

## CAPÍTULO 3

### **Desarrollo de un sistema agroalimentario sostenible a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector agrícola de México.**

José Alberto Cabello Cortés  
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)

Línea de generación y aplicación del conocimiento:  
Gestión y competitividad estratégica.



## **Resumen**

El sector agroalimentario en México presenta una demanda insatisfecha de información relacionada con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), esto provoca que la producción de alimentos se realice con altos niveles de contaminantes, bajo este contexto, el documento muestra las acciones de reducción y estrategias más eficientes de mitigación de GEI en la producción primaria de alimentos, de la misma forma se presentan indicadores de sustentabilidad que deben ser tomados en cuenta para ser empresas ambientalmente responsables, al mismo tiempo se describe la metodología de cálculo y las unidades de medición de los indicadores.

Dentro de este marco el trabajo analiza en el apartado de desarrollo, las tendencias mundiales, la relación entre las empresas agroalimentarias y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el cambio climático y la seguridad alimentaria, las medidas de adaptación y estrategias de mitigación contra el cambio climático y la importancia de medir la huella de carbono.

La investigación es bibliográfica con alcance exploratorio, identificando las acciones para desarrollar un sistema agroalimentario sostenible a través de la reducción de emisiones de GEI en el sector agrícola de México.

## **Palabras clave**

Cambio climático, gases de efecto invernadero, sustentabilidad, huella de carbono, reducción y mitigación de GEI.

## Introducción

El objetivo del trabajo es “Mostrar las acciones para desarrollar un sistema agroalimentario sostenible a través de la reducción de emisiones de GEI en el sector agrícola de México”.

Los GEI están directamente relacionados con el cambio climático, aunado a esto la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC (1992) en su Artículo 1, define el cambio climático como: "cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables".

En consecuencia, el cambio climático acontecido durante las últimas décadas ha derivado en un calentamiento global, término referido generalmente al aumento gradual de las temperaturas del planeta. Ello es resultado de la acumulación de GEI atrapados en la atmósfera, estos absorben la radiación que emite la Tierra y atrapan el calor, impidiendo que la energía se traslade al espacio.

Al respecto los Sistemas Agroalimentarios enfrentan responsabilidades con el cuidado del medio ambiente, en este sentido, el documento muestra las acciones necesarias que deben ser implementadas para reducir las emisiones de GEI. Igualmente, la huella de carbono se refiere al impacto que deja la humanidad en la tierra, o la totalidad de GEI que se emiten directa e indirectamente por un individuo, organización o evento, y esta funciona como un indicador de sostenibilidad para nuestro medio ambiente (Aguilera et al, 2020).

Es así como, a fin de evitar los peores impactos del cambio climático y para conservar un planeta habitable, el aumento global de la temperatura necesita limitarse a no más de 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales. En la actualidad, la Tierra ya tiene un calentamiento superior al 1,1 °C en comparación con finales del siglo XIX, y las emisiones continúan elevándose. Para mantener el calentamiento global por debajo de 1,5 °C, tal como se exigió en el Acuerdo de París, es necesario que las emisiones se reduzcan alrededor del 45 % para 2030 y que se alcance el cero neto hacia 2050 (ONU, 2023).

## Desarrollo

### Tendencias mundiales

La FAO (2017) publicó un informe denominado *The future of food and agriculture – Trends and challenges* en el cual identifica las principales tendencias globales y retos que definirían el futuro de la alimentación y la agricultura en la próxima década. A partir de esto señala que para el año 2050, seremos en el planeta 9 mil millones de habitantes, de los cuales una parte de los sectores medios van a ir aumentando su capacidad adquisitiva lo cual implica un incremento en la demanda de proteína, un incremento de la demanda de productos de calidad y un incremento de la demanda de productos procesados. Así mismo, revisando cómo se comportan la producción y las proyecciones de producción en cada uno de los continentes, el continente con mayores posibilidades, por las condiciones del suelo, por la disponibilidad de suelo y agua y por su comportamiento normal de producción de alimentos, es el continente americano, básicamente América Latina y el Caribe.

El segundo gran desafío mencionado por FAO (2017) que tiene la agricultura del futuro y que tiene la agricultura en realidad desde ya es cómo producir y cómo satisfacer la demanda de alimentos en el marco de las repercusiones del cambio climático que estamos viviendo cada día con mayor contundencia, tal como, incremento en las temperaturas afectando el ciclo de los cultivos, afectación en el régimen de lluvias, periodos de sequía largos, inundaciones inesperadas y eso evidentemente está impactando la producción de alimentos.

Además, entre los desafíos ambientales asociados se cuentan, entre otros, la mayor erosión y salinización de los suelos, sobreexplotación de acuíferos, contaminación de cuerpos de agua dulce, emisiones de GEI y daño a ecosistemas (Aguilera et al, 2020). En este mismo marco la ONU menciona que los sistemas de producción, envasado y distribución de alimentos generan un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero y causan hasta el 80% de la pérdida de biodiversidad. Si no se interviene, es probable que las emisiones del sistema alimentario aumenten hasta un 40% para 2050, dada la creciente demanda de la población, los mayores ingresos y los cambios en la dieta. A su vez, el sistema alimentario representa actualmente alrededor del 30%

del consumo total de energía en el mundo, la mayor parte de la cual se produce con combustibles fósiles que generan emisiones. Por otra parte, más del 17% de los alimentos se desperdicia, y hasta el 10% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero están asociadas a los alimentos que no se consumen.

### Las empresas agroalimentarias y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas (ONU), los objetivos de desarrollo sostenible son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Para no dejar a nadie atrás, es importante que logremos cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030.

Por otra parte, la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios realizada el 23 de septiembre del año 2021 en la ciudad de Nueva York en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) menciona que los sistemas alimentarios sostenibles no solo ayudan a erradicar el hambre y la malnutrición, también pueden encaminar a la comunidad internacional hacia el logro de avances decisivos en favor de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

## Cambio climático y seguridad alimentaria

Aguilera et al (2020) menciona que la estimación de las emisiones asociadas a la producción de alimentos supone el 27% de las emisiones antropogénicas mundiales de GEI (Figura 2). En este sentido, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en su reciente informe especial “Climate Change and Land”, concluye que entre un 21 y 37% de las emisiones de GEI globales son atribuibles a los sistemas agroalimentarios. Gran parte son emisiones indirectas debidas a la producción y transporte de insumos o productos de consumo, incluyendo las asociadas a cambios de uso del suelo, alcanzando otros ámbitos del sistema agroalimentario como son el procesado, distribución y consumo.

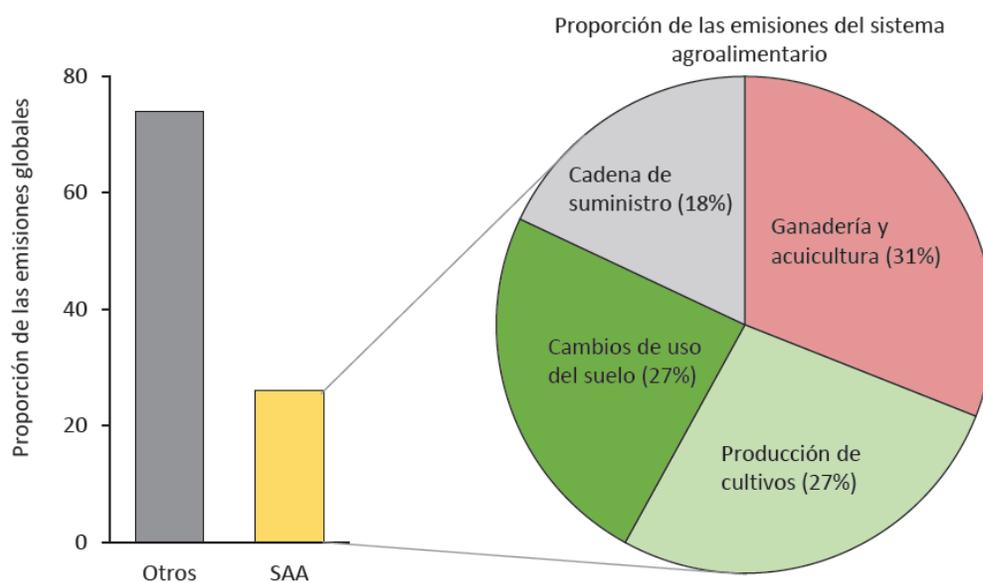


Figura 2. Contribución del sistema agroalimentario (SAA) y sus componentes a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Las emisiones asociadas a la producción de piensos están incluidas en la producción de cultivos. Asimismo, las emisiones por cambios de uso del suelo se asocian tanto a la producción animal como a la vegetal.

Fuente: Elaborado por Aguilera et al, 2020 con datos de Poore y Nemecek.

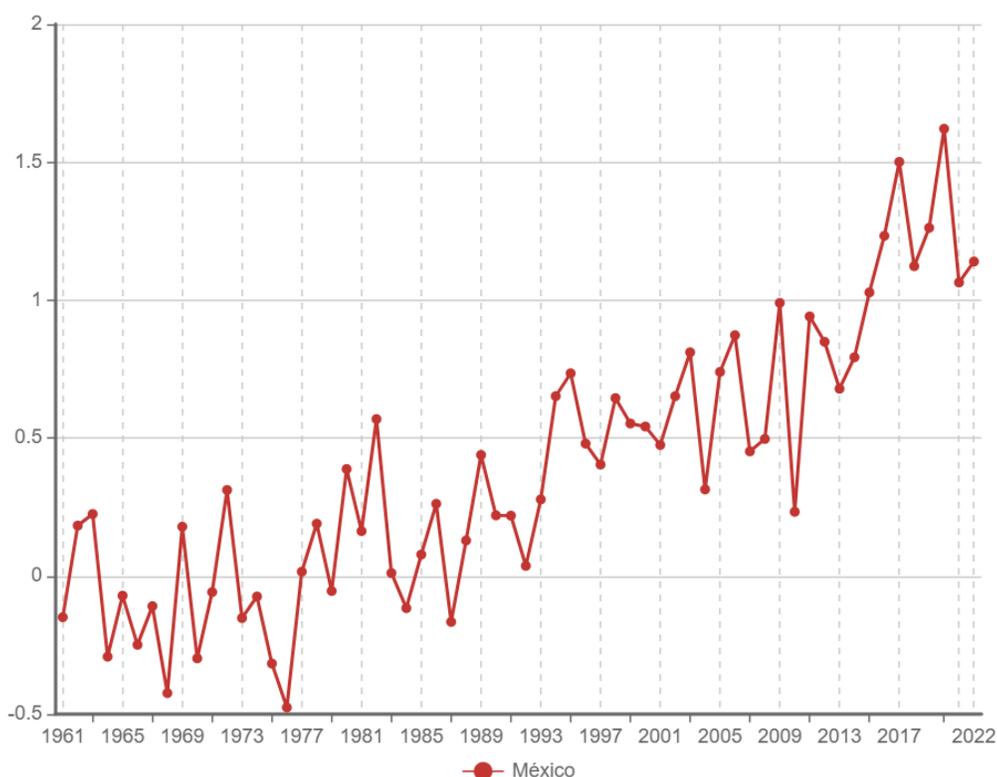
Dentro de la agricultura, el uso excesivo de fertilizantes químicos resulta en problemas ambientales graves como contaminación del agua, la acidificación del suelo y, sobre todo, la diseminación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Se estima que el 24 % de las emisiones globales de GEI provienen de la

agricultura y, en particular, la mayoría de las emisiones antropogénicas de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso se producen en el sector agropecuario (Escamilla, 2022). El  $\text{N}_2\text{O}$  y el  $\text{CH}_4$  presentan un poder de calentamiento 265 y 28 veces, respectivamente, mayor en comparación con el  $\text{CO}_2$  (Saynes et al, 2016).

Salazar et al (2010) mencionan que México se encuentra en un lugar intermedio entre los emisores de carbono a nivel mundial, ocupando el lugar 14 entre los países con más emisiones de GEI. Su contribución es cerca del 1.5% de las emisiones mundiales. En cuanto a emisiones per cápita, de acuerdo con el último inventario de emisiones, en México se emitieron en promedio 5.89 toneladas de GEI en  $\text{CO}_2$  eq. por habitante en 2004. En cuanto a emisiones totales, México es el primer lugar en América Latina, con cerca del 25% del total de emisiones de esta región.

De igual forma los efectos que los científicos habían predicho durante mucho tiempo como resultado del cambio climático global ahora están ocurriendo, como las olas de calor más largas e intensas, sequías, incendios forestales y lluvias extremas.

En este sentido, el sexto informe de evaluación del IPCC, publicado en 2021, encontró que las emisiones de gases que atrapan el calor ya han aumentado la temperatura media a nivel global en casi 1,1 grados Celsius desde la época preindustrial. En México la información estadística de FAO muestra incrementos similares de la variación de temperatura media en grados Celsius, tal como se muestra en la gráfica 1.



Gráfica 1. Variación de temperatura media en grados Celsius en México

Fuente: FAO / Base de datos estadísticos en línea FAOSTAT

### Medidas de adaptación y estrategias de mitigación contra el cambio climático

Los lineamientos internacionales establecidos en el Protocolo de Kyoto (Houghton et al, 1997), enfocados a mitigar y disminuir a largo plazo los efectos de gases de efecto invernadero (GEI) causados principalmente por CO<sub>2</sub>, han dado lugar a una política internacional dirigida a entender los procesos de generación y absorción de dichos gases, impulsando ampliamente el interés en el estudio sobre la dinámica del carbono orgánico del suelo (COS) buscando alternativas para su captura (Segura et al, 2005). Por otra parte los parámetros que dan claridad al trabajo son mitigación y adaptación al cambio climático, en adición, la mitigación (reducir el cambio climático) implica reducir el flujo de gases de efecto invernadero que atrapan el calor hacia la atmósfera, ya sea reduciendo las fuentes de estos gases (por ejemplo, la quema de combustibles fósiles para electricidad, calor o transporte) o mejorando los "sumideros" que acumulan y almacenan estos gases (como los océanos, los bosques y el suelo). El objetivo de la

mitigación es evitar una interferencia humana significativa con el clima de la Tierra, “estabilizar los niveles de gases de efecto invernadero en un período de tiempo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, garantizar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico avance de manera sostenible” (tomado del informe de 2014 sobre Mitigación del Cambio Climático del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de la ONU).

Así mismo, adaptación se refiere al adaptarse a la vida en un clima cambiante, ajustándose al clima futuro real o esperado. El objetivo es reducir los riesgos de los efectos nocivos del cambio climático (como el aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos más intensos o inseguridad alimentaria). También incluye aprovechar al máximo las posibles oportunidades favorables asociadas con el cambio climático (por ejemplo, temporadas de cultivo más largas o mayores rendimientos en algunas regiones).

Adicionalmente en 2023, ciento sesenta (160) países respaldaron la Declaración de los EAU sobre Agricultura Sostenible, Sistemas Alimentarios Resilientes y Acción Climática de la COP28 celebrada en Dubái (Emiratos Árabes Unidos), reconociendo que los impactos climáticos están poniendo en peligro rápidamente la resiliencia de los sistemas agroalimentarios y comprometiéndose a trabajar en colaboración para ampliar las actividades de adaptación y resiliencia, promover los esfuerzos de seguridad alimentaria y nutrición, apoyar a los trabajadores agrícolas y fortalecer el uso eficiente del agua en la agricultura, entre otras iniciativas (Naciones Unidas, 2023).

### **Huella de Carbono**

El cálculo de la huella de carbono requiere contabilizar las emisiones de GEI que se producen en cada una de las fases de la producción de los alimentos, incluyendo no sólo las que tienen lugar en el propio sector agropecuario, es decir, en campos de cultivo y granjas, sino también las emisiones indirectas, durante la fabricación de los insumos agrícolas y ganaderos, incluida la producción de piensos importados (y deforestación asociada), y después de la explotación, donde podemos incluir tanto las emisiones indirectas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

como las generadas en fases de la cadena agroalimentaria posteriores a la producción agropecuaria, es decir, las derivadas del procesamiento, distribución, y consumo de alimentos, así como las asociadas a la gestión de residuos (Aguilera, 2020).

En este mismo contexto, la huella de carbono no sólo es amenaza. También puede ser fuente de oportunidades competitivas. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) ha percibido que para los empresarios la denominada “agenda positiva” del cambio climático que apunta a la sostenibilidad de los negocios, es tan importante a la hora de definir estrategias empresariales como el riesgo de tener que hacer frente a posibles barreras y requisitos ambientales en los mercados de los países industrializados.

La unidad de medida de la huella de carbono es el dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Esta unidad, a su vez, se cuantifica por medio de toneladas o gigagramos (equivalente a 1000 toneladas).

### **Acciones estratégicas para un Sistema Agroalimentario Sostenible**

Las empresas del sector agroalimentario asumen la necesidad de producir bajo condiciones limpias los alimentos que ofertan en los mercados nacionales e internacionales. Específicamente en México el estudio muestra las actividades relacionadas con sistemas agroalimentarios desde un enfoque de sostenibilidad ante el cambio climático, abordando bajo este tenor la reducción de huella de carbono a través de diversas acciones tal como los programas de abastecimiento responsable con bajos niveles de liberación de carbono en la producción de su materia prima, así como la reducción de emisiones de carbono al reducir el uso de maquinaria al incorporar prácticas sustentables como la agricultura de conservación en los sistemas de producción (Govaerts et al, 2009), además de la correcta aplicación de fertilizantes nitrogenados, es decir, la aplicación precisa de acuerdo con las necesidades de los cultivos, de la misma forma es necesario conservar y proteger los recursos hídricos mediante la eficiencia, la reutilización y la gestión de aguas pluviales y aguas subterráneas, finalmente los bonos de carbono son un mecanismo internacional para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> que contribuyen al calentamiento global.

Por otra parte, la Iniciativa 20x20 es un esfuerzo liderado por los países de América Latina y el Caribe que buscan cambiar la dinámica de la degradación de la tierra en la región, comenzando por proteger y restaurar por lo menos 50 millones de hectáreas de bosques, tierras agrícolas, pastizales y otros paisajes para el año 2030. La Iniciativa — cuyo lanzamiento formal tuvo lugar en la COP 20 en Lima en 2014 — apoya el Desafío de Bonn y la Declaración de Nueva York sobre los Bosques, compromisos globales que buscan restaurar 350 millones de hectáreas en el mundo de tierras deforestadas y degradadas para el año 2030.

Igualmente, la Iniciativa 4 por 1000 puesta en marcha por Francia el 1 de diciembre de 2015 en la COP21, es parte de la Agenda de Acción Climática Global, tiene como objetivo demostrar que la agricultura, y en particular los suelos agrícolas, pueden desempeñar un papel crucial en la seguridad alimentaria y el cambio climático, se focaliza en el aumento de un 4 por 1000 anual del carbono orgánico del suelo, constituye otro marco de referencia internacional para la transición hacia una agricultura climáticamente neutral. Así mismo, la Iniciativa Internacional alienta a los actores a comprometerse en una transición hacia una agricultura regenerativa, productiva y altamente resiliente, basada en una gestión adecuada de la tierra y del suelo, que crea empleos e ingresos y conduce así al desarrollo sostenible.

Es importante señalar que la implementación de las diversas acciones requerirá un esfuerzo concertado y un compromiso a largo plazo de múltiples partes interesadas para la transición a un sistema agroalimentario más sostenible y bajo en carbono.

Estas acciones deben ser medibles a partir de una serie de indicadores diseñados o elegidos bajo una clara argumentación de los instrumentos de monitoreo, revisión, evaluación, control y seguimiento, tal como se muestra en la siguiente tabla 1 elaborada con datos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	METODOLOGÍA
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por hectárea	kg CO <sub>2</sub> e / ha	Estimación de emisiones GEI producto del uso de fertilizantes químicos, consumo de combustible en labores agrícolas y consumo de energía para el riego, con base en la guía IPCC (2006) y su refinamiento (2019) *.
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por tonelada de grano producido	kg CO <sub>2</sub> e / t	Cociente de Emisiones GEI (kg CO <sub>2</sub> e/ha) / rendimiento (t/ha)
Captura de carbono por hectárea	kg CO <sub>2</sub> e / ha	Modelación de los resultados de análisis químico de laboratorio de un muestreo de suelo
Emisiones totales por hectárea	kg CO <sub>2</sub> e / ha	Diferencia de Emisiones GEI por hectárea y Captura de carbono
Superficie por tipo de tecnología	Hectárea	Superficie (ha) que implementa tecnologías promovidas por el proyecto.
Uso eficiente de combustibles	L/ha	Consumo de combustible promedio empleado en las labores agrícolas durante el ciclo de producción.
Intensidad del uso de nitrógeno	Kg N/t	Unidades de nitrógeno utilizado para producir una tonelada de grano
Intensidad del uso del agua	m <sup>3</sup> /t	Volumen de agua aplicado por unidad de grano cosechado
Productividad del uso del agua	kg/m <sup>3</sup>	Volumen de grano cosechado por m <sup>3</sup> de agua aplicada en riego

\* IPCC, 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol No 4: Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). Ed Eggleston S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K., Kanagawa, Japan  
 IPCC, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use

Con base en los indicadores de sustentabilidad y metodología de medición propuesta, los indicadores son calculados utilizando la base de datos resultante del proceso de extracción, transformación y carga de datos (ETL, por sus siglas en inglés) y el software de análisis estadístico R para la programación de las reglas de cálculo.

### Normas ambientales internacionales

La argumentación de indicadores está relacionada con el compromiso de las empresas en alcanzar responsabilidades relacionado al cuidado del medio ambiente.

Internacionalmente se estableció el Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), que es un protocolo integral que indica los pasos para medir y gestionar los gases de efecto invernadero, generados por organizaciones y empresas de diversos sectores. En base a este protocolo, la auditoria de emisiones de efecto invernadero toma en cuenta seis factores fundamentales: i) Definición de los límites de la organización: análisis de la estructura de la empresa y cada una de sus partes: estructura de componentes legales y organizativas, operaciones de propiedad total, empresas incorporadas, filiales, entre otras, ii) Identificación de los límites operativos: proceso de determinación de las emisiones de efecto invernadero relacionadas con las operaciones empresariales dentro de los límites de la organización, iii) Selección de metodologías de cálculo y factores de emisión: es una fase en la que se seleccionan las metodologías más adecuadas para llevar a cabo el análisis, así como los factores relacionados con las fuentes de las emisiones, iv) Recopilación de datos: hace referencia a la parte de levantamiento de los datos de emisiones de acuerdo a sus fuentes, v) Cálculo de emisiones: se utilizan diversas herramientas de análisis para calcular los datos recopilados para la creación de un informe eficaz y vi) Elaboración de informe de efecto invernadero: presentación del informe de la auditoría de GEI con las estrategias rentables que ayudarán a reducir las emisiones de manera eficiente. (<https://www.gaiambiente.es/auditoria-de-gases-de-efecto-invernadero-en-tu-empresa>).

De la misma forma la norma internacional ISO 14001 nace como respuesta a la preocupación mundial por el medio ambiente y la proliferación de normativas ambientales regionales. En este contexto, surge la necesidad de un indicador universal para evaluar los esfuerzos de una organización por alcanzar una protección ambiental confiable y adecuada. Se debe tener presente que las normas estipuladas por ISO 14001 no fijan metas ambientales para la prevención de la contaminación y la protección del medio ambiente, ni tampoco se involucran en el desempeño ambiental a nivel mundial, sino que, establecen herramientas y sistemas enfocados a los procesos de producción al interior de una empresa u organización, y de los efectos o externalidades que de estos deriven al medio ambiente, ayudando de esta forma a reducir los riesgos ambientales. Uno de los principales objetivos de la Norma es prever

un lenguaje común para la gestión ambiental al establecer un marco para la certificación de sistemas de gestión ambiental (SGA) por terceros ayudando a la industria a satisfacer la demanda de los consumidores y agencias gubernamentales de una mayor responsabilidad ambiental.

Por otra parte, la familia ISO 14060 ofrece claridad y coherencia en la cuantificación, el seguimiento, el informe y la validación o verificación de emisiones y remociones de GEI para apoyar el desarrollo sostenible mediante una economía baja en carbono y beneficiar a organizaciones, proponentes de proyectos y partes interesadas de todo el mundo. Específicamente, el uso de la familia ISO 14060: i) Aumenta la integridad ambiental de la cuantificación de los GEI, ii) Aumenta la credibilidad, coherencia y transparencia de la cuantificación, el seguimiento, el informe, la verificación y la validación de los GEI, iii) Facilita el desarrollo y la implementación de estrategias y planes de gestión de los GEI, iv) Facilita el desarrollo y la implementación de acciones de mitigación mediante reducciones de las emisiones o aumentos de las remociones, v) Facilita la capacidad de seguir el desempeño y progreso de la reducción de emisiones de GEI y/o del aumento de las remociones de GEI. (<https://www.iso.org>).

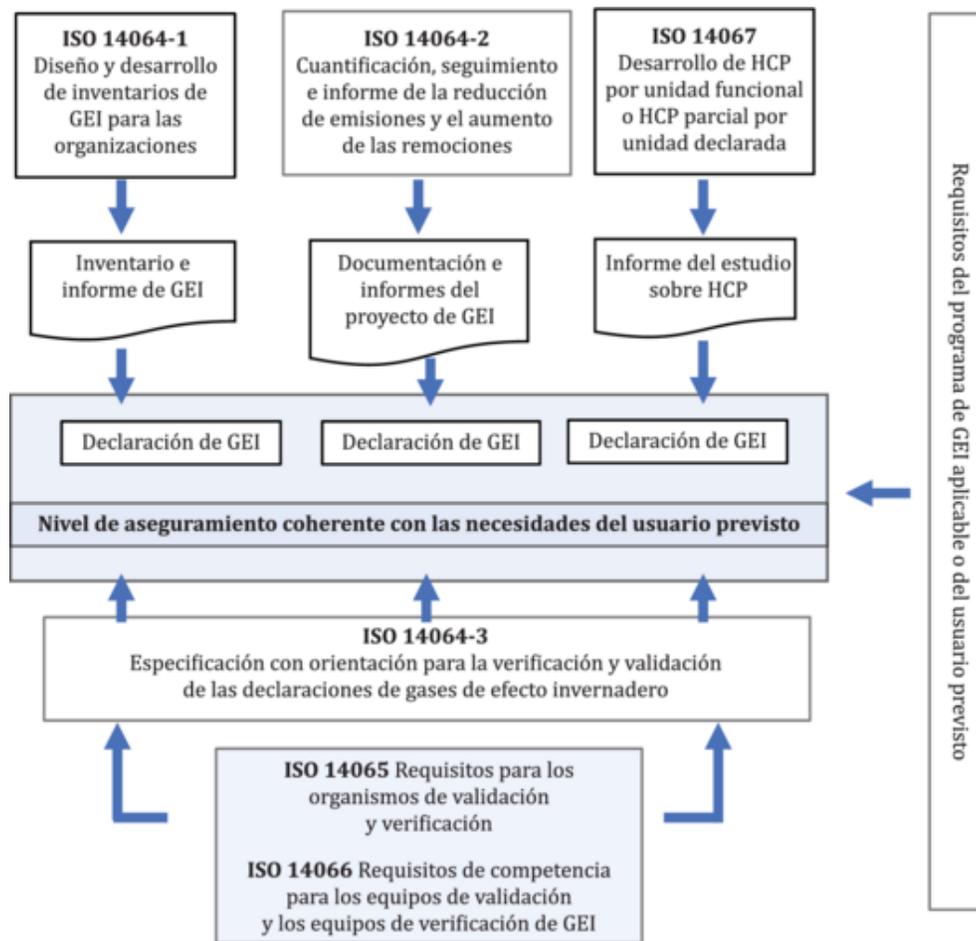


Figura 3. Relación entre las normas de GEI de la familia ISO 14060

Fuente: <https://www.iso.org/obp/ std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>

Así mismo, la norma ISO 14068-1:2023 referente a Gestión del cambio climático - Transición a cero emisiones netas - parte 1: Neutralidad de carbono, especifica los principios, requisitos y orientación para lograr y demostrar la neutralidad de carbono mediante la cuantificación, reducción y compensación de la huella de carbono. Define los términos utilizados en relación con la neutralidad de carbono y proporciona orientación sobre las acciones necesarias para lograr y demostrar la neutralidad de carbono. De acuerdo con la práctica común, utiliza la palabra “carbono” para referirse a todos los gases de efecto invernadero (GEI) en expresiones compuestas como “neutralidad de carbono”. Es aplicable a una amplia gama de organizaciones (incluidas empresas, autoridades locales e instituciones financieras) y productos (bienes o

servicios, incluidos edificios y eventos). La norma establece una jerarquía para la neutralidad de carbono donde las reducciones de emisiones de GEI (directas e indirectas) y las mejoras de la eliminación de GEI dentro de la cadena de valor tienen prioridad sobre la compensación. Incluye requisitos para los compromisos de neutralidad de carbono y la realización de declaraciones de neutralidad de carbono.

De igual forma la norma ISO 14090:2019 referente a adaptación al cambio climático especifica los principios, requisitos y directrices para la adaptación al cambio climático. Esto incluye la integración de la adaptación dentro de las organizaciones o entre ellas, la comprensión de los impactos y cómo se pueden utilizar para informar decisiones. Es aplicable a cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo y naturaleza, por ejemplo, local, regional, internacional, unidades de negocio, corporaciones, sectores industriales y unidades de gestión de recursos naturales. (<https://www.iso.org>).

Con respecto a la norma PAS 2060:2010 relacionada con especificación para la neutralidad de carbono, es un estándar publicado por British Standards Institution (BSI) en 2010 que permite a las organizaciones asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones de CO<sub>2</sub> son correctas. La norma PAS 2060 proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI sobre una materia específica, incluidas las actividades, productos, servicios, edificios, proyectos, pueblos, ciudades y eventos. PAS 2060 se aplica a todas las entidades que puedan demostrar que no producen un aumento neto en la emisión de gases de efecto invernadero como consecuencia del desarrollo de ciertas actividades. A partir del 1 de enero de 2025 la norma ISO 14068-1:2023 sustituirá a la PAS 2060.

## **Conclusiones**

Ante el impacto actual del cambio climático y la generación de GEI, existe la necesidad urgente de compartir información y herramientas a los diversos actores de los sistemas agroalimentarios con el objetivo de tomar acciones para mitigar los efectos del cambio climático.

Es apremiante que el sistema agroalimentario incluya acciones sustentables de reducción y estrategias más eficientes de mitigación de GEI, tal como, reducción de

emisiones de carbono al reducir el uso de maquinaria al incorporar prácticas sustentables como la agricultura de conservación en los sistemas de producción, además de la correcta aplicación de fertilizantes nitrogenados, de la misma forma es necesario conservar y proteger los recursos hídricos mediante la eficiencia, la reutilización y la gestión de aguas pluviales y aguas subterráneas, coadyubar en el control de la erosión de suelos, así como, las mejoras genéticas de los cultivos para la tolerancia al calor y la sequía.

Incluir agricultura climáticamente inteligente en los sistemas de producción que ayuden a la reducción de emisiones de GEI o captura de carbono para lograr el objetivo de no aumentar la temperatura de 1,5 °C.

Promover la construcción del mercado de carbono para reducir emisiones de GEI, así como, para aumentar los ingresos de los agricultores a través de la compensación.

Crear un entorno propicio para promover innovaciones tecnológicas disruptivas e integrales, en particular, debe fortalecerse el desarrollo y la extensión de tecnologías verdes bajas en carbono (AGFEP, 2021).

Aumentar la eficiencia energética, aumentar el uso de energías renovables; medir, informar y reducir las emisiones directas e indirectas de GEI de las empresas; conservar y proteger los recursos hídricos mediante la eficiencia, la reutilización y la gestión de aguas pluviales; eliminar los desechos, prevenir la contaminación y aumentar el reciclaje, fomentar los mercados de tecnologías sostenibles, apoyar el crecimiento económico y la habitabilidad de las comunidades donde las empresas agroalimentarias realiza negocios; desarrollar medidas de mitigación y adaptación para gestionar los efectos a corto y largo plazo del cambio climático (NASA).

La FAO menciona que la adaptación al cambio climático, así como la interrupción o el descenso del suministro mundial y local de alimentos debido al cambio climático puede evitarse con una irrigación y un manejo de cuencas más eficientes, la agricultura de conservación, la disminución del uso de fertilizantes, el manejo eficiente de los sistemas agroforestales, el desarrollo de variedades de cultivo y forrajes adaptados a las condiciones cambiantes del clima, un uso eficaz de los datos climáticos y previsiones meteorológicas puede ayudar, a través de sistemas de alerta temprana.

## Referencias

- Academy of Global Food Economics and Policy, China Agricultural University (AGFEP). (2021). China and global food policy report. Rethinking Agrifood Systems for the Post-COVID World.
- Aguilera, E., Piñero, P., Infante Amate, J., González de Molina, M., Lassaletta, L., Sanz Cobeña, A. (2020). Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España. Real Academia de Ingeniería. ISBN: 978-84-95662-77-4.
- Andia V. W. (2002). El árbol causa y efectos una metodología para los proyectos de inversión privada. Gest. Terc. Milen. Año 5. N° 9. octubre 2002. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/administracion/v05\\_n9/arbol\\_causa\\_efecto.htm](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/administracion/v05_n9/arbol_causa_efecto.htm)
- Banco Interamericano de Desarrollo. (20 julio 2022). Estudio del BID propone 15 transformaciones para alcanzar economías libres de carbono. <https://www.iadb.org/es/noticias/estudio-del-bid-propone-15-transformaciones-para-alcanzar-economias-libres-de-carbono>
- BSI Group. (2024). <https://www.bsigroup.com/es-ES/Neutralidad-en-Emisiones-de-carbono-PAS-2060/>
- Castillo-Pacheco, L.A., J.I. Bojórquez-Serrano, A. Hernández-Jiménez y D. García-Paredes. (2016). Contenidos de carbono orgánico en suelos bajo diferentes coberturas vegetales y de cultivo. Cultivos Tropicales, vol. 37, no. 3, pp. 72-78
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica (CATIE), Proyecto Insignia Resiliencia y Gestión Integral de Riesgos en la Agricultura e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2016). Iniciativas globales para la restauración de suelos degradados.
- CEPAL, sobre la base de Instituto de Recursos Mundiales (WRI) (2013), Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0. Washington, DC.
- Escamilla García, P. E. (2022). La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral. ITEA Información Técnica Económica Agraria. <https://doi.org/10.12706/itea.2022.012>
- Eixarch, M. M., Garcia, A. R., Pujadas, M. R. T., Caiola, N. A. M., Torren, L. J. & Martí, C. I. (2015). Medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en el Delta del Ebro: proyecto Life Ebro-Admiclim. Agrí-cola vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura, 34(383): 153-155
- FAO (2017), The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS. (2018). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. FAO, Roma.
- FAO. (2022). Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseqv.1.1) Technical report.
- Fazekas, A., Bataille, C. y Vogt-Schilb, A. (2022). Banco interamericano de desarrollo. Prosperidad libre de carbono. Cómo los gobiernos pueden habilitar 15 transformaciones esenciales.
- Frohmann, A. y Olmos, X. (2013). Huella del carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Gaiambiente (s/f). Auditoría de Gases de Efecto Invernadero en tu empresa: qué debes saber. <https://www.gaiambiente.es/auditoria-de-gases-de-efecto-invernadero-en-tu-empresa>
- Govaerts, B., N. Verhulst, A. Castellanos-Navarrete, K. D. Sayre, J. Dixon and L. Dendooven (2009). Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality. Plant Science, 28:97–122
- Herranz, J.M. y Garcia, S. (2021). La comunicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en las organizaciones de la economía social, CIRIEC España, Revista de Economía Publica, Social y Cooperativa, 101, 165-191. DOI: 10.7203/CIRIEC-E.101.18393.

- Houghton, J. T., et al. (1997). Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse house gas inventory. Reference Manual Volume 3. Intergubernamental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza.
- Iniciativa 20x20. (S/F). <https://initiative20x20.org/es/restaurando-los-paisajes-de-latinoamerica>
- Montes de Oca, J.A. (2021). Tendencias mundiales en el sector agroalimentario. <https://grupoemprende.com/tendencias-mundiales-sector-agroalimentario-2/>
- NASA. (S/F). Responding to Climate Change. <https://climate.nasa.gov/solutions/adaptation-mitigation/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (S/F). <https://www.noaa.gov/>
- Normas ISO. (2023). <https://www.normas-iso.com/iso-14001/>
- Normas ISO. (2024). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (25 enero 2022). Sensores de neutrones de rayos cósmicos (CRNS): ¡De rayos cósmicos hasta la humedad del suelo! <https://www.iaea.org/es/newscenter/multimedia/videos/sensores-de-neutrones-de-rayos-cosmicos-crns-de-rayos-cosmicos-hasta-la-humedad-del-suelo>
- Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA). (Consulta 25 marzo 2023). Reducción de los gases de efecto invernadero. <https://www.iaea.org/es/temas/reduccion-de-los-gases-de-efecto-invernadero>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (S/F). <https://www.un.org/sustainable-development/es/sustainable-development-goals/>
- Organización de las Naciones Unidas. (Consulta 10 marzo 2023) Causas y efectos del cambio climático. <https://www.un.org/es/climate-change/science/causes-effects-climate-change>
- Programa Mexicano del Carbono, A.C. (2015). Manual de Procedimientos Inventario de Carbono+. Estudio de Factibilidad Técnica para el Pago de Bonos de Carbono en el Estado de México (RETUS con BASES EDOMEX). Coordinador: Fernando Paz Pellat. Colaboradores: Fabiola Rojas-García, Julio Cesar Wong González y José Ignacio Pulido-Ponce. Texcoco, Estado de México.
- Rockström, J., W. et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475, doi:10.1038/461472a
- Salazar, A. y Masera, O. (2010). México ante el Cambio Climático. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, A.C.
- Saynes Santillán, Vinisa, Etchevers Barra, Jorge D., Paz Pellat, Fernando, & Alvarado Cárdenas, Leonardo O. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96. Recuperado en 28 de mayo de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000100083&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100083&lng=es&tlng=es).
- Segura-Castruita, M. A., P. Sánchez-Guzmán, C. A. Ortiz-Solorio y M. C. Gutiérrez-Castorena. (2005). Carbono orgánico en suelos de México. *Terra Latinoamericana*. 23: 21-28. [ Links]
- Sela, Guy (SF). Secuestro de carbono del suelo – Un enfoque para mitigar el cambio climático. <https://croipaia.com/es/blog/secuestro-carbono-suelo/>
- Sepúlveda Casadiego, Y. A. (2021). Objetivos de Desarrollo Sostenible, Tecnología e Innovación para los Agronegocios: Conocimiento tecnocientífico para la transformación de nuestros territorios. *Notas De Campus*, 1–72. <https://doi.org/10.22490/notas.4579>
- The international "4 per 1000" Initiative - Soils for Food Security and Climate (S/F). <https://4p1000.org/discover/?lang=en>