. y D. Vinck (2008), “El Rol de la Comunicación en la Co-Construcción de Conocimiento y de Redes de Vinculación y transferencia en Nanotecnología”, ponencia presentada en el 3^{er} Simposium Internacional en Comunicación del Conocimiento y Conferencias: CCC 2008, Orlando, 29 de junio-2 de julio. Disponible en:

<<https://www.iiis.org/cds2008/cd2008csc/CCC2008/PapersPdf/D438TN.pdf>>

Pérez-Martelo, C. B. y D. Vinck (2009), “Redes sociotécnicas de co-gestión de conocimiento en nanotecnologías en Colombia: ¿entre la visibilidad internacional y la apropiación local?”, *Redes*, vol. 15, N° 29, pp. 113–137.

Robles-Belmont, E. (2009), “Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías”, *Redes*, vol. 15, N° 29, pp. 93–111.

Robles-Belmont, E. *et al.* (2017), “Viewing the development of nanomedicine in Mexico”, *Gaceta Médica de México*, vol. 153, N° 7, pp. 794–803.

Robles-Belmont, E. y R. De Gortari Rabiela (2014), “NST without NII? The Mexican Case Study”, en Ramani, S. V. (ed.), *Nanotechnology: What’s in it for emerging countries?*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 182–210.

Ryazantsev, S. V. (2015), “The modern russian-speaking communities in the world: Formation, assimilation and adaptation in host societies”, *Mediterranean Journal of Social Sciences*, vol. 6, N° 3, pp. 155–164.

- Salinas Ramírez, A. *et al.* (2009), “Aplicación de nanopartículas de plata a forro de cuero para calzado para pie diabético”, *XIV Simposio en Ciencia de Materiales*, CNYN-UNAM, Ensenada, 10-13 de febrero, p. 63.
- Sheffer, G. (1986), *Modern diasporas in international politics*, Londres, Croom Helm.
- Suarez, M. (2013), “Transnational Knowledge Networks in Nanotechnology in Mexico: Policy Incentives and Dynamics”, *Synesis: A Journal of Science, Technology, Ethics, and Policy*, vol. 4, General Section, pp. 76–84.
- Tejada, G. (2012a), “Mobility, knowledge and cooperation: scientific diasporas as agents of development migration and development”, *Migration and development*, vol. 10, N° 18, pp. 59–92.
- Tejada, G. (2012b), “Movilidad, conocimiento y cooperación: las diásporas científicas como agentes de desarrollo”, *Migration and development*, vol. 10, N° 18, pp. 67–100.
- Vinck, D. *et al.* (1993), “A Network Approach to Studying Research Programmes: Mobilizing and Coordinating Public Responses to HIV/AIDS”, *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 5, N° 1, pp. 39–54.
- Vinck, D. (2017), “Redes de conocimiento. El papel político de los investigadores en la integración internacional”, en Albornoz, Ma. B., J. Jiménez Becerra y J. Rojas Álvarez (eds.), *Ingeniería, Innovación y Tecnología Social*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, pp. 205–243.
- Wagner, C. S. y L. Leydesdorff (2005), “Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration in science”, *Research Policy*, vol. 34, N° 10, pp. 1608–1618.

Artículo recibido el 28 de noviembre de 2020

Aprobado para su publicación el 28 de septiembre de 2021