



## C A P Í T U L O 6

# ANÁLISIS E IMPACTO DE LOS RECURSOS ENERGETICOS EN MÉXICO Y OTROS PAÍSES EN LA ECONOMÍA SOCIAL. CASO DE ESTUDIO DE UNA PARCELA AGROVOLTAICA<sup>1</sup>

**Ángel Ernesto Jiménez Bernardino**  
Universidad de Guadalajara

**Rodolfo Martínez Gutierrez**  
Instituto Tecnológico de Tijuana

**José Daniel Padilla de la Rosa**  
Centro de Investigación y Asistencia Tecnológica y Diseño del Estado de Jalisco A.C.

**Beatriz Chávez Ceja**  
Instituto Tecnológico de Tijuana

**Magdalena Serrano Ortega**  
Instituto Tecnológico de Tijuana

**RESUMEN:** La energía derivada de los combustibles fósiles contribuye al cambio climático generando emisiones de gases. Se deben emplear fuentes renovables para descarbonizar el sector energético y el impacto en los objetivos de desarrollo sostenible. En este presente capítulo, se analiza y compara con otros países de Latinoamérica uno de los ejes más importantes para salvaguardar a seguridad, la energía y el agua, así como la alimentación desde la agricultura, con la finalidad de lograr el desarrollo sostenible y la eficiencia energética, así como los desafíos. A través de este análisis se presenta un caso de estudio de una parcela agro-voltaica en la zona centro de México.

<sup>1</sup> **COMO CITAR:**Bárcenas Cortés, A. L., Martínez Jiménez, E., & Cortés Aguirre, R. (2025). Análisis e impacto de los recursos energéticos en México y otros países en la economía social: Caso de estudio de una parcela agrovoltaica. En R. Martínez Gutiérrez et al. (Orgs.), *Economía social y solidaria: Casos de estudio región centro de México* (pp. 67–85). Atena. <https://doi.org/10.22533/at.ed.6602518126>

## 1. INTRODUCCIÓN

Para lograr en América Latina y el Caribe (LAC) el desarrollo sostenible, donde existe una fuerte dependencia de la mejora de los precios de la canasta básica y los alimentos, es fundamental prestar atención prioritaria a la seguridad, la energía, el agua y la alimentación. Se debe hacer hincapié en la sustitución gradual de las fuentes de alto carbono que producen electricidad por sistemas de energía con bajas emisiones de carbono y producción de energía limpia. La región es un exportador neto de alimentos, a expensas de la disponibilidad del recurso hídrico y las emisiones de gases de efecto invernadero, y sufre de limitaciones estructurales. Es importante fomentar nuevas prácticas agrícolas y sistemas alimentarios sostenibles. Los recursos energéticos y su utilización están íntimamente relacionados con el desarrollo sostenible. Para lograr el desarrollo sostenible, el aumento de la eficiencia energética de los procesos que utilizan recursos energéticos sostenibles desempeña un papel importante. La utilización de energías renovables ofrece una amplia gama de beneficios excepcionales.

Un sistema energético sostenible puede considerarse como un sistema energético rentable, fiable y respetuoso con el medio ambiente que utiliza eficazmente los recursos y las redes locales. El análisis de exergía se ha utilizado ampliamente en el diseño, la simulación y la evaluación del rendimiento de los sistemas energéticos. La energía es un elemento esencial en la vida humana. Un suministro de energía seguro, suficiente y accesible es vital en la sostenibilidad en la actualidad para las generaciones de hoy en día. La demanda de suministro de energía está aumentando en todo el mundo y seguirá aumentando a medida que los países en desarrollo alcancen el estatus de desarrollados y los países desarrollados mantengan sus tendencias de modernización. La mayoría de las predicciones prevén un crecimiento del consumo de energía de los países desarrollados de alrededor del 1% anual; Sin embargo, en los países en desarrollo, el consumo actual supera el 5% anual. (Muneer, T., Asif, M., & Munawwar, S. (2004).

Los sistemas de energía solar, la fotovoltaica, la energía solar, entre otros) generan beneficios ambientales importantes comparando con las fuentes fósiles, de tal manera que coadyuvan al desarrollo sostenible de nuestras vidas. Sin embargo, su demostración a gran escala tiene que hacer frente a intervenciones medio ambientales negativas. En el caso de México, el 76% del total de la población El consumo se utiliza en el sector alimentario, y solo el 38% en el sector energético (CONAGUA, 2018, SENER, 2018). Además, sólo el 10% de la biomasa potencialmente sostenible se utiliza para producir energía (Liu J, et. al, 2015). Existe un gran potencial para fomentar el desarrollo de tecnología para producir agua y energía a partir del sector alimentario. El consumo de energía en el sector del agua y la alimentación no es intensivo; los mayores consumidores de energía en México son los sectores

industriales y de transporte (García-Bustamante CA, Masera-Cerutti O, 2016). Nuestro país, ha ido dependiendo en gran relevancia de los combustibles fósiles a pesar de las políticas del gobierno mexicano que impone en la transición energética. Por lo tanto, aún existe un gran potencial en México para invertir en tecnologías para el uso de energías renovables.

Aunado a lo anterior, un elemento importante en este contexto es la agricultura en las regiones áridas y semiáridas está expuesta a diversos factores de estrés biofísico, como sequías, eventos extremos, inundaciones, enfermedades y plagas de los cultivos, y factores de estrés socioeconómico, como el costo de los insumos agrícolas, la falta de crédito, la volatilidad de los precios de los cultivos, el apoyo gubernamental a los agricultores y la escasez de mano de obra (Leroy et al., 2022).

En regiones donde la tierra disponible es escasa, es de especial interés desplegar sistemas agro-voltaicos. El uso combinado de invernaderos para producir alimentos y energía al mismo tiempo aumenta los ingresos de los agricultores, convirtiendo la agricultura en un sector más atractivo. El sector agrícola podría beneficiarse del agro voltaica, ya que los agricultores podrían beneficiarse de una doble fuente de entrada: hortalizas y energía. Con la continua expansión de la escala de desarrollo, los invernaderos fotovoltaicos integrados se están convirtiendo en un tipo importante de prosumidor de redes inteligentes.

La gestión de la demanda de energía es cada vez más importante para satisfacer las necesidades de consumo de energía de la producción y aumentar los beneficios económicos de la misma parcela.

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

### SOSTENIBILIDAD Y ENERGIAS RENOVABLES EN LOS ODS

El cambio climático es una preocupación mundial que puede tener consecuencias de gran alcance en diversos sectores y actividades de la sociedad. Una de estas actividades es la agricultura de secano (AR), que depende directamente de las condiciones climáticas. Las zonas áridas son regiones muy vulnerables debido a las difíciles condiciones a las que se enfrentan, incluidos los limitados recursos hídricos. La limitada disponibilidad de recursos hídricos ya limita el potencial productivo de la AR. Con los impactos proyectados del cambio climático, la situación podría volverse aún más desafiante.

En los últimos años, la preocupación por el cambio climático ha llevado a la búsqueda de fuentes de energía más limpias y baratas. Desde hace algunos años, la energía solar fotovoltaica se ha implantado en pequeñas instalaciones de bombeo, con sistemas de potencia instalada de bajo pico. Sin embargo, los distritos de riego

con alta potencia de bombeo están utilizando actualmente este tipo de energía gracias a las grandes plantas solares. Por lo tanto, es crucial diseñar estrategias que mejoren la resiliencia sectorial de los productores agrícolas de estas regiones. Los hallazgos de este estudio proporcionan información valiosa sobre las fortalezas y debilidades de los agricultores en el área de estudio con respecto a su capacidad para adaptarse y mitigar los impactos del cambio climático.

Estos conocimientos ayudan a identificar áreas de preocupación que requieren atención e intervención. Estas áreas de oportunidad son esenciales para informar los planes de acción gubernamentales destinados a enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático. En los últimos años, el concepto agua-energía-alimentos ha atraído la atención de los sectores académicos, de investigación y de políticas. Este concepto abarca la idea de que la cadena de producción y consumo de recursos hídricos, energéticos y alimentarios están intrincadamente relacionados. A pesar de que esta relación siempre ha existido, el WEF Nexus se conceptualizó por primera vez en la Conferencia Nexus de Bonn 2011 [6]. Bajo el enfoque del Nexo, el agua, la energía y los alimentos están hiperconectados -los impactos en un sector afectan el desempeño en los otros sectores- y existe la necesidad de integrar el agua, la energía y los alimentos en la gobernanza y la gestión (Bellfield H. 2015, Wichelns D. 2017).

Los datos obtenidos ponen de manifiesto un débil fortalecimiento del capital social, que juega un papel fundamental en el fomento del desarrollo de las organizaciones, el apoyo institucional y la facilitación de la transferencia de tecnología. Esta debilidad se evidencia en los desafíos que enfrentan las estrategias gubernamentales para responder a otras emergencias, como la pandemia de COVID-19. Abordar los impactos del cambio climático en el sector agrícola requiere un enfoque integral que incluya el fortalecimiento del capital social, la promoción del apoyo institucional y la mejora de la transferencia de tecnología. Al abordar estas áreas de debilidad, los responsables de la formulación de políticas pueden desarrollar estrategias más efectivas para eliminar los choques del cambio climático en las comunidades agrícolas y mejorar su resiliencia frente a los desafíos futuros. El conocimiento de las interacciones entre los recursos puede mejorar la seguridad de los recursos y facilitar la toma de decisiones intersectoriales y holísticas, que eventualmente pueden conducir a las naciones hacia la sostenibilidad. Además, las Naciones Unidas han desarrollado Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen la acción climática, la paz, la justicia, la innovación, la igualdad económica y el consumo sostenible, entre otros. Sin embargo, estos objetivos clave no pueden alcanzarse sin una gestión adecuada de los recursos naturales. Las preocupaciones abordadas en los ODS afectan a la gran mayoría de los países en desarrollo (UNDP, 2015), en los que América Latina y el Caribe (ALC) representa una de las regiones más dinámicas.

Los países de ALC buscan abordar algunas de las prioridades más apremiantes de los ODS, como poner fin a la pobreza extrema, la promoción al crecimiento económico, disminuir la desigualdad y desarrollar ciudades sostenibles, al tiempo que consideran el cambio climático, la gobernabilidad y las presiones del crecimiento demográfico. Se espera que la población y el ingreso per cápita crezcan sustancialmente en esta región durante las próximas dos décadas, lo que resultará en una mayor demanda de agua, energía y alimentos. Las proyecciones de Miralles y Muñoz (2018) indican un aumento de alrededor del 75% en la demanda total de agua, del 50% en la producción de energía primaria y del 31% en la producción agrícola para 2050, en relación con los valores de 2020, considerando un escenario de negocios como hasta ahora [15]. Estas tendencias exigen atención urgente para lograr el desarrollo sostenible en la región de América Latina y el Caribe.

Para hacer frente al calentamiento global, es necesario abordar los principales desafíos, como la reducción de las emisiones de GEI y promover un mayor uso de los gases de efecto invernadero. soluciones de energías renovables. El Acuerdo de París, adoptado por 196 partes en 2015, tenía como objetivo limitar el calentamiento global a 1,5 °C en comparación con el nivel preindustrial, estableciendo un objetivo de emisiones netas cero para 2050. Este objetivo se alinea con dos de los 17 ODS de las Naciones Unidas: ODS 7 y Energía Limpia, y ODS 13 Acción Climática (Naciones Unidas, 2015). Se estima que la agricultura representa alrededor del 12 % de las emisiones mundiales de GEI, una cifra que aumenta hasta el 18,4 % con el uso de la tierra y la silvicultura (Ritchie et al., 2020). Al considerar todo el sistema alimentario, incluida la refrigeración, el procesamiento de alimentos, el envasado y el transporte, representa alrededor del 26 % de las emisiones mundiales de GEI (Poore y Nem- ecek, 2018). Una de las fuentes de emisiones de GEI en la agricultura proviene del riego, debido al uso intensivo de combustibles fósiles y electricidad para el suministro de energía, particularmente importante en los sistemas de bombeo de grandes redes de riego presurizado.

Así, la incorporación de energías renovables en la agricultura de regadío podría contribuir a reducir las emisiones de GEI. Además, los costes energéticos han aumentado considerablemente en los últimos años.

Otros enfoques basados en índices han resumido el contexto general de las prácticas de riego, considerando la huella general de los recursos, para proporcionar una evaluación de la sostenibilidad relativa en un área específica. Los enfoques regionales muestran la autosuficiencia y diversidad de los recursos hídricos, energéticos y alimentarios. Estos estudios crearon un escenario base basado en la situación actual de cada país para dar seguimiento a los impactos generados por los proyectos de investigación e innovación en la zona. La gran mayoría de estos intentos se han aplicado en Asia y Europa. Si bien el progreso ha sido

considerable en estas regiones, los países de ALC se han quedado atrás en el desarrollo de modelos y herramientas. Se puede considerar que los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) compiten con el objetivo de ampliar el desarrollo de sistemas de energía renovable. Las estrategias para reducir estas demandas competitivas a menudo consisten en segregar o integrar diferentes usos de la tierra. En este contexto, se pueden distinguir varios enfoques para los sistemas fotovoltaicos. Schinelle S. (2021) define las siguientes características principales de la APV: (i) mantenimiento de tierras agrícolas; (ii) producción de alimentos en lugar de intensificación; (iii) función protectora a través de una mayor elevación; (iv) contribución a la aclimatación de la agricultura al cambio climático; (v) aumentar la cantidad de tierra utilizada; y (vi) ser una “estructura física” y no un edificio.

## BUENAS PRÁCTICAS, INNOVACIONES Y ESTRATEGIAS. COMPARATIVA ENTRE MEXICO, ARGENTINA Y BRASIL

En general, los estudios que se realizan en ALC son inconexos; los enfoques existentes solo han abordado las interrelaciones parciales entre el Nexo del Foro Económico Mundial. Los marcos actuales de Nexus que se centraron en la seguridad hídrica y alimentaria en los países de ALC han proporcionado información analítica sobre el progreso logrado en la región teniendo en cuenta las cuestiones sociales y ambientales. En términos generales, los enfoques del desarrollo sostenible se han centrado en el importante papel de la agricultura en ALC para la seguridad alimentaria mundial y las compensaciones ambientales asociadas, explorando los cambios en la huella hídrica y la calidad del agua, y los impactos en la biodiversidad y las reservas de carbono del cambio en el uso de la tierra de la producción agrícola alternativa.

Diseñar herramientas de monitoreo que consideren varias funciones del suelo y Se necesita urgentemente la combinación de prácticas asociadas con las cubiertas terrestres o los sistemas de cultivo para guiar la implementación de prácticas de manejo sostenible del suelo que contrarresten la degradación del suelo por medio de la gestión.

La multifuncionalidad del suelo se considera la capacidad del suelo para proporcionar varias funciones simultáneamente (Yang et al., 2023). Además, es un avance importante para la investigación ecológica (Garland et al., 2020) principalmente porque considera las compensaciones entre las funciones del ecosistema midiendo más de una función simultáneamente.

En particular, en varios países, como India, China, Brasil y México, las vastas infraestructuras de irrigación se han visto facilitadas por inversiones sustanciales de organismos gubernamentales, bancos de desarrollo y diversos donantes internacionales (Mollinga et al., 2007). En muchos casos, la implementación

de sistemas de riego a gran escala ha dado lugar a una mayor productividad, la diversificación de cultivos, la evolución de la agricultura comercial de exportación y el fortalecimiento de la resiliencia de las comunidades agrícolas al cambio climático (Maleksaeidi et al., 2018).

Se han investigado las experiencias en la integración de fotovoltaica e invernadero llevadas a cabo en el sureste de España en una cubierta de invernadero con una superficie de cobertura del 9,8% mediante 24 módulos fotovoltaicos flexibles de película fina. Los resultados indicaron que la producción anual de electricidad normalizada. La investigación centrada en las interacciones agua-energía ha considerado el balance hídrico y las implicaciones de la huella hídrica en la extracción no convencional de petróleo y gas.

La exacerbación de la actual escasez de agua debido al consumo de agua para la extracción no convencional de petróleo y gas probablemente conducirá a la competencia con otros usos del agua en los países de ALC. La mayoría de estos esfuerzos de investigación se han centrado en caracterizar el Nexo del WEF, y han demostrado que la conceptualización e implementación del Nexo en ALC requiere la evaluación de rasgos específicos a nivel regional con el fin de proporcionar soluciones a la escasez de agua observada en cuencas altamente vulnerables.

Otros esfuerzos han explorado cómo los acuerdos internacionales podrían influir en el nexo del WEF en las economías más grandes de ALC (Brasil, México y Argentina). Estas tendencias recientes demuestran que las publicaciones actuales del WEF Nexus se han vuelto más sofisticadas y capaces de investigar los tres subsistemas a diferentes escalas, mientras que el desarrollo de enfoques integrados puede ayudar a la implementación efectiva del enfoque Nexus para proporcionar soluciones a problemas críticos de recursos en todo el mundo. También muestran diferencias en el avance del conocimiento sobre los recursos hídricos, energéticos y alimentarios y sus interacciones en ALC.

Sin embargo, es necesario desarrollar estudios integrales e índices de desempeño a nivel nacional y regional en ALC que evalúen el estado del Nexo y las oportunidades potenciales. Así, los objetivos de este estudio fueron: (i) generar una línea base para las condiciones biofísicas y socioeconómicas de la región de América Latina y el Caribe; ii) evaluar los resultados actuales de la seguridad hídrica, energética y alimentaria de la región; y (iii) determinar los problemas críticos y las oportunidades en el área.

Por lo general, el desempeño de los sectores de agua, energía y agricultura de un país se evalúa por separado. El Banco Mundial y las Naciones Unidas proporcionan una serie de indicadores para cada país y región. Sin embargo, estos indicadores descuidan las interrelaciones entre sectores. La evaluación combinada de los tres sectores mediante índices es vital para comprender el estado del desarrollo sostenible de un

país. Estos índices deben basarse en información cuantitativa fácilmente disponible y pueden ayudar a evaluar el progreso del desarrollo sostenible de los países, subregiones o regiones a lo largo del tiempo, así como permitir una comparación entre ellos. Hasta la fecha no existe suficiente información para realizar una evaluación internacional en América Latina. Además, nos centramos en un subconjunto de países de América Latina en los análisis internacionales debido a la disponibilidad de datos. Se contempla tres indicadores clave por sector: disponibilidad, acceso y sostenibilidad de los recursos del sector. Los indicadores se basan principalmente en tres ODS: 2 (hambre cero), ODS 6 (agua limpia y saneamiento para todos) y ODS 7 (energía asequible y no contaminante). Argentina tiene una dependencia significativa de las energías fósiles (87,5%) y tiene un déficit energético que se cubre importando energía de los países vecinos (Mathier D, Mendez JM, Bragachini M, Sosa N, 2018).

Esta situación se ve agravada por la heterogeneidad de la red de transmisión y distribución. Por lo tanto, el gran potencial para convertir la biomasa en energía, que está representada principalmente por los residuos forestales y los cereales, parece ser una alternativa descentralizada prometedora. ALC tiene una deficiente capacidad de planificación acompañada de una deficiente gestión y control de los recursos naturales. Esta conocida deficiencia regional tiene múltiples causas, entre ellas la debilidad de los estados; la ineficacia de los marcos regulatorios; fragmentación del poder de decisión, falta de capacidad institucional, medios adecuados y de recursos humanos y falta de participación ciudadana; y la volatilidad de los precios en el caso del sector energético. Por lo tanto, son necesarios varios arreglos institucionales y de política pública para reducir las crisis de gobernabilidad y el informalismo legal.

ALC está a la zaga de otras regiones en desarrollo (por ejemplo, Asia) en lo que respecta a la investigación y la implementación del Nexo del FEM. Las interrelaciones sectoriales no están bien identificadas o artificializadas, y se necesitan políticas sectoriales para fomentar la seguridad hídrica, energética y alimentaria, la innovación tecnológica, los planes de financiación y las plataformas de intercambio para hacer frente a las deficiencias más acutantes. Los objetivos de estas iniciativas, entre otros, deben ser i) aumentar la productividad del agua; ii) invertir en tecnología moderna para un uso más eficiente y eficaz del agua; iii) mejorar la gestión de los sistemas de riego; iv) sustituir las fuentes de alto carbono para producir electricidad por fuentes de energía renovables; v) construir nuevas infraestructuras que apoyen sistemas energéticos con bajas emisiones de carbono; (vi) aumentar la producción de energía en los países de ALC a través de la producción de energía limpia (es decir, hidroeléctrica y digestores anaeróbicos); (vii) mejorar las redes eléctricas en y entre los países de ALC; viii) reducción de emisiones por la deforestación; (ix) introducir incentivos para el agua a los productores de energía a fin de conservar el agua, aunque los precios puedan estar subsidiados; x) aumentar la seguridad energética mediante la aplicación de servicios energéticos modernos en aras del desarrollo sostenible; xi) introducir

nuevas prácticas agrícolas, como la agrosilvicultura, la integración integrada y los sistemas de acuicultura; xii) proponer sistemas alimentarios sostenibles mediante la disminución de las pérdidas y el desperdicio de comida (xiii); y desarrollar nuevos alimentos e ingredientes alimentarios de acuerdo con los principios de sostenibilidad.

ALC es la región más urbanizada del mundo, pero el acelerado crecimiento urbano va acompañado de una recopilación de información tardía y limitada. El diagnóstico de las interrelaciones entre los sectores para desarrollar proyecciones y recomendaciones sobre el Nexo del Foro Económico Mundial requiere una gran cantidad de información desagregada. Sin embargo, la información en la actualidad disponible es generalmente dispersa, no es continua, no es confiable y no es homogénea debido a la falta de programas de monitoreo y verificación o a una conceptualización deficiente. El análisis de Brasil, México y Argentina mostró que algunos datos sobre las interrelaciones sectoriales se recopilan de agencias gubernamentales y organizaciones internacionales, algunos datos no están disponibles en forma desagregada, otros datos se recopilan de organizaciones civiles o redes académicas, y algunos datos no se cuantifican en absoluto. Si bien la recopilación de datos a nivel nacional es posible dentro de ciertos límites, es más complicada a nivel subnacional, urbano y suburbano. Se necesitan programas de fortalecimiento de las capacidades locales de los profesionales de los tres sectores para comprender mejor las dinámicas locales para diseñar programas de monitoreo (Embrid A, Martin L, 2017).

## MECANISMOS DE COLABORACIÓN Y SEGUIMIENTO EN FACTORES DE ALIMENTACION, AGUA Y ENERGÍA

México es conocido por sus climas secos, los cuales están influenciados principalmente por su ubicación dentro de la zona de alta presión en las latitudes septentrionales. Los climas secos dominan en gran parte, representando alrededor del 53,11% de la superficie terrestre total del país, estimada en 1,9 millones de km<sup>2</sup>. Dada la dependencia de los cultivos de las lluvias, tanto dentro de las áreas cultivadas como fuera, los agricultores en México están bien familiarizados con la ocurrencia de sequías (CENAPRED 2021). El sector agrícola depende en gran medida de las precipitaciones, lo que hace que las sequías sean un desafío familiar para los agricultores del país. En el centro de México, desde la década de 1970 se ha iniciado una sustitución de la agricultura de secano de bajos insumos por la de subsistencia y comercialización local por la agricultura de altos insumos. Además, desde 1995, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte ha impulsado la proliferación de cultivos básicos para la exportación, principalmente aguacate y berries (de la Vega-Rivera y Merino-Perez, 2021). Las sequías son eventos naturales extremos recurrentes que ocurren cuando hay una disminución significativa de las precipitaciones, lo que

resulta en niveles por debajo de lo normal. Estos eventos tienen impactos significativos en diferentes sectores de la sociedad, como la agricultura y la ganadería (FAO 2020; IPCC 2021). Actualmente, aproximadamente 130 millones de has, lo que equivale al 11% de la superficie total dedicadas a actividades agropecuarias, se ven afectadas por sequías recurrentes (FAO 2021).

Los impactos ambientales de la intensificación agrícola, la deforestación, el monocultivo y la minería de recursos naturales sin precedentes se han convertido en las principales preocupaciones para el mantenimiento de suelos saludables en esta región porque algunos cultivos de exportación, como el aguacate, se han expandido más de 250.000 ha y continúan haciéndolo (Latorre-Cárdenas et al., 2023). Más recientemente, la proliferación de invernaderos de plástico para la producción de bayas con extensos desplazamientos de la capa superior del suelo para formar camas, monocultivo estricto y con sellado temporal del suelo con plástico han aumentado aún más esas preocupaciones. Estas tendencias se alinean con estudios previos realizados en América del Norte (Ramírez et al. 2022).

Recomendamos iniciativas como asociaciones cooperativas, redes de productores o plataformas de matchmaking para mejorar la gestión general de la cadena de suministro. Además, es crucial establecer un sistema de seguros contra riesgos extremos y facilitar el acceso de los agricultores a los insumos agrícolas. Sin embargo, los problemas de sostenibilidad relacionados con la producción intensiva de regadío Los sistemas, particularmente dentro del distrito de riego, subrayan la necesidad de promover prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente, como la agroecología. Por lo tanto, es esencial aumentar el acceso a tecnologías asequibles que permitan un uso eficiente de los recursos para aumentar la productividad y la resiliencia de las explotaciones agrícolas.

Estas prácticas podrían ayudar a los agricultores a optimizar el uso del agua, mejorar el rendimiento de los cultivos y mitigar el impacto ambiental sin sobreexplotar las aguas subterráneas. En conclusión, abogamos por la incorporación de múltiples factores estresantes en la formulación de políticas de adaptación y desarrollo para los sistemas agrícolas en regiones áridas y semiáridas. Además, sugerimos adaptar estas políticas a las condiciones locales, prestando especial atención a las circunstancias de acceso y exclusión de los principales proyectos de desarrollo, como los distritos de riego. Creemos que este enfoque es necesario para mejorar la capacidad de los agricultores para adaptarse a un clima cada vez más desfavorable y a los profundos cambios socioeconómicos.

### 3. RESULTADOS

La revisión de la literatura mencionada anteriormente ha ayudado a esta red de investigación mediante el NODESS Centiliztli a la diversificación de investigaciones relacionadas con la economía social y solidaria, las energías renovables y su planificación para las generaciones futuras, así como la sostenibilidad. Estos esfuerzos generados han visto la necesidad de generar una línea de Economía Social y Solidaria en el Tecnológico Nacional de México a través de una maestría. Colaboraciones con otras redes de investigación, vinculación con cooperativas, generación de mercados solidarios y difusión de conocimientos para la solidez de estas experiencias. Es importante recalcar varios puntos que suman a nuestras experiencias como investigadores del Instituto Tecnológico de Tláhuac III generadas a partir de la participación en campo, reuniones y acercamiento con las comunidades vulnerables, cooperativas, productores y empresarios, a continuación, se enlistan:

Una gran cantidad de estudios científicos se centran en las energías renovables, especialmente en lo que respecta a su potencial técnico y relacionado con el mercado, pero también en términos de aceptación o aceptabilidad social hacia diversas fuentes de energía. Según la revisión de la literatura científica de Busse y Siebert, la publicación de artículos sobre la aceptación y aceptabilidad de las energías renovables ha aumentado en los últimos 20 años. Sobre la base de las experiencias locales, a menudo existe una desconfianza hacia los responsables de la toma de decisiones, como lo demuestra la siguiente cita de un entrevistado: "El problema es que los inversores siempre buscan lo más rentable, el máximo beneficio. Además, a veces, la mejor solución, la que tiene menos conflictos de objetivos, es la que no es la más rentable". Para generar una mayor aceptación local, es necesario crear ejemplos positivos que consideren varios intereses, particularmente cuando se trata de temas de biodiversidad.

Los aspectos de la biodiversidad son, naturalmente, un foco clave en nuestro estudio, pero muchos factores y demandas influyentes se superponen con los resultados de la investigación en otros contextos, regiones o entre otros grupos sociales. Esto da relevancia a nuestros resultados que ya son conocidos (en ciencia y también a las voces políticas). Sin embargo, es necesario ponerlos en práctica para disipar el escepticismo de los conservacionistas locales de la naturaleza. Por lo tanto, es importante identificar a los especialistas en objetivos dentro del proceso de planificación que puedan generar confianza. Los conflictos en torno al uso de la tierra aumentarán en el futuro si los responsables de la formulación de políticas no pueden encontrar enfoques a largo plazo que impliquen compromisos entre intereses contrapuestos y que garanticen la compensación de las partes afectadas. No se tratará solo de qué energías renovables podemos utilizar para alcanzar los objetivos climáticos, sino también de cómo imaginamos y damos forma a nuestro futuro.

## IMPACTO ESPERADO DEL PROYECTO

La energía es el mayor costo general en la producción de cultivos agrícolas de invernadero en climas templados. Además, el costo inicial de los combustibles fósiles y la energía tradicional está aumentando drásticamente. Los impactos ambientales negativos, las fuentes limitadas de combustibles fósiles y un alto consumo de energía y alimentos han provocado el aumento de la demanda de energía solar como una opción verde y sostenible. Por ello, en este trabajo se revisan las tecnologías de aplicación de la energía solar en los sistemas de control ambiental de invernaderos (refrigeración, calefacción e iluminación) principalmente la energía generada por colectores fotovoltaicos (PV) y solares, así como el bombeo de agua PV para riego. Además, en este artículo se discuten brevemente los análisis económicos y los desafíos para esta tecnología. Por lo tanto, la integración de los módulos fotovoltaicos transparentes en el techo de los invernaderos no solo disminuye la carga energética, sino que también genera la energía adecuada para la iluminación artificial en invierno y la ventilación forzada en verano. Además, el agro voltaica o agro fotovoltaica (APV) consiste en producir productos agrícolas bajo los módulos fotovoltaicos en campos abiertos como patatas, cebollas, verduras, ensaladas, hierbas, plantas oleaginosas, frutas (uvas, manzanas, peras, cerezas, etc.) y animales (ovejas, pollos, vacas, etc.). El agro fotovoltaica podría proteger los cultivos contra las altas temperaturas, o aumentar la disponibilidad de agua para los cultivos si las lluvias se concentran e infiltran en un área cultivada limitada.

El nivel de altura de los paneles solares no tiene ningún impacto en la cantidad total de radiación disponible a nivel del suelo, pero el nivel bajo tiene un impacto muy grande en la heterogeneidad de la radiación a nivel del suelo. En los últimos años, la tecnología de células fotovoltaicas ha crecido extraordinariamente como fuente de energía sostenible, como consecuencia de la creciente preocupación por el impacto de la energía basada en combustibles fósiles en el calentamiento global y el cambio climático. La electricidad es un recurso fundamental para el desarrollo de las civilizaciones humanas, y es posible vincular el nivel de vida y el consumo de electricidad de una sociedad. La electricidad se puede obtener a partir de diversos recursos y con diferentes métodos de producción, que van desde la combustión de materias primas (como carbón, gas natural, biomasa, etc.) hasta complejos sistemas de reactores nucleares.

El sector de las energías renovables satisface actualmente el 13,5% de la demanda mundial de energía. Este sector ahora está creciendo más rápido que el crecimiento en el mercado energético en general. Algunos escenarios a largo plazo postulan una proporción cada vez mayor de tecnologías renovables (compuestas por energía solar, eólica, geotérmica, biomasa moderna, así como la hidroeléctrica más tradicional). En estos escenarios, las energías renovables podrían alcanzar hasta el 50% de la

cuota total de mediados del siglo XXI con políticas adecuadas y nuevos desarrollos tecnológicos. La tendencia para el período 2000-2060 proporciona un posible escenario de consumo futuro de energía que muestra que las energías renovables tienen la participación más alta.

Por otro lado, prestar más atención a los alimentos, el medio ambiente y la energía es más urgente que nunca para la producción sostenible de cultivos de invernadero. En las últimas décadas, la energía solar se ha desarrollado intensamente debido tanto a las mejoras tecnológicas como a las políticas gubernamentales que apoyan el desarrollo y la utilización de las energías renovables. Sin embargo, las tecnologías de energía solar tienen un costo inicial relativamente alto; No requieren combustible, tienen bajas emisiones de carbono, recursos solares a largo plazo, menos tiempo de recuperación y, a menudo, requieren poco mantenimiento. El objetivo principal de los invernaderos es proporcionar condiciones ideales de crecimiento sostenibles del microclima para el crecimiento óptimo de las plantas y para la comercialización temprana de cultivos ornamentales y hortalizas o la producción temprana durante todo el año. En aquellas zonas del mundo donde los inviernos son fríos, con temperaturas ambiente inferiores a 0 °C, se requieren sistemas de calefacción que proporcionen ciertas temperaturas internas del aire para los invernaderos.

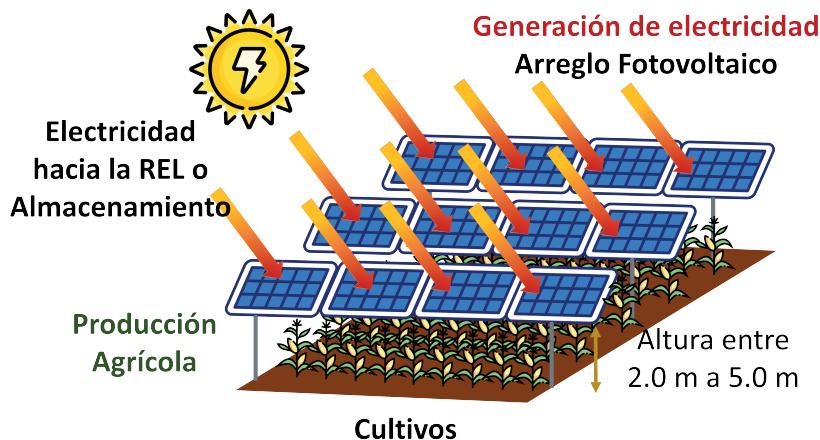


Fig. 1.- Arreglo Fotovoltaico

Los sistemas agrivoltaicos podrían maximizar el uso de la tierra y la productividad de manera eficiente en un 35-73% con una densidad de sombra del 50% debido a la radiación entrante de los paneles fotovoltaicos [86,87]. Los cultivos pueden alcanzar altos niveles rendimiento bajo la sombra fluctuante de los paneles fotovoltaicos.

Posteriormente, en un clima mediterráneo seco, las mediciones del microclima a nivel de cultivo por debajo de los paneles fotovoltaicos indicaron que estos sistemas podrían contribuir a aliviar el estrés climático y ahorrar agua, ver Fig. 1.

Los sistemas fotovoltaicos requieren tierra para interceptar la radiación solar entrante. Hay una serie de oportunidades para la APV en el sector agrícola, como la protección contra el estrés por radiación, la menor demanda de agua, la menor salinización debido a la menor irrigación, la mejora de la calidad del suelo, el aumento del rendimiento de los cultivos, el cultivo de diferentes especies adaptadas a condiciones de menor radiación, las estructuras fotovoltaicas existentes se pueden utilizar para el sombreado, la diversificación de productos para los agricultores y una mayor seguridad de los ingresos. Además, el APV puede utilizarse para la desalinización de aguas subterráneas en las tierras pobres. Cossu et al. (2020), investigaron los efectos del sombreado de la matriz fotovoltaica en plantas de tomate en un invernadero orientado de este a oeste, de los cuales el 50% de su área de techo se reemplazó con módulos fotovoltaicos. Al mismo tiempo, integraron la radiación natural con una iluminación complementaria alimentada por energía fotovoltaica, como en la figura 2. Descubrieron que los paneles fotovoltaicos redujeron la disponibilidad de radiación solar dentro del invernadero en un 64%. Sin embargo, la iluminación complementaria, alimentada sin exceder la energía producida por el conjunto fotovoltaico, no fue suficiente para afectar la producción de cultivos, cuyos ingresos fueron inferiores al costo de la calefacción y la iluminación. Por lo tanto, el diseño de invernaderos fotovoltaicos es útil tanto para la producción de energía como para la producción de cultivos. Posteriormente, la energía solar podría utilizarse en los invernaderos para la iluminación complementaria por la noche para el cultivo de cultivos de floricultura de día largo. El invernadero fotovoltaico permite combinar la producción de alimentos y energía en el mismo terreno mediante la integración de los sistemas fotovoltaicos en el techo del invernadero. Una de sus principales ventajas es la diversificación de los ingresos de los agricultores (Cossu et al., 2020). No obstante, los sistemas agrícola-fotovoltaicos han suscitado algunas preocupaciones con respecto a la sostenibilidad agrícola en términos de desarrollo de cultivos, debido al efecto de sombreado causado por los paneles fotovoltaicos.

## **PARCELAS AGROVOLTAICA EN CIUDAD DE MÉXICO CASO DE ESTUDIO**

El presente caso de estudio es un proyecto derivado del Instituto Tecnológico de Tláhuac III, la UNAM y la SECTEI. Este diseño busca la realidad en la primera etapa de las parcelas en colaboración con el gobierno, financiero, y la universidad. El diseño de este trabajo colaborativo busca la preservación del suelo de conservación, así como la generación de energía limpia y el almacenamiento de agua de lluvia. Esta

parcelas sustentable y educativa está diseñada en un terreno que es utilizado por productores donde se genera energía fotovoltaica y producción agrícola. Cuenta con una capacidad de 72 paneles solares y un sistema de captación de agua de lluvia, así como un tanque con capacidad de almacenamiento de 140 metros cúbicos de agua que garantizan el riego en épocas donde las lluvias disminuyen.

En estas parcelas se cultivan productos bajo los 72 paneles que generan electricidad para mantener un clima especial dentro de ese espacio. Las parcelas constan de un cultivo de 10 tipos de especies que se acondicionan bajo un sistema de riego por goteo y se han plantado intercaladas, de tal forma que durante el día algunas reciben la insolación del sol de la mañana. También hay 6 espacios de 2x1,5 m que están al aire libre para generar comparaciones de los resultados en el crecimiento del cultivo y la cosecha. El objetivo de este primer proyecto es capacitar a estudiantes, agricultores, productores y público en general para el proceso Agrovoltaico y su impacto en el sector agrícola y comunidades vulnerables

*Sistema Agrivoltaico.* 30 microparcelas en forma de cajas con tablas de madera protegidas con revestimientos para prolongar la vida útil y las microparcelas están divididas por caminos de mantenimiento y acceso con grava triturada, con una planta de energía solar y estructura metálica reticular elevada. Existe un sistema de adquisición de datos para controlar el crecimiento de los cultivos y medir los indicadores de crecimiento. Para la integración de los sistemas informáticos, se instalan cables de comunicación de sensores eléctricos para determinar diferentes parámetros como temperatura, humedad, radiación fotosintética en los cultivos, entre otros, así como software de visualización. Nuestros hallazgos muestran un creciente consenso en torno a los supuestos básicos de la necesidad de energías renovables, el apoyo prioritario a los sistemas fotovoltaicos en tejados sobre la instalación en tierras agrícolas (GM-PV y APV), y la necesidad de que los sistemas fotovoltaicos sean compatibles con los objetivos de conservación de la naturaleza.

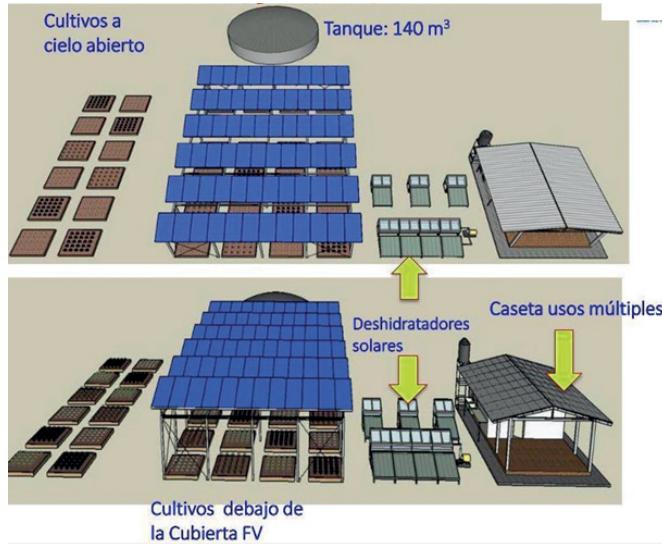


Fig. 2.- Parcela agro voltaica sostenible

#### 4. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La obtención de los datos generado en el presente trabajo fue una búsqueda literaria y de campo, no experimental. Se determinó una búsqueda exhaustiva en Scopus y Web Of Science buscando título o en el resumen de los artículos indexados y artículos de conferencias las siguientes palabras clave: "Photovoltaics", "Greenhouse", "Agriculture" y "Social economy" ya que el presente proyecto fue a través de una vinculación con la sociedad y el proyecto de una parcela agro voltaica para combatir la escasez de agua, energía eléctrica, alimentación entre otros rubros. La afinación de la búsqueda se limitó de la siguiente manera con publicaciones de 2018 en la actualidad, también se tomaron artículos con alta citación y de alta relevancia para el trabajo. Se generó un archivo en CSV para analizar la información y se trabajó con la tendencia basado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

#### Resumen integrador

La energía renovable pronto será la fuente más accesible en todo el mundo. El precio de las tecnologías de energías renovables sigue reduciendo drásticamente. Entre 2010 y 2021, el coste de la energía solar disminuyó un 88% aproximadamente. Los costes asociados a la energía eólica terrestre y marina disminuyeron un 68% y un 60%, respectivamente. Esta investigación muestra la relevancia que podría tener el agro voltaica, especialmente en regiones donde la tierra es escasa y, por lo

tanto, un recurso de gran valor. El uso combinado de invernaderos para producir alimentos y energía al mismo tiempo aumenta los ingresos de los agricultores, diversifica su economía y convierte la agricultura en un sector más atractivo. La APV es reconocida como un tema relevante de investigación y examinada en diferentes contextos nacionales. En particular, se considera que la aceptación local y del mercado es esencial para proporcionar energía y alimentos sostenibles a nivel europeo. Debido al potencial de la APV para combinar diferentes usos de la tierra, así como a los recientes desarrollos en la tecnología de APV y la diversidad de opciones de diseño relacionadas con ella, se reconoce como una posibilidad para abordar algunos de los desafíos multifacéticos derivados del cambio climático. Este trabajo da gran relevancia a la importancia de los recursos hídricos, energéticos a través de propuestas innovadoras como las parcelas agro-voltaicas, cual es el impacto que tiene en comparación con otros países.

## REFERENCIAS

1. Bellfield H. Water, energy and food security nexus in Latin America and the caribbean. Oxford, UK: Global Canopy Programme; 2015.
2. CONAGUA, Comision Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México 2018. México: Ciudad de Mexico; 2018.
3. CENAPRED (2021) Sequías, 1st edn. Ciudad de México, México
4. de la Vega-Rivera, A., Merino-Perez, L., 2021. Socio-environmental impacts of the avocado boom in the Meseta Purepecha, Michoacan, Mexico. Sustainability 13 (13), 7247. <https://doi.org/10.3390/su13137247>.
5. Cossu M, Murgia L, Ledda L, Deligios PA, Sirigu A, Chessa F, et al. Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. Appl Energy 2014;133:89–100.
6. Embrid A, Martin L. Water-Energy-Food Nexus in Latin America and the Caribbean countries, planning, regulatory framework and identification of priority interconnections. Bonn, Germany: United Nations Organization; 2017.
7. FAO (2021) The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>
8. FAO (2020) El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. Roma, Italia. <https://doi.org/10.4060/cb1447es>

9. García-Bustamante CA, Masera-Cerutti O. Estado del arte de la bioenergía en Mexico: Red Tematica de Bioenergía del Conacyt. Guadalajara: Mexico; 2016.
10. García-Oliva, F., Ghilardi, A., 2023. Estimating fragmentation and connectivity patterns of the temperate Forest in a avocado- dominated landscape to propose conservation strategies. Land 12, 631. <https://doi.org/10.3390/land12030631>.
11. Garland, G., Banerjee, S., Edlinger, A., Oliveira, E., Herzog, C., Wittwer, R., Philippot, L., Maestre, F., an der Heijden, M., 2020. A closer look at functions behind ecosystem multifunctionality: a review. J. Ecol. 00, 1–14. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13511>.
12. IPCC (2021) Climate Change 2021: the physical science basis. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E,
13. Latorre-Cardenas, M.C., Gonzalez-Rodríguez, A., Godínez-Gomez, O., Arima, E.Y., Young, K.R., Denvir, A.,
14. Ramirez SUH, Fajardo ALM, Ortíz ADB, Villaseñor OD (2022) The agricultural sector and climate change in Mexico. J Agric Ecol Res Int 23(3):19–44. [https://doi.org/10.9734/jaeri/2022/v23i3\\_30222](https://doi.org/10.9734/jaeri/2022/v23i3_30222)
15. Liu J, Mao G, Hoekstra AY, Wang H, Wang J, Zheng C, van Vliet MTH, Wu M, Ruddell B, Yan J. Managing the energy-water-food nexus for sustainable development. Apply Energy 2018;210:377e81. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.12.001>. 2015
16. Leroy, D., García, S. B., Bocco, G., 2022. Perceived influence of climate variability in the context of multiple stressors on smallholder farmers in southern Mexico. Clim. Dev. 1-14. <https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2092439>
17. Mathier D, Mendez JM, Bragachini M, Sosa N. La biomasa y la bioenergía distribuida para el agregado de valor en origen. Cordoba, Argentina: Asociacion Argentina para el Progreso de las Ciencias; 2018.
18. Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B (eds) Contribution of working group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
19. Maleksaeidi, H., Ranjbar, S., Eskandari, F., Jalali, M., Keshavarz, M., 2018. Vegetable farmers' knowledge, attitude and drivers regarding untreated wastewater irrigation in developing countries: A case study in Iran. J. Clean. Prod. 202, 863-870. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.208>

20. Miralles-Wilhelm F, Muñoz-Castillo R. An analysis of the Water-Energy-Food Nexus in Latin America and the Caribbean Region: identifying synergies and tradeoffs through integrated assessment modeling. *Int J Eng Sci* 2018;7(1): 08e24. <http://theijes.com/papers/vol7-issue1/B0701010824.pdf>.
21. Mollinga PP, Meinzen-Dick RS, Merrey DJ (2007) Politics, plurality and problemsheds: A strategic approach for reform of agricultural water resources management. *Development Policy Review* 25(6):699-719. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2007.00393.x>
22. Muneer, T., Asif, M., & Munawwar, S. (2004). Sustainable production of solar electricity with particular reference to the Indian economy. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 9(5), 444-473. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.03.004>
23. Poore, J., Nemecek, T., 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* (1979) 360, 987–992.
24. Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P., 2020. CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions [WWW Document]. Published online at OurWorldInData.org. URL. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>. (Accessed 23 May 2023).
25. Schindele S (2021) Nachhaltige Landnutzung mit Agri-Photovoltaik: Photovoltaikausbau im Einklang mit der Lebensmittelproduktion: Szenarioanalyse zur Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Nutzflächen durch Photovoltaik in Deutschland bis 2050. *GAIA Ecol Perspect Sci Soc* 30:96–105. <https://doi.org/10.14512/gaia.30.2.7>
26. SENER. Secretaría de Energía. Balance nacional de energía 2018. México: Ciudad de México; 2018.
27. United Nations Development Programme UNDP. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. 2015. New York, US.
28. United Nations, 2015. Sustainable development goals [WWW Document]. URL. <https://sdgs.un.org/>. (Accessed 20 September 2023).
29. Yang, Y., Chai, Y.B., Xie, H.J., Zhang, L., Zhang, Z.M., Yang, X., Hao, S., Gai, J., Chen, Y., 2023. Responses of soil microbial diversity, network complexity and multifunctionality to three land-use changes. *Sci. Total Environ.* 859, 160225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160255>.
30. Wichelns D. The Water-Energy-Food Nexus: is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? *Environ Sci Policy* 2017;69:113e23. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.018>