

La contribución de la bioeconomía: Un enfoque innovador para los Sistemas Alimentarios en México

Autores: Valdespino Sahagún, Fabiola Lorena; Soto Flores, María del Rocío*; Cuevas Zuñiga, Ingrid Yadibel

Contacto: *mrsoto03@yahoo.com.mx

País: México

Resumen

Resulta inadmisibles que en un mundo que produce suficientes alimentos para satisfacer a toda su población, más de 1 500 millones de personas no puedan obtener alimentos que cumplan con los niveles requeridos de nutrientes esenciales y que más de 3.000 millones de personas ni siquiera puedan permitirse una dieta saludable más económica (IGAD, FAO y WFP, 2020). Por ello, es necesario encontrar en todo el sistema alimentario soluciones urgentes que puedan abordar los factores que reduzcan el costo de los alimentos nutritivos y que puedan ser accesibles para toda la población. En ese tenor, se espera que la bioeconomía impulse la transición hacia una economía más sostenible al abordar algunos de los principales desafíos mundiales, incluida la sostenibilidad alimentaria, el cambio climático y la escasez de recursos. La bioeconomía es un elemento clave que determina la búsqueda de soluciones a estos retos, y requiere de un conjunto de iniciativas que se coordinen con el ámbito social, político, industrial, diplomático y financiero (Aguilar, Ramón y Egea, 2018). El presente trabajo tiene como objetivo reflexionar sobre la contribución de la bioeconomía a los sistemas alimentarios en México, desde un enfoque innovador. La investigación es exploratoria, descriptiva y documental, con un diseño no experimental y transeccional. Los resultados derivados de la investigación se centran en un conjunto de recomendaciones a seguir para un mejor aprovechamiento de las herramientas innovadoras que ofrece la bioeconomía para apoyar a los sistemas alimentarios en México, con base en experiencias seguidas en otras partes del mundo.

1. Introducción

En la actualidad, los sistemas alimentarios enfrentan desafíos significativos en términos de sostenibilidad y acceso equitativo a alimentos. Si bien se producen suficientes alimentos para satisfacer las necesidades de toda la población, más de 1 500 millones de personas siguen sin tener acceso a alimentos saludables, y más de 3 000 millones luchan por acceder a una alimentación sana y asequible (IGAD, FAO y WFP, 2020).

En México, al igual que en muchas partes del mundo, es fundamental comprender y abordar los desafíos actuales que presentan los sistemas alimentarios. En este contexto, la bioeconomía emerge como un enfoque innovador que puede contribuir a la transformación de los sistemas alimentarios, promoviendo la sostenibilidad, la eficiencia y la equidad. En este contexto, se cree que la bioeconomía, que se caracteriza por su naturaleza interdisciplinaria, revolucione los sistemas alimentarios al integrar herramientas innovadoras aplicadas a la agricultura, biotecnología y otros sectores que aprovechan el uso responsable de los recursos biológicos, y promueven los principios de la economía circular y el desarrollo sostenible. Mediante un planteamiento exploratorio, descriptivo y documental, este trabajo tiene como objetivo brindar un conjunto de recomendaciones para aprovechar las herramientas innovadoras que ofrece la bioeconomía. Estas recomendaciones se centran en apoyar la sostenibilidad alimentaria, basándose en experiencias exitosas en otras partes del mundo. El objetivo principal es contribuir a la mejora de los sistemas alimentarios

al promover prácticas sostenibles y eficientes que beneficien su estructura global. Para ello, la organización del trabajo se describe a continuación.

En primer lugar, se aborda el análisis de los sistemas alimentarios en México. Se explora de manera general, la estructura, funcionamiento y principales desafíos de los sistemas alimentarios en el país, considerando factores como la producción, distribución, y consumo de alimentos. A continuación, se profundiza en las generalidades de la bioeconomía y su relevancia para los sistemas alimentarios. Se analizan los principios y conceptos clave de la bioeconomía, así como su potencial para impulsar la transición hacia sistemas alimentarios más sostenibles y resilientes. Además, se examina el concepto de bioinnovación, sus aplicaciones y contribuciones en el ámbito alimentario a través de dos estudios de caso. Este análisis permite comprender el estatus de la bioinnovación como un derivado de la bioeconomía, que desempeña un papel crucial en la diversificación de fuentes alimenticias, mejorando la eficiencia y reduciendo el impacto ambiental en la producción de alimentos.

A partir de los hallazgos y análisis realizados, se formula un conjunto de recomendaciones para un mejor aprovechamiento de las herramientas innovadoras que ofrece la bioeconomía en el contexto de los sistemas alimentarios en México. Estas recomendaciones están basadas en experiencias internacionales, y buscan fomentar la adopción de prácticas sostenibles, al promover la equidad y la mejora en la nutrición de la población. Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas de este trabajo al resumir los principales puntos discutidos en cada uno de los temas abordados. Se destaca la importancia de seguir explorando el potencial de la bioeconomía y la bioinnovación en la transformación de los sistemas alimentarios, y el papel clave que desempeñan en la búsqueda de soluciones para los desafíos alimentarios actuales y futuros.

2. Los sistemas alimentarios en México

Los sistemas alimentarios a nivel mundial son insostenibles, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Los países enfrentan un grave problema ambiental, resultado de la rápida pérdida de biodiversidad, emisiones de gases de efecto invernadero, pérdida excesiva de nutrientes, contaminación química y estrés hídrico causado por el uso inadecuado de la tierra y los sistemas alimentarios actuales. Además, es importante destacar que los sistemas alimentarios no producen una nutrición saludable ya que más de 820 millones de personas están desnutridas, mientras que 2 mil millones tienen sobrepeso u obesidad, creando una crisis de salud sin precedentes (FABLE, 2019).

El suministro de alimentos se ve interrumpido por olas de calor, inundaciones, sequías y guerras. El planeta también sufre, el sector alimentario emite alrededor del 30% de los gases de efecto invernadero del mundo. La expansión de las tierras de cultivo, los pastos y las plantaciones de árboles generan dos tercios (5,5 millones de hectáreas por año) de la pérdida de bosques, principalmente en los trópicos. Las malas prácticas agrícolas degradan los suelos, contaminan y agotan los suministros de agua y reducen la biodiversidad (Pendril, Persson, Godar y Kastner, 2019).

Cambiar el sistema alimentario hacia una trayectoria que garantice a la población mundial alimentos saludables, medios de vida equitativos y un medio ambiente próspero es uno de los desafíos más apremiantes del siglo XXI (IPCC, 2014; Steffen et al., 2015; FAO, 2016). Esta importancia se refleja en la declaración de las Naciones Unidas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para 2030. Si bien las sinergias entre muchos de los objetivos existen, las medidas que intervienen en el sistema alimentario para lograr estos objetivos a menudo resultan en compensaciones con otros ODS (Herrero et al., 2021).

A raíz de una atención mayor al cambio climático y el impulso de la Convención de las Partes (COP), se han presentado visiones más integradas de los sistemas alimentarios en los informes producidos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) con el Informe especial sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (Watson, Noble, Bolin y Ravindranath, 2000), la Comisión EAT-Lancet con el reporte Dietas Saludables de Sistemas Alimentarios Sostenibles (Einarsson, McCrory y Persson, 2019), Creciendo mejor de la Coalición de Alimentos y Uso de la Tierra (FOLU, 2019), y Creando un futuro alimentario sostenible del WRI (World Resource Institute) (Searchinger et al., 2019).

Además, la Cumbre de Naciones Unidas sobre los Sistemas Alimentarios ha reunido a un grupo de expertos y líderes UNFSS (ScGroup) para discutir y abordar los desafíos actuales de los sistemas alimentarios. Este grupo fue responsable de llevar la evidencia científica más importante a la Cumbre de Sistemas Alimentarios de las Naciones Unidas 2021 para ayudar a las partes interesadas y participantes a acceder al conocimiento compartido sobre experiencias, enfoques y herramientas para impulsar sistemas alimentarios sostenibles (von Braun, Afsana, Fresco y Hassan, 2021). En tanto, la Comisión de Población y Desarrollo de las Naciones Unidas en su sesión número 53 abordó como tema prioritario la "Seguridad alimentaria, nutrición y desarrollo sostenible"; así mismo, el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial de la ONU ha realizado consultas en las diferentes regiones de la ONU sobre el desarrollo de Directrices Voluntarias sobre Sistemas Alimentarios y Nutrición (Fanzo et al., 2020).

En este mismo contexto, en su preparación para la cumbre sobre los sistemas alimentarios, México estableció nuevas medidas, soluciones y estrategias para avanzar en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) mediante diez Diálogos Nacionales y un Diálogo Subnacional, donde participaron mil 132 personas de más de 90 instituciones y organizaciones, así como el Grupo Intersecretarial de Salud, Alimentación, Medio Ambiente y Competitividad (GISAMAC). Así también, el GISAMAC tiene como propósito, establecer un sistema agroalimentario justo, saludable, sostenible y competitivo, basado en las economías locales, al vincular organismos internacionales y organizaciones civiles, que enmarquen políticas públicas de prevención de enfermedades asociadas con el daño al medio ambiente y a los sistemas agroalimentarios (SALUD, SADER, SEMARNAT, 2021).

Así mismo el programa sectorial de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER 2020-2024), derivado del Plan Nacional de Desarrollo (PND), establece impulsar una política de autosuficiencia y rescate del campo con base en la soberanía alimentaria, la transición agroecológica sin transgénicos, glifosatos, ni otros plaguicidas altamente peligrosos, así como impulsar a los sectores productivos del país poniendo en el centro a las agriculturas campesinas e indígenas. El PND, además, busca garantizar el derecho a una alimentación nutritiva, suficiente y de calidad, establecido en el artículo 4o. constitucional, al poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible (SADER, 2020). Por esta razón, el SADER (2020) ha propuesto un nuevo modelo de desarrollo para construir un sistema agroalimentario mexicano renovado. Este modelo busca establecer cambios fundamentales que reflejen una visión comprometida con la justicia, la salud, la inclusión y la sustentabilidad.

A su vez, el Consorcio de Alimentos, Agricultura, Biodiversidad, Uso de la Tierra y Energía (FABLE), liderado por el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) y la Red de Soluciones de Desarrollo Sostenible (SDSN), en estrecha colaboración con EAT, el Instituto Potsdam para la Investigación del Impacto Climático (PIK) y muchas otras instituciones en su informe para México, presentan dos vías para el uso de la tierra y los sistemas alimentarios para el período 2020-2050: Tendencias Actuales y Desarrollo Sostenible. Estos caminos examinan las ventajas y desventajas de la dis-

ponibilidad limitada de tierras y restricciones para equilibrar la oferta y la demanda a nivel nacional y mundial (FABLE, 2020).

Para entender los sistemas alimentarios del México contemporáneo, es preciso indagar en el sistema alimentario mundial al final de la década de 1970 en donde el país experimentó una transformación dramática y con ello un cambio abrupto en la ingesta de alimentos saludables. Este cambio se atribuye a la expansión de la riqueza y el poder de empresas transnacionales dentro del territorio mexicano (Denham y Gladstone, 2020). Si bien la desigualdad en el sistema alimentario mexicano no es nada nuevo, la reestructuración económica neoliberal en las décadas de 1980 y 1990 socavó radicalmente su base agrícola de pequeños agricultores. La agricultura mexicana se ha caracterizado durante mucho tiempo por una estructura agraria bimodal¹ en la que las fincas más grandes y capitalizadas del norte se beneficiaron de los proyectos de infraestructura y los programas de desarrollo agrícola, mientras que la gran mayoría de las unidades productivas -pequeñas y medianas fincas- quedaron fuera de la investigación y programas de desarrollo (Fox y Haight, 2010).

Así mismo, en la década de 1980, en respuesta a la crisis de la deuda, se implementó un proceso de ajuste estructural neoliberal que tuvo un impacto significativo en el sector alimentario. Esta estrategia implicó una rápida eliminación de los subsidios estatales tanto para la producción como para el consumo nacional de alimentos básicos (Pechlaner y Otero, 2010). El modelo de desarrollo implementado en los últimos 30 años condujo a una alta concentración del ingreso que limitó el progreso con justicia y el desarrollo económico con bienestar. Hoy el 50% de la riqueza del país se concentra en un 20% de la población, y más del 50% de los habitantes que vive en pobreza extrema se encuentra en los territorios rurales, donde una cuarta parte de la población tiene carencias alimentarias (INEGI, 2018).

En 1992, se realizaron modificaciones al artículo 27 de la Constitución con el objetivo de revertir uno de los principales logros de la Revolución Mexicana: la redistribución de tierras en forma de cooperativas denominadas ejidos. A pesar de las expectativas de una privatización generalizada, la mayoría de los ejidos decidieron no privatizar sus propiedades (Assies, 2008). Más tarde, en 1994, entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), el cual eliminó los aranceles y las cuotas protectoras sobre los productos extranjeros. Estas reformas neoliberales generaron algunos "ganadores" en el sector agrícola mexicano, especialmente entre los agricultores bien capitalizados del Norte (Appendini, 2014).

En consecuencia, el ahora llamado T-MEC (Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá), ha sido vinculado a incrementos significativos en el flujo de materias primas agrícolas, alimentos preparados y la inversión extranjera directa de Estados Unidos a México. Paralelamente, se ha observado un aumento en la presencia de alimentos procesados y snacks en las dietas mexicanas, mientras que el consumo de alimentos básicos integrales en la dieta tradicional ha experimentado una notable disminución (Denham y Gladstone, 2020).

En respuesta a estos desafíos, el actual gobierno de México se comprometió a revertir estas tendencias al evocar la autosuficiencia en productos alimentarios básicos, revirtiendo la dirección que había tomado el país respecto a las tres décadas anteriores (De la Barrera et al., 2022). A través de estas medidas, se busca garantizar que los sistemas alimentarios en México sean más saludables, justos y sostenibles, en beneficio

1. Caracterizada por la existencia de dos modelos productivos: el capitalista y el campesino. Basados en un conjunto homogéneo de unidades productivas, ya sea de pequeños propietarios, empresas agrícolas privadas, colectivos, y cooperativas en donde existe una política de apoyo, así como una distribución tendencialmente más equitativa de los recursos al establecer las bases del crecimiento productivo y económico sostenido Martínez (1996).

de la población mexicana en su conjunto. Al priorizar la autosuficiencia y el apoyo a los pequeños productores, se está construyendo una base sólida para la sostenibilidad y seguridad alimentaria, así como equidad en el sector agrícola. Así mismo, al promover una mayor diversificación agrícola se reducen los riesgos asociados con la dependencia de importaciones de alimentos.

Al fortalecer los sistemas alimentarios en México, se generan impactos positivos en diversos aspectos, como la salud pública, la creación de empleo en el sector agrícola y la preservación del medio ambiente. Una mayor disponibilidad de alimentos saludables y nutritivos promueve el bienestar de la población, mientras que el apoyo al campo y a los pequeños productores fomenta un futuro alimentario más justo y resiliente.

3. Generalidades de la bioeconomía

La bioeconomía se puede definir como la producción, utilización, conservación y regeneración de recursos biológicos, incluidos los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados, con el objetivo de proporcionar soluciones sostenibles (información, productos, procesos y servicios) en y para todos los sectores económicos, permitiendo así una transformación hacia una economía sostenible (GBS, 2018).

La bioeconomía abarca todos los sectores y sistemas que dependen de los recursos biológicos (animales, plantas, microorganismos y biomasa derivada, incluidos los desechos orgánicos), sus funciones y principios. Incluye y vincula los ecosistemas terrestres y marinos y los servicios que brindan; sectores de producción primaria que utilizan y producen recursos biológicos (producción agrícola y ganadera, silvicultura, pesca y acuicultura); y todos los sectores que utilizan recursos y procesos biológicos para producir alimentos, piensos, bioproductos, energía y servicios, entre algunas otras industrias, como la química y de plástico, construcción, farmacéutica, textil, gestión de residuos y biotecnología (Comez, Harnett y Albinielli, 2022).

La naturaleza transversal de la bioeconomía ofrece una oportunidad única de abordar de manera integral retos sociales interconectados, tales como la seguridad alimentaria y la nutricional, la dependencia de los recursos fósiles, la escasez de los recursos naturales y el cambio climático, a la vez que se alcanza un desarrollo económico sostenible. La promoción de la bioeconomía ocupa un lugar destacado en la agenda política de más de cincuenta países, muchos de los cuales han creado estrategias y programas específicos destinados a la bioeconomía (FAO, 2022).

En ese contexto, la FAO, liderada por el grupo de trabajo internacional sobre bioeconomía sostenible (ISBWG), cuyo propósito es ayudar a los países a acceder a datos, información y conocimientos sobre oportunidades y riesgos ambientales y sociales de las innovaciones de base biológica en los sistemas agroalimentarios, proporciona orientación sobre políticas y apoyo técnico para ayudar a los encargados de formular políticas a establecer e implementar estrategias, planes de acción y programas nacionales y regionales para desarrollar una bioeconomía en consonancia con los ODS. La FAO a su vez, promueve el diálogo sobre políticas basadas en la ciencia para desarrollar estrategias coherentes entre y dentro de los sectores económicos. Además, facilita la comunicación sobre la bioeconomía, las asociaciones y el intercambio de conocimientos entre gobiernos, socios, sociedad civil y el sector privado a nivel mundial, regional y nacional (FAO, 2021).

La bioeconomía juega un papel fundamental en la mitigación y adaptación al cambio climático, así como en el fortalecimiento de la resiliencia climática. En un documento publicado por la FAO (2022), se presentan ejemplos concretos de cómo las políticas, prácticas e innovaciones en bioeconomía pueden res-

paldar a los países en el cumplimiento de sus compromisos climáticos, resaltando así la importancia de la bioeconomía en la transformación de los sistemas alimentarios.

Finalmente, la bioeconomía promueve el desarrollo de estrategias coherentes, fomenta el intercambio de conocimientos y contribuye a la mitigación del cambio climático, fortaleciendo la resiliencia climática. Es una herramienta esencial para la transformación de los sistemas alimentarios hacia la sostenibilidad, ofreciendo soluciones integrales y sostenibles a los desafíos sociales y ambientales. Es importante reconocer su potencial para abordar los retos sociales interconectados, como la seguridad y sostenibilidad alimentaria, la dependencia de los recursos fósiles, la escasez de recursos naturales y el cambio climático. Su enfoque transversal y su capacidad de utilizar recursos biológicos de manera eficiente y sostenible la convierten en una poderosa aliada para la búsqueda de soluciones integrales a través de la investigación y la innovación.

4. La bioinnovación y su aplicación en México: Los Casos de “Masagro” y “Griyum”

La ciencia y la investigación son motores fundamentales de la innovación. Los tres (ciencia, investigación e innovación) son esenciales para acelerar la transformación hacia sistemas alimentarios más saludables, más sostenibles, equitativos y resilientes (Fears y Canales, 2021). Para permitir la plena inclusión de las poblaciones pobres y marginadas, incluidas las comunidades de pequeños agricultores, en el proceso de beneficiarse de la transformación de los sistemas alimentarios, las inversiones en innovaciones basadas en tecnología deben ir acompañadas de innovaciones institucionales (incluidas las innovaciones sociales, comerciales y políticas), respaldadas por la ciencia: ciencias básicas y ciencias aplicadas, ciencias naturales y ciencias sociales (von Braun, Afsana, Fresco y Hassan, 2021).

En este sentido a medida que las poblaciones mundiales crecen, los sistemas alimentarios deben aumentar la producción de alimentos para garantizar el acceso a dietas saludables y diversas para satisfacer las necesidades futuras. Las crecientes demandas y la presión sobre el medio ambiente requieren la identificación de intervenciones innovadoras que impulsen una agricultura sostenible y equitativa. Las bioinnovaciones serán un conjunto de herramientas clave basadas en la biotecnología y en innovaciones de producto, así como innovaciones en gobernanza, regulación, contextos sociales y comerciales (IFPRI, 2022).

Consciente de la naturaleza sistémica del desafío de la bioinnovación como la interacción entre las biotecnologías emergentes y el contexto social en rápida evolución (modelos comerciales y de gobernanza), la bioinnovación en la alimentación y la agricultura vincularán de forma estrecha ciencia y tecnología, con cultura e identidad; asequibilidad y sostenibilidad, así como ética y seguridad. Impulsados por la digitalización, la creciente conectividad y la caída de los costos, los importantes avances en biotecnología se entrelazan con cambios más sistémicos en la forma en que se lleva a cabo la bioinnovación y quién está involucrado, de tal forma que la bioinnovación crea nuevas perspectivas para ayudar a abordar importantes necesidades nutricionales, ambientales y de desarrollo (WEF, 2018).

El interés en las fuentes alternativas de alimentos está creciendo rápidamente debido a una mayor conciencia sobre los impactos ambientales de la producción de alimentos, como consecuencia del incremento en la población mundial. Los nuevos sistemas de producción y fuentes de alimentos (NFPS) van desde ingredientes derivados de la fermentación, microalgas, algas, microproteínas, e insectos comestibles, hasta carnes, mariscos y lácteos cultivados, así como alternativas de proteínas de origen vegetal. Algunos de estos nuevos alimentos ya se encuentran en las dietas de diferentes países y regiones, impulsando la nutrición y proporcionando medios de subsistencia a las personas. También se utilizan para producir fuentes

de alimentación más sostenibles (Gomez, Harnett y Albinelli, 2022).

La bioinnovación no solo se centra en la mejora de la producción de alimentos, sino también en la promoción de la cultura, la identidad, la asequibilidad, la sostenibilidad, la ética y la seguridad en la alimentación y la agricultura. A medida que la digitalización y los avances tecnológicos continúan impulsando la bioinnovación, se abren nuevas perspectivas para abordar las necesidades nutricionales, ambientales y de desarrollo.

A continuación, se presentan dos casos que ejemplifican la aplicación de la bioinnovación en la producción de alimentos. El primero se centra en MasAgro, un programa de investigación e innovación que ha revolucionado la producción de maíz en México, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles, mejoramiento genético y el uso de tecnologías innovadoras. El segundo caso se enfoca en la utilización de grillos como fuente de proteína, “Griyum” como una alternativa nutricional y sostenible en la alimentación. Estos casos ilustran cómo la bioinnovación puede impulsar la transformación de los sistemas alimentarios hacia la sustentabilidad y la resiliencia.

4.1. Caso de “MasAgro Maíz”

El programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro), es un proyecto de investigación y desarrollo rural de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SEDER) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), que promueve una intensificación sustentable de la producción de maíz y trigo en México. MasAgro desarrolla investigación y capacidades dirigidas a incrementar la rentabilidad y estabilidad de los rendimientos del maíz y del trigo en México. El Programa también busca aumentar el ingreso de los agricultores y la sustentabilidad de sus sistemas de producción mediante esquemas de investigación colaborativa, el desarrollo y la difusión de variedades de semillas adaptadas, y de tecnologías y prácticas agronómicas sostenibles mediante redes de innovación compuestas por plataformas de investigación, módulos demostrativos y áreas de extensión (MasAgro, 2012).

El CIMMYT es miembro del CGIAR (Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola), una asociación mundial de investigación para un futuro con seguridad alimentaria dedicada a reducir la pobreza, aumentar la seguridad alimentaria y nutricional y mejorar los recursos naturales. Al mejorar los sistemas de maíz y trigo, el CIMMYT ayuda a enfrentar los desafíos globales, incluida la inseguridad alimentaria y nutricional, la degradación ambiental, el desarrollo económico, el crecimiento de la población y el cambio climático (CIMMYT, 2021).

El trabajo del CIMMYT en los sistemas agroalimentarios sostenibles, incluye el descubrimiento y desarrollo para alcanzar una multiplicidad de objetivos tales como: mejorar la resiliencia a través de la producción agrícola, los beneficios, los servicios medioambientales y la condición social y humana que incluyen la modelización de cultivos y sistemas, macrodatos, sistemas de información geográfica, teledetección y predicción de plagas, análisis de prospectiva, encuestas de panel, modelización socioeconómica con perspectiva de género, retroalimentación en sistemas de semillas, cadenas de valor inclusivas e investigación participativa. Con estas herramientas se pretende la adaptación al cambio climático para la nutrición, cadenas de valor inclusivas, ciencia del cambio climático, escalamiento, previsión, seguimiento y adopción, servicios de datos, sistemas de semillas basados en la demanda.

El caso de MasAgro y el CYMMIT, es un ejemplo clave del enfoque de la bioeconomía para abordar los desafíos en los sistemas alimentarios en México. A través de la intensificación sustentable en la producción de maíz y trigo, MasAgro ha logrado mejorar la productividad y la calidad de los cultivos, al tiempo que se asegura de minimizar el impacto ambiental. Además, la incorporación de prácticas agroecológi-

cas y la promoción de la biodiversidad han permitido un mayor bienestar para las comunidades rurales y han mejorado la seguridad alimentaria en el país (CIMMYT, 2021). Así mismo, este caso demuestra que la implementación de la bioeconomía en los sistemas alimentarios es una estrategia efectiva para lograr una producción alimentaria más sostenible, equitativa y saludable. La cooperación entre actores del sector público y privado, como MasAgro y el CYMMIT, es esencial para alcanzar los objetivos de la bioeconomía y fomentar una transición hacia sistemas alimentarios más justos y resilientes en México.

4.2. Caso “Griyum”

Tras la búsqueda de nuevas formas de producir alimentos a gran escala que sean sostenibles, diversas organizaciones y gobiernos consideran la producción y el consumo de insectos, como una estrategia para domar el cambio climático, que confiere un beneficio ambiental en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que la alimentación de los insectos está dominada por residuos de materia orgánica (Van et al., 2013). Adicionalmente, la producción de insectos para el consumo, comparado con la producción de alimentos con base en animales domésticos, ofrece más beneficios que incluyen el uso de menos tierras de cría, además de sus altas tasas de reproducción y su alta eficiencia de conversión alimenticia (Klunder, Wolkers-Rooijackers, Korpela y Nout, 2012).

De acuerdo con la FAO (2013), los insectos están emergiendo rápidamente como un grupo viable de alimentos y piensos y la producción en masa está ganando cierta popularidad a nivel mundial. Esto se puede atribuir al importante valor nutricional de los insectos, así como a los beneficios ambientales y las mejoras en los medios de vida asociados con la cría de insectos. La producción de insectos comestibles tiene una alta eficiencia en el uso de la tierra en comparación con las fuentes tradicionales de proteínas. De hecho, se necesita de dos a diez veces menos tierra agrícola para producir un kilogramo de proteína comestible de insectos en comparación con un kilogramo de proteína de cerdos o ganado (Oonincx y De Boer, 2012).

Estudios recientes indican un aumento de interés respecto al uso de insectos como ingredientes alternativos en la preparación de alimentos tradicionales, como pan, pasta, barras de cereal, sopa, galletas, salchichas y snacks extruidos (Lordelo et al., 2022). Tras el informe elaborado por la FAO (2021), la producción de insectos en varios países del mundo en escala comercial se ha extendido debido principalmente a su alta eficiencia en el uso de la tierra en comparación con las fuentes de proteínas tradicionales. El mercado mundial de insectos comestibles presentó en 2018 un valor cercano a los USD 400 millones, con una previsión de crecer aproximadamente tres veces para 2023, por otro lado, se predice que para 2025 la producción será de aproximadamente 1.200 millones de toneladas (Gałęcki, Zielonka, Zasepa, Gołbiowska y Bakuła, 2021).

El caso de “Griyum” es un ejemplo representativo e interesante; esta empresa se especializa en la producción de harina de grillos. Mediante el aprovechamiento de estos insectos como fuente de proteína sostenible, Griyum es una empresa de alimentos cuyo propósito es el de generar oportunidades de desarrollo económico a través de la nutrición, por lo que ha logrado desarrollar una alternativa innovadora y nutritiva para la industria alimentaria. Su proceso de producción utiliza técnicas de cría y procesamiento cuidadosamente diseñadas, garantizando la calidad y seguridad de sus productos. La harina de grillos de Griyum se utiliza en la elaboración de alimentos como pan, galletas y barras energéticas, ofreciendo una opción sustentable y con beneficios nutricionales (GRIYUM, 2023).

Para tal efecto, desarrollaron un sistema de producción controlado, en donde los grillos crecen en hábitats en donde se les proporciona alimento de alta calidad. Cuando llegan a la última etapa de crecimiento,

se les coloca en un lugar que proporciona temperaturas muy bajas, ya que ellos al ser de sangre fría detienen su metabolismo, esto los convierte en alimento con un alto nivel nutricional. Con apoyo de instituciones públicas mexicanas como la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural, se transfirió el conocimiento y la técnica de cultivo a un grupo de 25 productores en comunidades rurales. Esto les permitió comenzar su propio negocio de crianza de grillos y se integraron como proveedores de Harina Griyum.

La importancia de emprendimientos como la empresa Griyum, es acorde con lo expresado por la FAO, quien recomienda el consumo de insectos debido a su contenido de proteínas, vitaminas y aminoácidos de alta calidad. Así mismo destaca que la harina de grillo tiene múltiples beneficios para la salud, ya que su contenido de proteína por cada 100 gramos es de 65 gramos como mínimo, tiene un 11% de fibra dietética, y contiene los 9 aminoácidos esenciales que el ser humano necesita para poder completar su nutrición. Además de ser mucho más digerible, hasta un 80 a un 85% más que la carne de res. Entre otros aspectos positivos, la producción de insectos es menos contaminante que el ganado, produce menos emisiones de metano, gases de efecto invernadero y de estiércol (DW, 2019).

Para concluir, el caso de la empresa “Griyum” y su producción de harina de grillos ejemplifica cómo la bioeconomía y la bioinnovación pueden impulsar la innovación en la industria alimentaria. Mediante el aprovechamiento de insectos como fuente de proteína sostenible, Griyum ha demostrado cómo la aplicación de la bioinnovación puede generar soluciones disruptivas y sostenibles. Este ejemplo destaca la importancia de explorar nuevas formas de producción de alimentos mediante la integración de la biotecnología, la ciencia y la tecnología en la cadena de valor de los alimentos. A través de la bioinnovación, se abre el camino hacia un futuro en el que las soluciones bioeconómicas desempeñen un papel clave en la transformación de los sistemas alimentarios y, por ende, a la seguridad alimentaria.

5. Resultados

Como resultado de la investigación, en primera instancia se identifica la fuerte presión que ejerce el continuo crecimiento de la población mundial y sus desafíos sobre los sistemas alimentarios para satisfacer sus necesidades presentes y futuras, además de un acceso equitativo a alimentos que también contribuyan al cuidado de la salud. Sin embargo y con base en la revisión de la literatura, se encuentran elementos suficientes para afirmar que la bioeconomía, como enfoque innovador, puede contribuir a la transformación de los sistemas alimentarios. Esto lo refuerza su naturaleza interdisciplinaria al incidir en la evolución de los sistemas alimentarios al integrar herramientas innovadoras aplicadas en el sector agrícola y otros que también aprovechan la explotación de los recursos biológicos. Por otro lado, la naturaleza transversal de la bioeconomía, contribuye en la integración colaborativa de todos los agentes sociales para hacer frente a los grandes desafíos que implican la seguridad alimentaria y nutricional, la dependencia de los recursos fósiles, la escasez de los recursos naturales y el cambio climático; todo ello, orientado hacia los ODS.

Se encontró también que el impulso de la bioeconomía a nivel mundial, ocupa un lugar destacado en los planes nacionales de desarrollo de los gobiernos de más de cincuenta países, entre los que destacan algunos países latinoamericanos, muchos de los cuales han creado estrategias y programas específicos destinados a la bioeconomía. Tal es el caso de México, donde se han identificado distintas iniciativas que están generando algunos resultados exitosos y pueden replicarse en diversas regiones del país. Las estrategias mexicanas para impulsar la bioeconomía, se expresan en la iniciativa del Programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro), en la que se identifica la colaboración del gobierno

federal, centros de investigación y organismos internacionales, cuyo objetivo principal, es aprovechar los beneficios de la bioeconomía para hacer frente a los desafíos en los sistemas alimentarios del país. Otro emprendimiento basado en la aplicación de la bioeconomía y la bioinnovación a destacar en México, es el caso de “Griyum”, empresa especializada en la producción de harina de grillos, que ha desarrollado una alternativa innovadora y nutritiva para la industria alimentaria, generando resultados sugestivos.

6. Recomendaciones

Se recomienda el desarrollo de marcos regulatorios que faciliten el fomento de la bioeconomía al promover prácticas sustentables y respaldar la utilización responsable de los recursos biológicos. Es fundamental que las políticas públicas desempeñen un papel crucial al impulsar cambios estructurales que integren a la bioeconomía como un eje central para la colaboración entre sectores y promover la inversión en investigación y desarrollo (I+D), así como la creación de nuevos mercados. Además, es necesario apoyar con financiamiento y estímulos fiscales dirigidos a las PYMES que impulsen proyectos enfocados a la bioeconomía.

Se requiere una estrecha colaboración entre el gobierno, la academia, la industria y la sociedad civil para impulsar el crecimiento de la bioeconomía. Es fundamental establecer un sólido intercambio de conocimientos que facilite el acceso a información y que promueva espacios de diálogo entre los diferentes actores. En este sentido, el sector privado juega un papel clave para invertir en investigación y desarrollo (I+D) y promover la transferencia de tecnología y fomentar la formación de clusters y bioemprendimientos.

Es esencial fomentar la cooperación internacional y establecer alianzas estratégicas en el ámbito de la bioeconomía. México debe colaborar estrechamente con otros países líderes en este campo con el fin de fortalecer sus capacidades, intercambiar conocimientos y experiencias, y explorar nuevas oportunidades de mercado. Para lograr estos objetivos, el gobierno debe impulsar acuerdos con otros países y organizaciones internacionales, que fomenten una sólida colaboración en la bioeconomía a nivel global.

7. Conclusiones

En conclusión, los sistemas alimentarios enfrentan desafíos globales en términos de sostenibilidad y acceso equitativo a alimentos. La bioeconomía, como enfoque innovador, se presenta como una herramienta clave para abordar estos desafíos, integrando herramientas y principios que promueven la utilización responsable de los recursos biológicos, la economía circular y el desarrollo sostenible. En México, el Gobierno ha impulsado medidas y estrategias para fortalecer los sistemas alimentarios y fomentar una agricultura más sostenible y equitativa.

En este contexto, se han desarrollado casos como el de MasAgro, que ha revolucionado la producción de maíz mediante prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías innovadoras, así como la empresa “Griyum”, que utiliza grillos como fuente de proteína alternativa y sostenible en la alimentación. Estos casos demuestran cómo la bioinnovación puede contribuir a la transformación de los sistemas alimentarios, promoviendo la sostenibilidad, la eficiencia y la equidad. La colaboración entre la ciencia, la investigación y la innovación, respaldada por enfoques institucionales y sociales, son fundamentales para acelerar esta transformación y lograr sistemas alimentarios más saludables, sostenibles y resilientes. La bioeconomía y la bioinnovación ofrece nuevas perspectivas para abordar desafíos nutricionales, ambientales y de desarrollo, impulsando la transición hacia un futuro alimentario más sostenible.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, A., Ramón, D. y Egea, F. (2018). *Bioeconomía y Desarrollo Sostenible*. España: Cajamar Caja Rural.
- Appendini, K. (2014). Reconstructing the Maize Market in Rural Mexico. *J. Agrarian Change*, 1-25.
- Assies, W. (2008). Land tenure and tenure regimes in Mexico: an overview. *J. Agrarian Change*, 33-63.
- De la Barrera, E., Villalvazo, E., Díaz, E., Aguirre, I., Alcázar, A., Alvarado, Á., . . . Villaseñor, A. (2022). 4T don't stand for tacos: An analysis of food and environmental security considerations in the new Mexican government's agricultural agenda. *F1000Research Gateways*.
- Denham, D. y Gladstone, F. (2020). Making sense of food system transformation in Mexico. *Geoforum*, 67-80.
- DW. (2019). DW. <https://www.dw.com/es/m%C3%A9xico-el-pa%C3%ADs-der-de-la-revoluci%C3%B3n-insect%C3%ADvora/a-50855360>
- Einarsson, R., McCrory, G. y Persson, U. (2019). Healthy diets and sustainable food systems. *THE LANCET*, 215-215.
- FABLE (2019). *Pathways to Sustainable Land-Use and Food Systems*. The Food, Agriculture, Biodiversity, Land-Use, and Energy Consortium.
- FABLE (2020). *Pathways to Sustainable Land-Use and Food Systems in Mexico by 2050*. Luxemburg and Paris: FABLE Consortium, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Sustainable Development Solutions Network (SDSN).
- Fanzo, J., Covic, N., Dobermann, A., Henson, S., Herrero, M., Pingali, P. y Staal, S. (2020). A research vision for food systems in the 2020s: Defying the status quo. *Global Food Security*.
- FAO (2013). *Edible insects. Future prospects for food and feed security*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- FAO (2016). *Increasing the resilience of agricultural livelihoods*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2021). *Bioeconomy for a Sustainable Future brief*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2021). *Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- FAO (2022). *Bioeconomía Sostenible y la FAO Resumen del proyecto*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO (2022). *Sustainable and circular bioeconomy in the climate agenda: Opportunities to transform agrifood systems*. Rome: Food and Agriculture Organizations of the United Nations.
- FAO (2022). *Thinking about the future of food safety a foresight report*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- FAO y WHO (2018). *Science, Innovation and Digital Transformation at the Service of Food Safety*. Rome: FAO y WHO.
- Fears, R. y Canales, C. (2021). *The Role of Science, Technology and Innovation for Transforming Food Systems Globally*. Food Systems Summit.
- FOLU (2019). *Growing Better: Ten Critical Transitions to Transform Food and Land Use*. Kenya: The Food and Land Coalition.
- Fox, J. y Haight, L. (2010). Mexican agricultural policy: Multiple goals and conflicting interests. En J. Fox y L. Haight, *Subsidizing Inequality: Mexican Corn Policy since NAFTA* (pp. 9-50). Mexico: Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Gałecki, R., Zielonka, L., Zasepa, M., Gołbiowska, J. y Bakuła, T. (2021). Potential Utilization of Edible Insects as an Alternative Source of Protein in Animal Diets in Poland. *Front Sustainability*.

- GBS (2018). *Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2018. Innovation in the Global Bioeconomy for Sustainable and Inclusive Transformation and Wellbeing*. Berlin: Global Bioeconomy Summit.
- Gomez, S., Harnett, S. y Albinelli, I. (2022). *Sustainable and Circular bioeconomy in the climate agenda*. Rome: FAO.
- GRIYUM. (2023). *Beneficios de la harina de grillo*. <https://www.griyum.com.mx/granjas-de-grillo-impacto>
- Herrero, M., Thornton, P., Mason-D'Croz, D., Palmer, J., Bodirsky, B., Pradhan, P., . . . Rockström, J. (2021). Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals. *The Lancet Planetary Health*, 50-62.
- IFPRI (2022). Global food policy report: Climate change and food systems. En J. Falck, B. Jenzano, P. Roca y M. Fuentes, *Bio-innovations: Genome-edited crops for climate-smart food systems* (pp. 90-99). Washington: International Food Policy Research Institute IFPRI.
- IGAD, FAO y WFP (2020). *Urgent Action required to prevent a Major Food Crisis in Eastern Africa*. Ginebra: FAO.
- INEGI (2018). *Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares ENIGH*. México: INEGI.
- IPCC (2014). *The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Klunder, H., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. y Nout, M. (2012). Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 628-631.
- Lordelo, P., Lima, M., Cavalcanti, L., Barreto, R., Batista, T., Farias L., . . . Oliviera, C. (2022). Innovation in Alternative Food Sources: A Review of a Technological State-of-the-Art of Insects in Food Products. *Foods*.
- Martínez, E. (1996). México: Cambios en la estructura agraria y en la participación social y política de los campesinos. En M. Chiriboga, L. Zamosc y E. Martínez, *Estructuras agrarias y movimientos campesinos en América Latina (1950-1990)* (pp. 201-234). México: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Onincx, D. y De Boer, I. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a Protein Source for Humans. *A Life Cycle Assessment*.
- Pechlaner, G. y Otero, G. (2010). The third food regime: neoliberal globalism and agricultural. *Sociología Ruralis*, 1-21.
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J. y Kastner, T. (2019). Deforestation displaced: trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. *Environmental Research*.
- SADER (2019). *Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024*. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- SADER (2020). *Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024*. México: Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural.
- SALUD, SADER, SEMARNAT. (2021). México fija postura de cara a la Cumbre sobre Sistemas Alimentarios de la ONU. *México fija postura de cara a la Cumbre sobre Sistemas Alimentarios de la ONU*. Secretaria de Salud.
- Schmid, O., Padel, S. y Levidow, L. (2012). The Bio-Economy Concept and Knowledge Base in a Public Goods and Farmer Perspective. *Bio-based and Applied Economics*, 47-63.
- Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J., Dumas, P., Mathews, E. y Klirs, C. (2019). *Creating a Sustainable Food Future: A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050. Final Report*. Washington: World Resource Institute.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennett, E., . . . Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347.

- Van, H., Itterbeeck, V., Klunder, H., Mertens, H., Halloran, A., Muir, G. y Vantomme, P. (2013). *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Von Braun, J., Afsana, K., Fresco, L. y Hassan, M. (2021). *Science and Innovation for Food Systems Transformation and Summit Actions, Papers by the Scientific Group and its partners in support of the UN Food Systems Summit*. Bonn: Scientific Group of the United Nation Food Systems Summit.
- Watson, R., Noble, I., Bolin, B. y Ravindranath, N. (2000). *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. England: Cambridge University Press.
- WEF (2018). *Bio-Innovation in the Food System Towards a New Chapter in Multistakeholder Collaboration*. Geneva: World Economic Forum.