

- ALEJANDRO ESPINOZA TENORIO
- MARÍA AZAHARA MESA JURADO
- ALEJANDRO ORTEGA ARGUETA
- MAGDALENA HERNÁNDEZ CHÁVEZ

## Laboratorios para la sustentabilidad: nuevos espacios para el quehacer científico y la formación de recursos humanos

### RESUMEN

La relación entre ciencia y sociedad está en constante evolución debido a los continuos desafíos que implica el desarrollo de la humanidad. Ante los procesos de deterioro ambiental global, se ha incrementado la presión social sobre aquella parte de la academia comprometida con la creación de conocimiento teórico y práctico que respalde el manejo sostenible de los recursos naturales y un desarrollo acorde. En este contexto, durante la década de 1990 emergen nuevas disciplinas científicas con una visión sistémica, sintética y humanística, cuyo desarrollo requiere de novedosas capacidades humanas y logísticas. Así es como surgen espacios académicos especializados que cuentan con los medios necesarios para favorecer la formulación de propuestas y soluciones que atiendan los retos de la sustentabilidad. El objetivo de este trabajo es poner en relieve la importancia de los laboratorios para la sustentabilidad para el quehacer científico actual y sus capacidades para favorecer un mayor acercamiento entre la ciencia y la sociedad.

**PALABRAS CLAVE:** INVESTIGACIÓN; COMPLEJIDAD; INNOVACIÓN; SUSTENTABILIDAD

Recepción: 24 de septiembre de 2015.

Dictamen 1: 21 de octubre de 2015.

Dictamen 2: 9 de noviembre de 2015.

*Laboratories for sustainability:  
new spaces for scientific work and education*

**ABSTRACT**

The relationship between science and society is constantly evolving due to the continuous challenges arising from humankind development. Given the global environmental degradation processes, social pressure has increased on the academic sector committed to the creation of theoretical and practical knowledge, which supports sustainable management of natural resources and corresponding development. In this context, during the nineties, new scientific disciplines appeared with a systemic, synthetic and humanistic vision. Development of such disciplines required novel human and logistical capabilities. Specialized laboratories equipped with the necessary means to encourage the formulation of proposals and solutions addressing sustainability challenges arisen. The aim of this paper is to highlight the relevance of sustainability laboratories in current scientific work, and their abilities to facilitate a closer relationship between science and society within a framework of sustainability.

**KEYWORDS:** RESEARCH; COMPLEXITY; INNOVATION; SUSTAINABILITY.

# LABORATORIOS PARA LA SUSTENTABILIDAD: NUEVOS ESPACIOS PARA EL QUEHACER CIENTÍFICO Y LA FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

ALEJANDRO ESPINOZA TENORIO\*

MARÍA AZAHARA MESA JURADO\*\*

ALEJANDRO ORTEGA ARGUETA\*\*\*

MAGDALENA HERNÁNDEZ CHÁVEZ\*\*\*\*

## INTRODUCCIÓN

La relación entre la ciencia y la sociedad ha ido evolucionando a lo largo de las distintas etapas de la historia hasta llegar al concepto de ciencia que hoy conocemos. Esta relación ha pasado por varias “revoluciones académicas”.<sup>1</sup> En las más recientes, los científicos dejaron de estar enclaustrados en las universidades y comenzaron a construirse “contratos” con la sociedad, que estimularon una producción de conocimiento más práctico y aplicado a las demandas reales de la humanidad.

Ante el acelerado deterioro ambiental del siglo XX, los desafíos a la ciencia se volvieron abrumadores, de manera que se volvió insuficiente la esquematización reduccionista de la ciencia “normal”,<sup>2</sup> ya que el clamor social por alcanzar un desarrollo sustentable inevitablemente llevó a los científicos a lidiar con el análisis de procesos complejos y dinámicos. Fue necesario un nuevo entendimiento del

\* El Colegio de la Frontera Sur. Correo electrónico: aespinoza@ecosur.mx

\*\* El Colegio de la Frontera Sur. Correo electrónico: azacosur@gmail.com

\*\*\* El Colegio de la Frontera Sur. Correo electrónico: aortega@ecosur.mx

\*\*\*\* El Colegio de la Frontera Sur. Correo electrónico: mhernand@ecosur.mx

<sup>1</sup> En el trabajo de Castro y Vega (2009) se realiza un análisis de la evolución de la relación universidad y sociedad donde se reflejan estas “revoluciones académicas”.

<sup>2</sup> En el estado “normal” de la ciencia propuesto por Kuhn las incertidumbres se manejan automáticamente, ignorándose los valores y los problemas de fondo.

mundo como un todo inseparable e interrelacionado, que permitiera incluir en la toma de decisiones urgentes, niveles altos de riesgo e incertidumbre y valores en disputa (Funtowicz y Ravetz, 1992, 1993). Así se desarrolló la teoría de los sistemas complejos o teoría sistémica, que contempla que los fenómenos están compuestos por varios y diversos elementos que influyen recíprocamente sobre el conjunto (Maani y Cavana, 2007), lo que ocasiona que el comportamiento de las partes integradas como un “todo” sea diferente al que tendrían de manera aislada (Dambacher y Ramos Jiliberto, 2007).

Cada vez es más claro que, sin el conocimiento proveniente de diferentes disciplinas y sin analizarse de forma integrada, los problemas de la sociedad contemporánea con dificultad podrían ser resueltos (Buanes y Jentoft, 2009). Bajo el marco conceptual y metodológico de los sistemas complejos se han formado grupos de investigación multidisciplinarios para abordar el estudio de un fenómeno determinado. Los investigadores describen sus planteamientos desde diferentes ópticas de análisis y, a partir de la discusión y reinterpretación, se construye una nueva aproximación grupal e integradora que quizás no se hubiera contemplado anteriormente desde la óptica unidisciplinaria. De esta forma se espera poder apreciar de una manera más integral las interrelaciones de los sistemas humanos y naturales.

Para el caso de las disciplinas científicas involucradas en atender las problemáticas asociadas a las crisis socioambientales, surgió una mayor flexibilidad hacia la investigación multidisciplinaria con una visión sistémica, sintética y humanística. Se crearon nuevas disciplinas integradoras como la ecología del paisaje, la conservación de la biodiversidad y las ciencias ambientales y de la sustentabilidad. Incluso algunos de los campos de estudio transdisciplinar surgieron de la fusión de dos o más disciplinas como por ejemplo, economía ecológica, ambiente y salud, y sociología ambiental.

Estos acercamientos emergentes multi, inter y transdisciplinarios<sup>3</sup> fueron forjando un nuevo perfil de investigadores, que fue acompañado del desarrollo de capacidades logísticas novedosas (Amir, 1987; Brown *et al.*, 2015). Una de estas nuevas herramientas son los espacios de trabajo donde se realizan las investigaciones

<sup>3</sup> Según Morse *et al.* (2007) el rango de integración de las disciplinas es creciente, desde multi, inter hasta transdisciplinario y depende de siete aspectos: integración del vocabulario, nivel de interacción, definición del problema, epistemología, pregunta de investigación y teoría, creación de conocimiento y productos. Por ser el grado de integración más comúnmente empleado, en el presente trabajo utilizamos el término interdisciplinario para referirnos a todos los esfuerzos de equipos de investigación que definen de manera coordinada un problema y, en consecuencia, definen mutuamente un marco metodológico consistente con las múltiples disciplinas representadas en el equipo.

interdisciplinarias sobre desarrollo sustentable. Lo que distingue a este diferente tipo de laboratorios es la necesidad de contar con los medios necesarios para facilitar un acercamiento de la sociedad con la academia y así plantear sus problemas, colaborar con la creación y transmisión de conocimiento, revisar las estrategias y, sobre todo, participar en la toma de decisiones. El objetivo de este trabajo es poner de relieve la importancia de este tipo de laboratorios para favorecer un mayor acercamiento de la ciencia con la sociedad.

## CIENTÍFICOS INNOVADORES, LABORATORIOS NOVEDOSOS

En la segunda mitad del siglo XX se crearon programas docentes, facultades y centros de investigación para el desarrollo de disciplinas científicas interdisciplinarias que buscaban impulsar tanto proyectos de investigación, como capacitar a las nuevas generaciones de investigadores con herramientas propias para este quehacer científico (Amir, 1987; Bravo-Mercado y María Gallegos, 2000; Espinoza Tenorio *et al.*, 2011). En ese entonces, se definieron los posgrados de las universidades como las instancias ideales para encauzar este proceso formativo de recursos humanos de alto nivel (Espejel *et al.*, 2012; Olsen, 2000). Uno de los principales objetivos de estos programas de posgrado fue que los alumnos aprendieran a “traducir” hallazgos científicos de diferentes áreas académicas en soluciones prácticas a un problema social (Vázquez *et al.*, 2011).

Actualmente, los avances en infraestructura (Morse *et al.*, 2007; e.g., Rivera Arriaga, 1998), financiamiento (e.g., Espinoza Tenorio y Espejel, 2012) y políticas de gobierno (Chircop, 1996; Zhangy Wen, 2008) que fueron diseñados ex profeso para propiciar la sustentabilidad son evidentes. Sin embargo, el perfil del científico multidisciplinario permanece desdibujado y poco entendido por las corrientes científicas tradicionales (Amir, 1987), por lo que sigue siendo una minoría. Incluso el entendimiento de los enfoques interdisciplinarios continúa siendo limitado por la propia comunidad académica cuando se evalúa su producción científica (Bocco *et al.*, 2014) o cuando se estigmatiza el uso de fuentes de información complementarias en investigaciones relacionadas con el manejo sustentable de los recursos naturales (e.g., conocimiento ecológico local, literatura gris; Gilchrist *et al.*, 2005; Thatje *et al.*, 2007). En este contexto de cambio constante y alta incertidumbre, aún son frecuentes las preguntas del tipo: ¿cómo es el trabajo de un científico interesado en crear conocimientos para apoyar la toma de decisiones sobre el cambio climático?, ¿qué herramientas necesita

el académico que analiza aspectos relacionados con la conservación de la biodiversidad, la economía ambiental o el manejo de sistemas socioecológicos (SSE)?, ¿cómo puede diseñarse un proyecto de investigación enfocado en resolver las problemáticas multidimensionales de alguna comunidad o sector productivo?

Aunque los investigadores multidisciplinares atienden temas tan diversos y complejos como las problemáticas que estudian, en general todos tienen algo en común: la virtud de reunir equipos de trabajo para colaborar y compartir ideas sin los límites disciplinares tradicionales. Los proyectos que estos investigadores desarrollan se caracterizan por ser diseñados para solucionar un problema con las características de ser integrales, interactivos, reflexivos y colaborativos (Robinson, 2008).

Es por ello que los científicos involucrados en la solución de los desafíos de la sustentabilidad trabajan reunidos con otros colegas que integran el conocimiento y experiencia de diversas disciplinas con el conocimiento empírico de usuarios potenciales. Es necesario interactuar, a lo largo del desarrollo de los proyectos, con otros actores como funcionarios, empresarios, representantes de la sociedad y grupos académicos. Las discusiones con los diversos actores permiten obtener información nueva que se va incorporando continuamente a las investigaciones de manera dinámica, de modo que facilita el repensar de los planteamientos originales y se van haciendo ajustes tanto conceptuales como metodológicos.

El quehacer de los científicos multidisciplinares es diverso.<sup>4</sup> Pueden trabajar en sus oficinas para redactar directrices sobre el manejo de ciertos recursos o preparar dictámenes ambientales. También pueden invertir su tiempo en un aula dictando una cátedra sobre sustentabilidad o viajar al campo o a una comunidad para aplicar entrevistas. Sus espacios laborales no se limitan a los tres anteriores. Igualmente pueden encontrarse en foros de discusión y/o espacios colectivos para recabar opiniones, repensar sus ideas, visualizar imágenes y analizar bases de datos o mapas mentales. Estos investigadores se pueden mover con habilidad entre la oficina, el campo y/o en una reunión con actores locales en comunidades. Del mismo modo, los científicos de la sustentabilidad son capaces de apreciar los sistemas y sus múltiples dimensiones, al combinar enfoques y acercamientos metodológicos de diferentes disciplinas, ya sean ciencias exactas, sociales o ambientales.

Es por ello que surge la necesidad de crear nuevos laboratorios especialmente diseñados para el trabajo en conjunto de profesionistas que aporten sus diferentes

<sup>4</sup> En el trabajo de Espejely colaboradores (2005), se identificaron al menos once tipos de productos del trabajo interdisciplinario, entre los que destacan: planes de manejo para Áreas Naturales Protegidas, ordenamientos ecológicos, estudios de riesgo e impacto ambiental, programas de educación ambiental y planes de desarrollo urbano.

herramientas disciplinarias y formulen propuestas que atiendan de manera integral tanto problemáticas ambientales como sociales. Estos espacios necesitan estar equipados con los medios necesarios para favorecer una investigación combinada y colectiva que trascienda los límites disciplinarios para respaldar la formulación de propuestas y soluciones que atiendan los retos del desarrollo sustentable.

## HERRAMIENTAS PARA LA SUSTENTABILIDAD

De acuerdo con su naturaleza, los laboratorios para la sustentabilidad persiguen dos objetivos particulares: integrar información y llegar a acuerdos entre diferentes actores que usarán la información.

En plena “era de la información”, el cúmulo de conocimiento que se crea a una velocidad vertiginosa es abrumador, y llega a ofuscar la labor científica de reunir y consultar datos fiables (Booth *et al.*, 2008). Es por ello que la tarea de integrar información requiere de recursos humanos y técnicos que posean capacidades técnicas para localizar, reunir, transformar y procesar ágilmente grandes cantidades de datos de diferente naturaleza. Por ejemplo, el entendimiento de la dinámica de un ecosistema y su potencial respuesta ante un disturbio externo, implica una mayor demanda de información simultánea sobre múltiples especies. Por esa razón, en los laboratorios de la sustentabilidad se dispone de herramientas para la colecta permanente de información ambiental como los sensores remotos, sistemas remotos de monitoreo ambiental y drones, así como para el almacenamiento y procesamiento de datos socioeconómicos obtenidos por medio de entrevistas, encuestas e información de fuentes secundarias (*e.g.* textos, estadísticas, fotografía y video).

Como una parte de la información ambiental necesita ser georreferida para representar y monitorear la dinámica espacial de los procesos socioecológicos (Espinoza Tenorio *et al.*, 2014), se utilizan sistemas de geoposicionamiento global (GPS, por sus iniciales en inglés) para poder analizarla y desplegarla en sistemas computacionales de información geográfica (SIG) y cartografía digital. En este sentido, cada vez son más importantes las herramientas como el código de barras por especie y la ecogenómica en ambientes marinos, pues ambas permiten identificar y analizar el comportamiento espacial de las especies (Hofmann y Gaines, 2008)

Esta enorme cantidad y complejidad de datos requiere equipos de cómputo con gran capacidad de almacenamiento y procesamiento para poder organizar, analizar y desplegar información de varias series de periodos de tiempo. Para esto existen

programas especializados en el análisis de grandes bases de datos (e.g., Atlas.ti®, MaxQDA®, QDAMiner®) que apoyan el modelaje y la proyección de escenarios con variables ambientales, geográficas y/o socioeconómicas (e.g., Maxan®, Cormix®).

El concepto de laboratorio de la sustentabilidad también incluye el planteamiento de plataformas de diálogo para identificar, analizar y construir consensos sociales sobre territorios y recursos naturales en disputa. Es por ello que el trabajo en este tipo de laboratorios involucra la participación de actores sociales diversos, como organizaciones de la sociedad civil (OSC) y organizaciones productivas que se encuentren vinculadas con el uso y conservación de los recursos naturales. La participación de miembros de los tres niveles de gobierno también es crucial, en especial los representantes de los municipios, quienes aun con recursos económicos y humanos limitados, tienen un papel cada vez más activo en la toma de decisiones sobre el manejo de sus recursos naturales y las iniciativas de desarrollo rural (Suárez de Vivero *et al.*, 2008). Otros actores pertinentes son la industria, la academia y el público en general.

Para facilitar esa tarea, los laboratorios pueden disponer de equipo para la realización de talleres *in situ*, así como también contar con programas de cómputo que faciliten el análisis de sistemas complejos y la toma de decisiones con alta incertidumbre (e.g., Super Decisions®, Netica®, Stella®). Estas capacidades permiten a los laboratorios apoyar en el diseño de estrategias de gestión ambiental y desarrollo sustentable donde la sociedad es el objeto de estudio, tales como los esquemas para el pago por servicios ecosistémicos, la implementación de políticas públicas orientadas a mejorar las condiciones de gobernanza de sectores sociales vulnerables (Bennett, 2005) o el arrendamiento y compra de tierras para la conservación de ecosistemas (Beck *et al.*, 2004). De manera complementaria, es necesario usar métodos y técnicas de educación ambiental formal y no formal, los diagnósticos participativos rápidos, y las dinámicas de facilitación para propiciar un pensamiento colaborativo, fomentar conciencia sobre un tema en particular, y generar un análisis que apoye la toma de decisiones mejor informada.

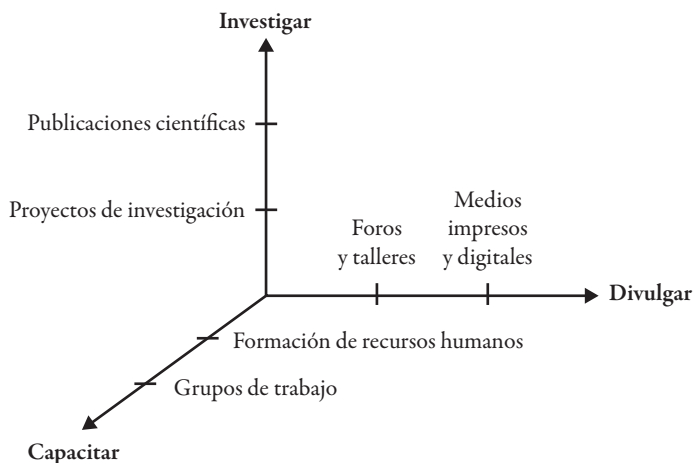
## INVESTIGAR, CAPACITAR Y DIVULGAR PARA LA SUSTENTABILIDAD

Los laboratorios para la sustentabilidad tienen la capacidad potencial de apoyar en al menos tres funciones sustantivas: investigación, formación de recursos humanos y divulgación de conocimiento (véase la figura 1). En estos espacios se procura



participar activamente en el diseño y ejecución de proyectos de investigación que proporcionen elementos para una toma de decisiones informada, lo que permitiría la construcción de un balance entre el desarrollo económico de la sociedad y la conservación de los recursos ambientales. La característica distintiva de este tipo de proyectos es que buscan identificar las dimensiones y causalidades múltiples de un problema para así construir todas las posibles soluciones y alternativas, en lugar de una sola (Diamond, 1983). En este escenario multicausal, los efectos de las respuestas sociales también deben ser objeto de estudio de los proyectos de investigación interdisciplinarios, pues en muchos casos las políticas institucionales pueden llegar a tener consecuencias inesperadas (Cinti *et al.*, 2010).

FIGURA 1. TRES EJES DE ACCIÓN EN LOS QUE DEBEN INCIDIR LOS LABORATORIOS PARA LA SUSTENTABILIDAD



Fuente: Elaboración propia.

La publicación de los hallazgos en los proyectos de investigación es una fase elemental de la labor científica, pero resulta difícil de lograr para el gremio enfocado en la multidisciplinariedad. Son pocas las revistas interesadas en publicar trabajos de esta índole, y las que sí los publican no figuran en los índices de calidad nacional e internacional. Para superar estos inconvenientes (Pohl *et al.*, 2015), los grupos de trabajo multidisciplinario que se apoyen en los laboratorios para el desarrollo sustentable podrán incrementar sus capacidades de coordinación, optimizar el uso de recursos humanos, económicos y materiales, además de compartir una visión

integral que reditúe en una retroalimentación de conocimientos que mejore la calidad de las investigaciones.

Respecto de la educación y la formación de recursos humanos, los laboratorios son espacios idóneos donde las generaciones jóvenes pueden adquirir la capacidad de investigar de manera integral los procesos sociales, económicos y ecológicos que involucran el desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales. Para esto, es necesario diseñar programas educativos novedosos, acordes con los requerimientos que plantean los desafíos del desarrollo actual. Aunque parece claro el camino a seguir, no lo es del todo, pues hasta ahora imperan los programas de disciplinas separadas en la mayoría de las universidades del mundo. Las disciplinas que generalmente soportan las bases de los programas en sustentabilidad son: geografía, ciencias ambientales, ecología, economía, ciencias políticas y sociología. Por ejemplo, O'Byrne y colaboradores (2015) revisaron 54 programas internacionales de licenciatura y maestría (50 por ciento de cada uno), y observaron que los programas educativos emergentes sobre la sustentabilidad, en el nivel de licenciatura, en su mayoría forman estudiantes en currículos enfocados sobre todo en el campo de las ciencias naturales, tópicos de sustentabilidad y ciencias sociales. Por otro lado, en el nivel de maestría, predominan los tópicos sobre sustentabilidad y métodos de investigación. El manejo ambiental y la integración de la dimensión social son temas pobremente contemplados en los programas de maestría. Lo que más destaca de este estudio es la enorme disparidad de los contenidos temáticos entre los 54 programas revisados. Esto hace pensar que aún no hay un consenso, de alcance global, que defina cuáles son los temas y enfoques más pertinentes en la curricula de la educación para la sustentabilidad, que puedan cubrir más de 20 disciplinas que todavía no muestran el balance entre las dimensiones ambiental, económica y social, como se señala en la literatura teórica escolar. Esto pone de manifiesto que la ciencia de la sustentabilidad todavía está en un proceso de maduración como disciplina.

De esta manera, es necesario preparar una nueva generación de líderes que sean capaces de apreciar el significado de los cambios en los sistemas humanos, sociales y globales que ocurren a corto, mediano y largo plazo. Esta generación de jóvenes profesionistas potencialmente podría dirigir el camino del desarrollo hacia la sustentabilidad por medio del diseño e implementación de políticas basadas en este entendimiento (Komiya y Takeuchi, 2006). Estos procesos educativos se irán desarrollando a la par de la reflexión y maduración de la disciplina de la sustentabilidad, y de la consolidación de los programas y los espacios de investigación.

Un enfoque importante y primordial de la formación educativa hacia la sustentabilidad es la orientación hacia la resolución de problemas. Para esto, en el laboratorio los estudiantes son expuestos a una serie de problemáticas regionales, entre las que ellos mismos identifican y seleccionan una de éstas, después se les expone a la praxis, donde conformarán equipos multidisciplinarios para elaborar diagnósticos técnicos de base que les permitan desarrollar proyectos de investigación que contribuyan a la formulación de propuestas técnicas para atender problemas reales. El trabajo en equipo, la visión multidisciplinaria y la innovación son tres elementos importantes en la educación del estudiante (Bacon *et al.*, 2011). Se les capacita para que tengan el conocimiento y las herramientas necesarias que les permitan percibir visiones diferentes de un fenómeno, más allá de límites disciplinarios, integrar información de diferente naturaleza y llegar a acuerdos consensuados sobre interrogantes o problemas provenientes de la sociedad, o fenómenos observados en el entorno (Onuki y Mino, 2009). La conformación de grupos multidisciplinarios que realicen proyectos de investigación sistémica requiere que todos los miembros cumplan sus funciones de forma colaborativa para alcanzar una meta común (Vázquez, 2011). El componente de innovación debe ir asociado al análisis de problemas y la construcción de soluciones. En el enfoque de la sustentabilidad, se parte de un debate sobre la crisis global actual, y se cuestionan las teorías de desarrollo que imperan en el mundo, los sistemas de producción actuales, los modos de vida y consumo y el manejo de los recursos naturales. Este planteamiento holístico de ideas y soluciones prácticas a problemas reales se considera la piedra angular en el desarrollo de la ciencia de la sustentabilidad, y una herramienta muy poderosa en educación (Bacon *et al.*, 2011).

El equipo humano de los laboratorios de la sustentabilidad también debe estar capacitado para comunicar el conocimiento técnico y científico a diferentes audiencias, por medio de la comunicación directa, de publicaciones formales, de la participación en foros de discusión y talleres con actores múltiples, así como de instrumentos de difusión científica y medios impresos populares. Para superar la limitante existente respecto a la inaccesibilidad y dispersión de la información útil para el manejo de los recursos naturales (Thatje, 2007), un fin último de comunicar la información creada por estos laboratorios es hacerla disponible para los usuarios potenciales a través de medios electrónicos abiertos (e.g., páginas web, servidores en línea, revistas *open access*).

## CONSIDERACIONES FINALES

Para que los laboratorios de la sustentabilidad logren sus objetivos básicos de integrar información y consensuar acuerdos, deben ser dotados de los medios necesarios para alcanzar sus objetivos, así como asegurar las condiciones indispensables para el buen desempeño de sus actividades. No obstante, la creación de estos nuevos espacios se enfrenta a diversos retos que frenan su desarrollo o replicación en otros centros de investigación y universidades; uno de ellos es la reticencia de la misma comunidad científica al pensamiento multidisciplinario y a reconocer la importancia de la creación de este tipo de laboratorios y espacios académicos. Aún en estos días persiste la inercia y el pensamiento científico tradicionalista que concibe los laboratorios como espacios para la experimentación unidisciplinaria, llenos de aparatos sofisticados y costosos, colecciones de muestras biológicas y personal con bata blanca. En este sentido, no se reconoce la necesidad de destinar espacios y recursos para que se pueda llevar a cabo el quehacer de la investigación multidisciplinaria, ya que se tiende a pensar que las reuniones de trabajo y discusión no requieren de un laboratorio *ex profeso*, y que muchas de sus actividades, como los talleres de análisis, se podrían llevar a cabo en “cualquier lugar”. Ante la crisis de la sustentabilidad global que es originada por múltiples factores, no se puede seguir generando la investigación fragmentaria tradicional, pues esto sólo conduce a la observación parcial de los problemas y, por consiguiente, al planteamiento de soluciones limitadas.

Pese a estos obstáculos, en la última década se han creado organizaciones e instituciones novedosas expresamente diseñadas para enfrentar los desafíos de la sustentabilidad. Algunas son centros de investigación en universidades que apuestan a la investigación aplicada como la vía para influir en el debate global sobre el desarrollo sustentable (véase el cuadro 1). En estas instituciones se puede propiciar la mejora de capacidades de países en vías de desarrollo, como es el caso del Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie. Las instituciones que provienen de la iniciativa privada son más cercanas a los esfuerzos de conservación y se caracterizan por promover investigación, innovación tecnológica, capacitación y divulgación de conocimiento que respalde el uso sustentable de los recursos naturales, de los cuales dependen directamente las comunidades humanas.

Afortunadamente, en México existen instituciones que siguen esta tendencia. Con diferentes estructuras y presupuestos, ya están en marcha iniciativas como el Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad (LaTSu) y el Laboratorio

CUADRO I. EJEMPLOS DE INSTITUCIONES CREADAS PARA CAPACITAR RECURSOS HUMANOS E INVESTIGAR SOBRE PROBLEMÁTICAS RELACIONADAS CON EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y CONSERVACIÓN

Meta prioritaria:	Investigación	Capacitación	Divulgación
Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur, México <sup>1</sup>	X	X	X
Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, México <sup>2</sup>	X	X	X
Centro del Agua para América y el Caribe, México <sup>3</sup>	X	X	X
Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, México <sup>4</sup>	X	X	X
Charles Darwin Foundation, Ecuador <sup>5</sup>	X	X	X
Centro STEPS-Alternativas sustentables para América Latina, Argentina <sup>6</sup>	X	X	X
Centro de Investigación para el Desarrollo Sustentable, México <sup>7</sup>	X	X	
Center on International Cooperation, New York University, EUA <sup>8</sup>	X	X	
The School for Field Studies, EUA <sup>9</sup>	X	X	
Marine Laboratory-Nicholas School of the Environment, Duke University, EUA <sup>10</sup>	X	X	
Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie, Alemania <sup>11</sup>	X	X	
Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos, México <sup>12</sup>		X	X
Laboratorio de Cohesión Social, México <sup>13</sup>		X	X
The Sustainability Laboratory, EUA <sup>14</sup>	X		X
Laboratorio de Socio-Ecosistemas, Universidad Autónoma de Madrid, España <sup>15</sup>	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

<sup>1</sup> <http://www.ecosur.mx/laboratorio-transdisciplinario-para-la-sustentabilidad>

<sup>2</sup> <http://epomex.uacam.mx/index.php>

<sup>3</sup> <http://www.centrodelaagua.org/home.aspx>

<sup>4</sup> [http://web.ecologia.unam.mx/proyectos/index.php?proyecto=El\\_Nuevo\\_Laboratorio\\_Nacional\\_de\\_las\\_Ciencias\\_de\\_la\\_Sostenibilidad](http://web.ecologia.unam.mx/proyectos/index.php?proyecto=El_Nuevo_Laboratorio_Nacional_de_las_Ciencias_de_la_Sostenibilidad)

<sup>5</sup> <http://www.darwinfoundation.org>

<sup>6</sup> <http://stepsamericalatina.org>

<sup>7</sup> <http://cides.mx/web/>

<sup>8</sup> <http://cic.nyu.edu/>

<sup>9</sup> <http://www.fieldstudies.org>

<sup>10</sup> <https://nicholas.duke.edu/marinelab>

<sup>11</sup> <http://www.zmt-bremen.de>

<sup>12</sup> <http://cedointercultural.org/inicio/>

<sup>13</sup> <http://www.cohesionsocial.mx/>

<sup>14</sup> <http://www.sustainabilitylabs.org>

<sup>15</sup> <https://www.uam.es/gruposinv/socioeco/default.htm>

Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad, ambos especialmente diseñados para que investigadores de diferentes disciplinas converjan en líneas de investigación prioritarias para atender las problemáticas ambientales que enfrenta la sociedad. Otras instituciones, como el Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), han realizado importantes esfuerzos regionales orientados a la creación de conocimiento y herramientas multidisciplinarias que sean de utilidad a la sociedad.

En países con recursos económicos e institucionales limitados, los laboratorios para el desarrollo sustentable son especialmente pertinentes porque fomentan capacidades (e.g., facilita el trabajo en grupo, prioriza la educación ambiental, promueve la investigación regional; Ceccon y Cetto, 2003) para superar los retos inherentes al desarrollo sustentable (ICSU, 2002). Estos laboratorios además optimizan el uso de los recursos humanos, económicos y técnicos, pues promueven el uso compartido de espacios y herramientas (de otra forma, cada línea de investigación o investigador tiene que comprar licencias de *software* individuales, equipo de campo, financiar salidas de campo, etc.). En Latinoamérica este tipo de laboratorios son el paso necesario para concretar los principios del desarrollo sustentable, especialmente sobre aquellas prioridades de una región en vías de consolidación económica, pero con enormes pendientes en las políticas nacionales de desarrollo y en la pérdida de biodiversidad (Goldrich y Carruthers, 1992), ambos objetivos de la Declaración del Milenio (Steven y Bujones Kubitschek, 2013).

## BIBLIOGRAFÍA

- AMIR, S. (1987). Environmental Research in Israel: On the Need for a Novel Organizational Change. *Research Policy*, 16(1), 17-27. doi: 10.1016/0048-7333(87)90003-5.
- BACON, C. M.; Mulvaney, D.; Ball, T. B.; DuPuis, E. M.; Gliessman, S. R.; Lipschutz, R. D., y Shakouri, A. (2011). The Creation of an Integrated Sustainability Curriculum and Student Praxis Projects. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(2), 193-208. Recuperado de [http://people.ucsc.edu/~dustin/Publications\\_files/bacon%20mulvaney.pdf](http://people.ucsc.edu/~dustin/Publications_files/bacon%20mulvaney.pdf)
- BECK, M. W.; Marsh, T. D.; Reisewitz, S. E., y Bortman, M. L. (2004). New Tools for Marine Conservation: The Leasing and Ownership of Submerged Lands. *Conservation Biology*, 18(5), 1214-1223. Recuperado de <http://www.mcatoolkit>.

- org/pdf/Publications\_and\_Presentations/Pub\_Conservation\_Biolog\_04.pdf
- BENNETT, E. (2005). Gender, Fisheries and Development. *Marine Policy*, 29(5), 451-459. doi:10.1016/j.marpol.2004.07.003.
- BOCCO, G.; Espejel, I., y Hualde, A. (2014). *Evaluación de Proyectos Multi/inter/trans-disciplinarios. Reporte de investigación*. Distrito Federal, México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C. Recuperado de [http://www.foroconsultivo.org.mx/libros\\_editados/multi\\_inter\\_trans.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/multi_inter_trans.pdf)
- BOOTH, C. W.; Colomb, G. G., y Williams, M. J. (2008). *Cómo Convertirse en un Hábil Investigador*. Barcelona, España: Gedisa.
- BRAVO MERCADO, M., y María Gallegos, O. (2000). El Desafío Ambiental, Orientador de los Nuevos Rasgos de la Educación Superior en México. Recuperado de <http://docplayer.es/15034133-El-desafio-ambiental-orientador-de-los-nuevos-rasgos-de-la-educacion-superior-en-mexico-1.html>
- BROWN, R. R.; Deletic, A., y Wong, T. H. (2015). How to Catalyse Collaboration. *Nature International Weekly Journal of Science*, 525 (September), 315-317. Recuperado de [http://www.nature.com/polopoly\\_fs/1.18343!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/525315a.pdf](http://www.nature.com/polopoly_fs/1.18343!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/525315a.pdf).
- BUANES, A., y Jentoft, S. (2009). Building Bridges: Institutional Perspectives on Interdisciplinarity. *Futures*, 41(7), 446-454. doi: 10.1016/j.futures.2009.01.010.
- CASTRO MARTÍNEZ, E., y Vega Jurado, J. (2009). Las Relaciones Universidad-Entorno Socioeconómico en el Espacio Iberoamericano del Conocimiento. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 4(12), 71-81. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92411770008>.
- CECCON, E., y Certo, A. M. (2003). Capacity Building for Sustainable development: Some Mexican Perspectives. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, (10), 345-352. Recuperado de <http://www.fisica.unam.mx/personales/mir/el/capacity%20building1.PDF>
- CHIRCOP, A. (1996). Education for Sustainable Development of the Mediterranean: The Missing Link. *Ocean & Coastal Management*, 31(2-3), 183-197. doi: 10.1016/S0964-5691(96)00038-5.
- CINTI, A.; Shaw, W. W.; Cudney-Bueno, R., y Rojo, M. (2010). The Unintended Consequences of Formal Fisheries Policies: Social Disparities and Resource Overuse in a Major Fishing Community in the Gulf of California, Mexico. *Marine Policy*, 34(2), 328-339. doi: 10.1016/j.marpol.2009.08.002.
- DAMBACHER, J. M., y Ramos Jiliberto, R. (2007). Understanding and Predicting Effects of Modified Interactions through a Qualitative Analysis of Community Structure.



*The Quarterly Review of Biology*, 82(3), 227-250.

- DIAMOND, J. (1983). Ecology: Laboratory, Field and Natural Experiments. *Nature* (304), 586-587.
- ESPEJEL, I.; Arredondo García, M. C., y González Barradas, R. (2012). *Posgrados pluridisciplinarios en ambiente y sociedad: Aproximaciones diversas*. Mexicali, BC: Universidad Aut.
- ESPEJEL, I.; Leyva, C.; Arellano, E.; Aramburo, G.; Martínez, R.; Ferman, J. L.; Arredondo, C., y López, C. (2005). Evaluating Interdisciplinary Teaching and Research in Developing Countries. *Interdisciplinary Environmental Review*, 7(1). doi: 10.1504/IER.2005.053935.
- ESPINOZA TENORIO, A., y Espejel, I. (2012). Investigación sobre el Manejo Holístico de la Pesca en México: Prioridades Gubernamentales para el Siglo XXI. *Ciencia Pesquera*, 20(1), 91-96. Recuperado de [http://inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP20/CP%2020-1%20\(8\)%20Espinoza%20y%20Espejel.pdf](http://inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP20/CP%2020-1%20(8)%20Espinoza%20y%20Espejel.pdf).
- ESPINOZA TENORIO, A.; Espejel, I., y Wolff, M. (2011). Capacity Building to Achieve Sustainable Fisheries Management in Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 54(10), 731-741. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2011.07.001.
- ESPINOZA TENORIO, A.; Moreno Báez, M; Pech, D.; Villalobos Zapata, G. J.; Vidal Hernández, L.; Ramos Miranda, J.; Mendoza Carranza, M.; Zepeda Domínguez, J. A.; Alcalá Moya, G.; Pérez Jiménez, J. C.; Rosete, F.; León, C., y Espejel, I. (2014). El Ordenamiento Ecológico Marino en México: Un Reto y una Invitación al Quehacer Científico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(3), 386-400. doi: 103856/vol42-issue3-fulltext-1.
- FUNTOWICZ, S. O. y Ravetz, J. R. (1992). The Good, the True and the Post-modern. *Futures*, 24(10), 963-976. doi: 10.1016/0016-3287(92)90131-X.
- FUNTOWICZ, S. O. Y Ravetz, J. R. (1993). Science for the Post-normal Age. *Futures* (25), 739-755. Recuperado de [http://www.uu.nl/wetfilos/wetfil10/sprekers/Funtowicz\\_Ravetz\\_Futures\\_1993.pdf](http://www.uu.nl/wetfilos/wetfil10/sprekers/Funtowicz_Ravetz_Futures_1993.pdf).
- GILCHRIST, G.; Mallory, M., y Merkel, F. (2005). Can Local Ecological Knowledge Contribute to Wildlife Management? Case Studies of Migratory Birds. *Ecology and Society*, 10(1). Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art20/>.
- GOLDRICH, D., y Carruthers, D. V. (1992). Sustainable Development in Mexico? The International Politics of Crisis or Opportunity. *Latin American Perspectives*, 19(1), 97-122. Recuperado de <http://lap.sagepub.com/content/19/1/97.full.pdf>.
- HOFMANN, G. E., y Gaines, S. D. (2008). New Tools to Meet New Challenges: Emerging Technologies for Managing Marine Ecosystems for Resilience. *BioScience*, 58(1),



- 43-52. Recuperado de <http://bioscience.oxfordjournals.org/content/58/1/43.full>.
- ICSU (International Council for Science) (2002). Science Education and Capacity Building for Sustainable Development (Series on Science for Sustainable Development 5). Stipa, República Checa: ICSU. Recuperado de <http://www.icsu.org/publications/reports-and-reviews/science-and-technology-at-the-world-summit-on-sustainable-development-2002/rainbow-series-vol5.pdf>.
- KOMIYAMA, H., y Takeuchi, K. (2006). Sustainability Science: Building a New Discipline. *Sustainability Science* (1), 1-6. doi: 10.1007/s11625-006-0007-4.
- MAANI, K., y Cavana, R. (2007). *Systems thinking, systems dynamics*. North Shore, Nueva Zelanda: Pearson Education.
- MORSE, W. C.; Nielsen Pincus, M.; Force, J. E., y Wulfhorst, J. D. (2007). Bridges and Barriers to Developing and Conducting Interdisciplinary Graduate-Student Team Research. *Ecology and Society*, 12(2). Recuperado de <http://www.spisu.iastate.edu/sites/default/files/resources/files/495/IGERT%20Bridges%20and%20Barriers.pdf>.
- O'BYRNE, D.; Dripps, W., y Nicholas, K. A. (2015). Teaching and Learning Sustainability: An Assessment of the Curriculum Content and Structure of Sustainability Degree Programs in Higher Education. *Sustainability Science*, 10(1), 43-59.
- OLSEN, S. B. (2000). Educating for the Governance of Coastal Ecosystems: The Dimensions of the Challenge. *Ocean & Coastal Management*, 43(4-5), 331-341. doi: 10.1016/S0964-5691(00)00031-4.
- ONUKEI, M., y Mino, T. (2009). Sustainability Education and a New Master's Degree, The Master of Sustainability Science: The Graduate Program in Sustainability Science (GPSS) at the University of Tokyo. *Sustainability Science* (4). doi: 10.1007/s11625-009-0073-5.
- POHL, C.; Wuelser, G.; Bebi, P.; Bugmann, H.; Buttler, A.; Elkin, C., y Grêt Regamey, A. (2015). How to Successfully Publish Interdisciplinary Research: Learning from an Ecology and Society Special Feature. *Ecology and Society*, 20(2). Recuperado de <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07448-200223>.
- RIVERA ARRIAGA, E. (1998). The Ecology, Fisheries and Oceanography Program of the Gulf of Mexico (EPOMEX): An Institution Building Effort. *Ocean & Coastal Management*, 40(1), 87-92.
- ROBINSON, J. (2008). Being Undisciplined: Transgressions and Intersections in Academia and Beyond. *Futures*, 40(1), 70-86. doi: 10.1016/j.futures.2007.06.007.
- STEVEN, D., y Bujones Kubitschek, A. (2013). *¿Un laboratorio para el desarrollo sostenible? América Latina y el Caribe y la Agenda para el Desarrollo Post-2015*. Nueva

York, Estados Unidos: New York University, Center on International Cooperation. Recuperado de [http://cic.nyu.edu/sites/default/files/sustainable\\_development\\_post2015\\_sp.pdf](http://cic.nyu.edu/sites/default/files/sustainable_development_post2015_sp.pdf).

- SUÁREZ DE VIVERO, J. L.; Rodríguez Mateos, J. C., y Florido del Corral, D. (2008). The Paradox of Public Participation in Fisheries Governance. The Rising Number of Actors and the Devolution Process. *Marine Policy*, 32(3), 319-325. doi: 10.1016/j.marpol.2007.06.005.
- THATJE, S.; Laudien, J.; Heilmayer, O., y Nauen, C. (2007). Understanding El Niño. The Importance of Grey Literature in Coastal Ecosystem Research and Management. *Marine Policy* (31), 85-93. doi: 10.1016/j.marpol.2006.04.007.
- VÁZQUEZ, C.; Aguilar, C.; Benet, H.; Carmona, R.; Vega, T. de; Espinosa, H., y Flores, M. (2011). Twenty Years of Interdisciplinary Studies: The MEZA Program's Contributions to Society, Ecology, and the Education of Postgraduate Students. *Ecology and Society*, 16(4). doi: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04523-160419>.
- ZHANG, K. M., y Wen, Z. G. (2008). Review and Challenges of Policies of Environmental Protection and Sustainable Development in China. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1249-1261. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.06.019.