

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

La relación México-EUA en materia de ciencia

**Tres siglos de
colaboración científica**

**Políticas públicas en
educación superior,
innovación e
investigación**

**Ciencia, cruzando
fronteras**

**El TLCAN
y el desarrollo
de la ciencia
y la tecnología
en México**

**La tabla periódica de
los elementos químicos**



www.revistaciencia.amc.edu.mx



ISSN 1405-6550

9 771405 655003

\$50.00 MN
ISSN 1405-6550

Juliana Gil-Loaiza, América N. Lutz Ley, Benjamin T. Wilder, José Lever, Joaquín Ruiz y Christopher A. Scott

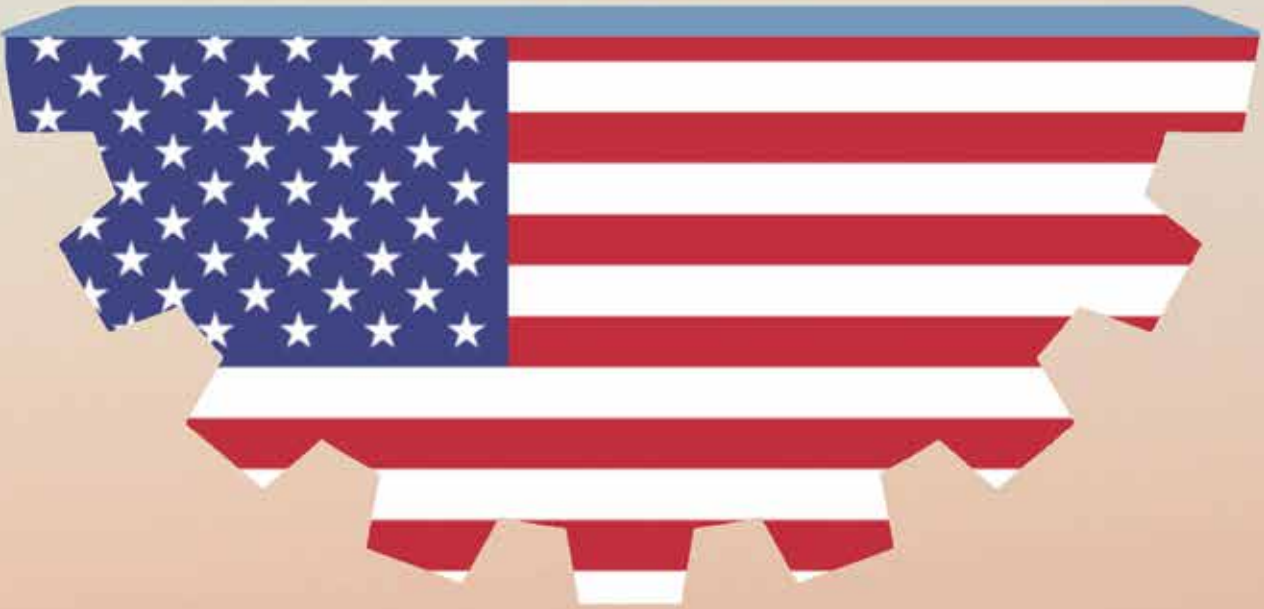


La ciencia cruza fronteras: Consortio Arizona-México para Ambientes Áridos

La cooperación internacional en el ámbito de la ciencia es una herramienta de innovación y desarrollo. El Consortio Arizona-México para Ambientes Áridos (Cazmex) contribuye a la consolidación científica, tecnológica y educativa, mediante el apoyo de proyectos relacionados con el medio ambiente, cambio climático y desarrollo social sustentable en zonas áridas y semiáridas de México y Estados Unidos.

Introducción

Nuestro planeta cada vez más nos demuestra la urgencia de reconocer que, más allá de las fronteras, las naciones compartimos ecosistemas que requieren de la integración de diversos esfuerzos y capacidades globales para contribuir de forma decidida al desarrollo de políticas medioambientales, climáticas y económicas para su protección. Las redes locales e internacionales, por conducto de las entidades públicas y privadas, aportan sus conocimientos y capacidades intelectuales y tecnológicas para la formación de capital humano y la transferencia del saber-hacer. Estos aportes se han incrementado y expandido al ir generando conciencia en torno a la planeación del desarrollo económico y social del planeta. Cada día es más común encontrar artículos científicos que han resultado de las colaboraciones entre los países (Gilbert, 2011), lo cual ayuda a los gobiernos y a los particulares a entender los problemas a los que se enfrentan las comunidades, y que limitan su desarrollo, así como identificar las oportunidades y el alcance del conocimiento científico reflejado en políticas públicas locales, regionales y globales que sean innovadoras y capaces de producir una verdadera transformación social y económica.





El Consorcio Arizona-México para Ambientes Áridos (Cazmex), proyecto de colaboración científica binacional establecido por la Universidad de Arizona (UA) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), ha contribuido al desarrollo científico y educativo de la región, así como a la integración binacional y la consolidación de esfuerzos para el monitoreo, el entendimiento y la solución de los problemas ambientales y sociales transfronterizos en las zonas áridas de Estados Unidos y México. Este artículo plasma las motivaciones y los retos de las colaboraciones bilaterales a partir de las experiencias científicas y educativas de los diferentes proyectos y las temáticas que han contado con el apoyo de Cazmex desde su consolidación en 2013.

Una sola frontera y los mismos desafíos con implicaciones globales

América cuenta con regiones áridas distribuidas a lo largo del continente (MacDougal, 1908; Scott y cols., 2013), las cuales son importantes ecosistemas para sus respectivos países, debido a las actividades económicas, como la minería (Gil-Loaiza y cols., 2016), y a los bienes y servicios ecológicos poco explorados de su diversidad endémica de flora y fauna.

El área árida y semiárida del suroeste de Estados Unidos y noroeste de México es la más extensa de América y hoy enfrenta grandes retos económicos, sociales y ambientales. La región está en el centro de los efectos del cambio climático (Ault y cols., 2016); esto se ve reflejado en el alto nivel de vulnerabilidad de ciertas especies de flora y fauna endémicas, la disponibilidad de recursos naturales como el agua y un alto riesgo para la población establecida en la zona, especialmente las comunidades indígenas.

Consorcio Arizona-México para Ambientes Áridos (Cazmex)

Las colaboraciones académicas y de investigación científica binacional comparten visiones y principios generales como la seguridad ecológica y humana, la investigación comparativa y aplicada, el enfoque inter y transdisciplinario, y la contribución

al diálogo entre científicos y la política pública. Por este motivo, las universidades son importantes centros de capital humano e infraestructura para liderar procesos de innovación y fortalecer el conocimiento mediante el entrenamiento de jóvenes científicos.

La colaboración múltiple entre la Universidad de Arizona, el Conacyt y otras instituciones ha facilitado que Cazmex alcance de manera exitosa los objetivos de: 1) generar conocimiento científico básico y monitorear las dinámicas físicas, biológicas y sociales en el desierto de Sonora y otros ambientes áridos; 2) crear estrategias para mejorar la calidad de vida y adaptarse sosteniblemente a los cambios globales en términos climáticos, sociales, ambientales y políticos; y 3) fortalecer y forjar nuevas colaboraciones binacionales y asociaciones científicas para estudiar la región socio-ecológica binacional.

Cazmex ha trabajado para apoyar proyectos de investigación colaborativa y estancias posdoctorales. De 2013 a 2018 recibieron apoyo seis posdoctorantes y 27 proyectos de colaboración (véase la Tabla 1). El Consorcio ahora incluye socios de diferentes instituciones mexicanas que trabajan con investigadores de la Universidad de Arizona (véase la Figura 1 y la Tabla 2) y ha facilitado el financiamiento de proyectos en las áreas de mayor interés y preocupación en la región, por ejemplo, climas extremos como sequías prolongadas, gestión de recur-

Tabla 1. Proyectos apoyados por el Consorcio Arizona-México para Ambientes Áridos (Cazmex), desde 2013 hasta 2018

Temas	Número de proyectos	Inversión (USD)
Herramientas para el diagnóstico y la adaptación a la variabilidad y el cambio climático	4	\$ 240,000
Monitoreo y remediación de impactos de la minería y de calidad del agua	8	\$ 450,000
Ecología del cambio climático: impactos y conservación	8	\$ 333,080
Adaptación al cambio ambiental y socioeconómico en zonas áridas de Norteamérica	7	\$ 420,000
Proyectos posdoctorales	6	\$ 240,000
Total	33	\$ 1,683,080



Figura 1. Mapa del suroeste de Estados Unidos y noroeste de México. Los puntos amarillos indican sitios en las zonas áridas y semiáridas en donde se han ejecutado proyectos Cazmex. Fuente: Google Earth, U. S. Departamento de Estado -Geografía- © 2017 Google. Image Landsat/Copernicus. Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO.

Tabla 2. Instituciones participantes en proyectos Cazmex desde 2013

País	Institución, ciudad
México	Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), Ciudad de México; Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada; Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Guaymas; Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Saltillo; El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana; Colegio de Postgraduados, Montecillo; El Colegio de Sonora, Hermosillo; Fundación Universidad de Las Américas, Puebla; Instituto de Ecología (UNAM), Hermosillo; Instituto de Geología (UNAM), Hermosillo; Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, San Luis Potosí; Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria; Instituto Tecnológico de Sonora, Obregón; Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali; Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, Ciudad de México; Universidad de Monterrey; Universidad de Sonora, Hermosillo; Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Hermosillo, Querétaro y Ciudad de México.
Estados Unidos	Jardín Botánico del Desierto, Phoenix; Universidad de California, Santa Cruz; Universidad de Arizona, Tucson.

Nota: IPN, Instituto Politécnico Nacional; UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México.

los hídricos, procesos y servicios de los ecosistemas, sistemas alimentarios, energías renovables y dinámica social, institucional, gobernanza y desarrollo económico de la región.

Oportunidades científicas transfronterizas

La comunicación entre las instituciones participantes y los científicos resulta esencial para evaluar el proceso y el impacto de la cooperación científica. Conscientes de la importancia de esta iniciativa binacional para el desarrollo científico de la región, en particular durante el actual momento crítico en las relaciones diplomáticas entre México y Estados Unidos, en mayo de 2017 se llevó a cabo una cumbre en la Universidad de Arizona en Tucson, donde se reunieron líderes institucionales y académicos, así como investigadores participantes de las convocatorias de Cazmex. En el encuentro, tuvimos la oportunidad de compartir experiencias, evaluar el proceso colaborativo y discutir las nuevas estrategias de fortalecimiento interinstitucional.

Las conclusiones de esta cumbre ayudaron a identificar los desafíos para disminuir la brecha entre la ciencia y los procesos de toma de decisiones con impacto en la política pública y social. Los temas relativos a las sinergias críticas para la región se abordaron en cuatro áreas temáticas del consorcio Cazmex, cuyos hallazgos preliminares se resumen a continuación.



1. Herramientas para el diagnóstico y la adaptación a la variabilidad y el cambio climático

La colaboración binacional ha permitido el acoplamiento de herramientas de diagnóstico biofísico e hidrológico importantes para el monitoreo y la evaluación de los efectos del cambio climático. Esto se puede fortalecer con la creación de un inventario y una base de datos regional. Los hallazgos preliminares de los proyectos apoyados por Cazmex sugieren que en esta parte del mundo ha habido más eventos de sequía extrema en los últimos 30 años. Los indicadores como el clima y la topografía pueden aprovecharse para el monitoreo de recarga de acuíferos y el uso eficiente del agua; mientras que el clima y el material parental del suelo son herramientas útiles para la creación de mapas morfológicos, la evaluación de las capacidades del suelo y la definición de su uso adecuado. Por otra parte, la contaminación del aire es una circunstancia multifactorial vinculada con la dinámica ecológica que requiere acciones que van más allá de la política respecto a la contaminación por automóviles; por ejemplo, los incendios forestales en el centro y sur de México contribuyen a la contaminación por carbono en la Ciudad de México.

2. Monitoreo y remediación de impactos de la minería y de calidad del agua

En la región transfronteriza el agua es un recurso limitado. Las actividades humanas provocan riesgos para la seguridad hídrica y existe poco conocimiento acerca de la distribución y concentración de sus contaminantes. Los desechos de la minería y los contaminantes emergentes en el agua son causa de preocupación en la región, pues sus efectos no consideran ninguna barrera o límite transfronterizo; por lo tanto, la innovación en cuanto a procesos biológicos e ingenieriles que ayuden a identificar, evaluar y remover los contaminantes es de gran importancia. Los hallazgos preliminares de los proyectos apoyados por Cazmex sugieren que la colaboración binacional en este tema ha permitido a los investigadores tener acceso a una gama más amplia de muestras, lo cual permite el entendimiento y la planeación de métodos analíticos y nuevas tecnologías para la evaluación y remediación de los contaminantes.

3. Ecología del cambio climático: impactos y conservación

Es importante entender las interacciones de las variables ecológicas con los elementos físicos, biológicos y socioeconómicos, así como el impacto del comportamiento humano en los ecosistemas y de su participación en políticas de conservación. Los estudios enfocados en ecosistemas locales o regionales tienen que utilizar datos históricos y considerar eventos a gran escala y a largo plazo que afectan los procesos locales. Los hallazgos preliminares de los proyectos apoyados por Cazmex sugieren que el aumento de la erosión por el viento está asociado a las altas concentraciones de sales y menos nutrientes en el suelo. La mortalidad del pino mexicano en la Sierra Madre está estrechamente relacionada con el incremento en la temperatura.

4. Adaptación al cambio ambiental y socioeconómico en zonas áridas de Norteamérica

La inequidad social y pobreza, así como la falta de estándares mínimos de bienestar y de educación en general –y sobre todo ambiental– incrementan la vulnerabilidad de la sociedad ante el cambio climático. Las interacciones entre el clima y los factores socioeconómicos se dan en forma circular: el comportamiento humano genera cambios ambientales, que a su vez impactan el bienestar socioeconómico y la salud pública en la región. Los hallazgos preliminares de los proyectos apoyados por Cazmex sugieren que la falta de infraestructura en las viviendas está asociada con la incidencia de casos de enfer-



Mina de cobre a cielo abierto, abandonada cerca de Green Valley, Arizona.

medades infecciosas transmitidas por vectores, en particular el dengue. Adicionalmente, las actividades esporádicas por parte de las agencias gubernamentales afectan las percepciones de los habitantes respecto a su nivel de seguridad, y esto hace que las personas lleven a cabo menos acciones preventivas en sus hogares, por lo que aumenta potencialmente la incidencia de enfermedades. La vulnerabilidad en la frontera ante el cambio climático varía dependiendo del género y las características socioeconómicas de la población. Las mujeres de las comunidades rurales sin acceso a bienes, servicios o recursos productivos tienen una menor capacidad para enfrentar estos cambios. La adaptación humana requiere de mayor información acerca de los problemas ambientales y del cambio climático por parte de las comunidades, por lo que es importante fortalecer el papel de las agencias locales y estatales en su relación con la comunidad.

■ **Desafíos comunes**

■ En este proceso de colaboración binacional hay interrogantes y desafíos enmarcados por diversos factores, como las diferencias culturales, el lenguaje, la economía y los aspectos sociales. Estas variables influyen de varias maneras en los problemas comunes para ambos lados de la frontera. Abarcar diferentes problemáticas transfronterizas en el contexto actual, local y global, como el cambio climático, es desafiante para la investigación y la comunicación. Los retos compartidos a los que se enfrentan los cien-



■ Rancho Anapra, una de las comunidades más pobres dentro de Ciudad Juárez, Chihuahua.

tíficos que participan en colaboraciones binacionales gracias a Cazmex se explican a continuación.

El acceso, la calidad y la integración de datos a través de la frontera representa un desafío debido a la asimetría temporal y espacial de la información; así como también sucede con la calidad y la disponibilidad de datos respecto a temas comunes entre México y Estados Unidos. Esto incrementa la complejidad y la dificultad cuando se realizan estudios comparativos que intentan integrar la información desde diferentes escalas de análisis, lo cual perjudica la confiabilidad de los resultados.

Por otro lado, la comunicación, difusión y alcance de los hallazgos científicos dirigidos a la comunidad y a los legisladores requiere de información pertinente y útil para todas las partes interesadas. Existe disparidad entre los resultados investigativos y su aplicación en campo o por la comunidad. Para superar el reto de la comunicación científica por medio de diferentes disciplinas, el entrenamiento de jóvenes científicos en el área de investigación socioecológica es importante y debe ser considerada en los programas de las instituciones académicas. También es necesaria la creación de indicadores que permitan evaluar y cuantificar los beneficios como resultado de las colaboraciones.

En tanto, la duración usual de las estancias posdoctorales de 12 meses puede ser un lapso insuficiente para concluir de manera satisfactoria un proyecto respecto a estos temas. Adaptarse a un cambio de país y cultura toma tiempo.

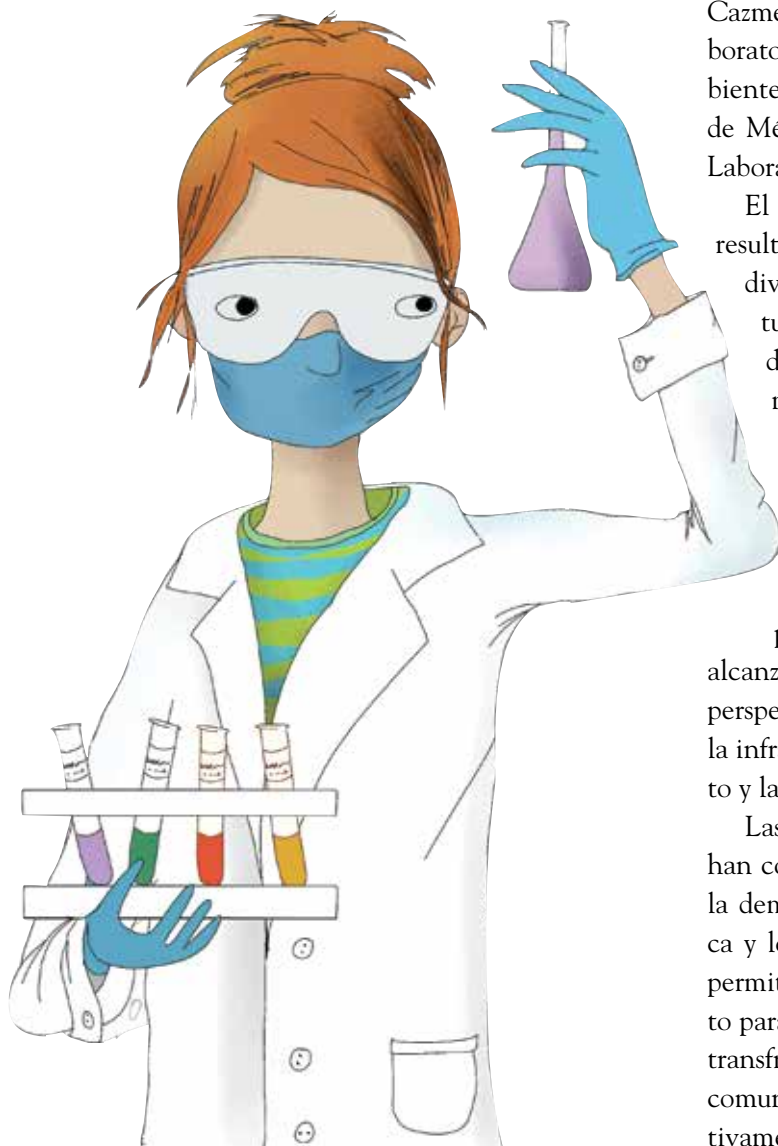
Por último, la calidad de las comunicaciones e interacciones entre la ciencia, la política y la comunidad requiere la integración de las partes interesadas en el proceso investigativo. El uso del método científico en un sentido más aplicado permite estrechar la brecha entre la ciencia, la política pública y los procesos de toma de decisiones.

■ **Horizontes en la colaboración** ■ **México-Estados Unidos**

■ Las colaboraciones binacionales requieren del apoyo y el compromiso de diferentes instituciones para que las relaciones prevalezcan y sean exitosas.



El Conacyt ha desempeñado un rol fundamental en el establecimiento y la consolidación de diversas colaboraciones internacionales, con el fin de incrementar el desarrollo y la competitividad mexicana. Algunos ejemplos de este compromiso son el Instituto para México y Estados Unidos de la Universidad de California (UC Mexus), creado en 1980, así como ConTex, establecido entre el sistema de la Universidad de Texas y el Conacyt. Estos esfuerzos se extienden hacia varias universidades de Estados Unidos por conducto de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Existen, por ejemplo, 94 convenios entre la UNAM e instituciones estadounidenses (DGECI, 2017).



En el complejo escenario político internacional, sobre todo en tiempos recientes, la colaboración científica es un puente para ayudar a las naciones a resolver sus diferencias políticas, económicas y de opinión, con el fin de enfrentar retos urgentes compartidos, como aquellos del medio ambiente y el clima global. En este sentido, Cazmex puede ser un punto de sinergia y un puente de integración de acciones ambientales, sociales y de gobernanza para ambos países. Con este objetivo, las futuras investigaciones podrían estructurarse como un conjunto más reducido, pero más ambicioso, de proyectos de investigación potencialmente interconectados, cada uno con una duración de dos a tres años, que incluya la participación de estancias posdoctorales. Cazmex tiene el potencial de convertirse en un laboratorio binacional para las zonas áridas y los ambientes extremos, con instalaciones en el noroeste de México y en Arizona, como la Biosfera 2 y el Laboratorio del Desierto en Tumamoc Hill.

El consorcio debe incentivar el impacto de sus resultados y la comunicación hacia un público diverso, por medio de reportes y notas conceptuales (*policy briefs*) que brinden lineamientos de política pública para los legisladores, tomadores de decisiones y líderes comunitarios. El sector privado también es importante en el fortalecimiento de la investigación colaborativa, debido a que puede convertir iniciativas científicas en ideas patentables y comercializables. Los esfuerzos de cooperación binacional como Cazmex pueden alcanzar su verdadero potencial al actuar con una perspectiva de innovación que integre al gobierno, la infraestructura, los mecanismos de financiamiento y la comunidad.

Las colaboraciones científicas internacionales se han convertido en una herramienta importante en la demanda global por mejorar la calidad científica y los mecanismos de interacción. Estos enlaces permiten trabajar de manera efectiva y en conjunto para abordar y enfrentar los desafíos de la región transfronteriza y del planeta. Los científicos y la comunidad deben participar abierta, colectiva y activamente en la generación de conocimientos que

tengan impactos en diferentes ámbitos institucionales y en los procesos de política pública y toma de decisiones. Ahora más que nunca, y con el mayor número de colaboraciones científicas en la historia entre ambos países, es de gran importancia fortalecer las relaciones bilaterales y crear soluciones basadas en la ciencia para afrontar los eventos extremos y el cambio climático global.

Agradecemos a los científicos, estudiantes e instituciones participantes de la cumbre "Ciencia Cruzando Fronteras" 2017 en la Biosfera 2, en Tucson, Arizona. Asimismo, a las instituciones que han colaborado con el consorcio: Conacyt, UNAM, Programa en Justicia Social y Ambiental Agnese Nelms Haury, Fundación Thomas R. Brown y Universidad de Arizona (Facultad de Ciencias, Facultad de Ciencias Sociales y Centro Udall para Estudios en Política Pública).

Juliana Gil-Loaiza

Escuela de Recursos Naturales y Medioambiente, Tucson.
juligil@email.arizona.edu

América N. Lutz Ley

El Colegio de Sonora, Hermosillo.
alutz@colson.edu.mx

Benjamin T. Wilder

Laboratorio del Desierto en Tumamoc Hill, Universidad de Arizona, Tucson.
bwilder@email.arizona.edu

José Lever

Relaciones México - U.S., Universidad de Arizona, Tucson.
jlever@email.arizona.edu

Joaquín Ruiz

Facultad de Ciencias, Universidad de Arizona, Tucson.
jruij@email.arizona.edu

Christopher A. Scott

Centro Udall para Estudios en Política Pública, Universidad de Arizona, Tucson.
cascott@email.arizona.edu

Lecturas recomendadas

Ault, T. R., J. S. Mankin, B. I. Cook y J. E. Smerdon (2016), "Relative impacts of mitigation, temperature, and precipitation on 21st-century megadrought risk in the American Southwest", *Science Advances*, 2:e1600873.

Conacyt (2014), Programa institucional 2014-2018, *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. Disponible en: <<http://148.207.1.115/siicyt/docs/contenido/ProgInst1418.pdf?pSel>>. Consultado el 9 de junio de 2017.

DGECI (2017), Convenios de colaboración vigentes entre la UNAM e instituciones de educación superior y organismos de América, *Dirección General de Cooperación e Internacionalización*. Disponible en: <http://www.global.unam.mx/es/coop_academicos/convenios.html>. Consultado el 11 de junio de 2017.

Gil-Loaiza, J., S. A. White, R. A. Root *et al.* (2016), "Phytostabilization of mine tailings using compost-assisted direct planting: translating greenhouse results to the field", *Science of the Total Environment*, 565:451-461. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.168>>. Consultado el 1 de junio de 2017.

Gilbert, N. (2011), "Research sans frontières: Academy report finds that international collaboration is on the rise, and should not be seen as 'an easy target' for cuts", *Nature*, 471(7340):559-560. Disponible en: <<https://doi.org/10.1038/471559>>. Consultado el 1 de julio de 2017.

MacDougal, D. T. (1908), *Botanical Features of North American Deserts*, Washington, Carnegie Institution of Washington, publication no. 99.

Patten, D. T. (1998), "Riparian ecosystems of semi-arid North America: Diversity and human impacts", *Wetlands*, 18(4):498-512. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/BF03161668>>. Consultado el 13 de agosto de 2019.

Scott, C. A., F. J. Meza, R. G. Varady *et al.* (2013), "Water security and adaptive management in the arid Americas", *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2):280-289. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1080/00045608.2013.754660>>. Consultado el 20 de junio de 2017.