

Tendencias y desafíos en la producción alimentaria y sus implicaciones para el sistema global

Trends and challenges in food production and their implications for the global system

 **Grace Andrea Montoya-Rojas**¹
grmontoyar@unal.edu.co

 **Ostin Garcés-Ordóñez**² *
ostin_garces02@hotmail.com

 **Johann Luis López-Navarro**³
Johan.lopez@invemar.org.co

Fecha de Recepción: 14-07-2024

Fecha de Aprobación: 03-09-2024

RESUMEN

Para abordar la creciente demanda alimentaria ante la sobrepoblación, la humanidad ha recurrido a métodos que alteran significativamente los sistemas planetarios. Este artículo de revisión explora cómo las fuentes de energía, la modificación genética y la tecnología avanzada impactan en la producción alimentaria y sus implicaciones planetarias. Se revisaron 65 documentos científicos publicados entre 2000 y 2020, disponibles en Scopus y Google Académico, y se elaboró una síntesis de las temáticas estudiadas para discutir con profesionales de diferentes disciplinas cómo estas podrían influir en la gestión ambiental de un territorio. Históricamente, la transición de la fuerza muscular a los combustibles fósiles ha impulsado el desarrollo tecnológico y permitido la industrialización de la producción de alimentos. Este avance ha intensificado la explotación de elementos naturales, provocando deforestación, erosión del suelo, contaminación, escasez de agua potable y cambios climáticos. Además, para aumentar la producción alimentaria, se ha modificado genéticamente la flora y fauna consumidas, afectando su calidad nutricional. El consumo de estos alimentos transgénicos, junto con la exposición a contaminantes, ha incrementado la prevalencia de enfermedades que comprometen la salud humana. En respuesta, se están desarrollando tecnologías de cibernética y robótica para superar estas limitaciones biológicas y avanzar hacia la creación de un tipo de superhumano. Este análisis concluye con la propuesta de directrices de acción que promueven la sostenibilidad en la producción de alimentos, buscando mejorar la salud y el bienestar global en cada sistema planetario, frente a los superproblemas globales identificados.

¹ I) Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geografía. Bogotá, Colombia; II) Grupo de Investigación Innovación en BioGeociencia, Naturaleza y Sostenibilidad – InBiGS, INGEOS S.A., Bogotá, Colombia.

² I) GRC Geociencias Marinas, Departamento de Dinámica de la Tierra y del Océano, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad de Barcelona, España; II) Grupo de Investigación Territorios Semiáridos del Caribe, Universidad de La Guajira, Riohacha, Colombia; III) Grupo de Investigación Innovación en BioGeociencia, Naturaleza y Sostenibilidad – InBiGS, INGEOS S.A., Bogotá, Colombia. *Autor de correspondencia.

³ Programa de Valoración y Aprovechamiento de los Recursos Marinos y Costeros, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –INVEMAR. Santa Marta, Colombia.



Palabras claves: Gestión ambiental; Producción alimentaria; Recursos energéticos; Biotecnología; Robótica.

ABSTRACT

To address the growing food demand amid overpopulation, humanity has resorted to methods that significantly alter planetary systems. This review article explores how energy sources, genetic modification, and advanced technology impact on food production and its planetary implications. A total of 65 scientific documents published between 2000 and 2020, available in Scopus and Google Scholar, were reviewed, and a synthesis of the studied topics was prepared to discuss with professionals from various disciplines how these might influence environmental management in each territory. Historically, the transition from muscle power to fossil fuels has driven technological development and enabled the industrialization of food production. This advancement has intensified the exploitation of natural elements, causing deforestation, soil erosion, pollution, drinking water shortage, and climate changes. Moreover, to increase food production, the flora and fauna consumed have been genetically modified, affecting their nutritional quality. The consumption of these transgenic foods, coupled with exposure to pollutants, has increased the prevalence of diseases that compromise human health. In response, cybernetic and robotic technologies are being developed to overcome these biological limitations and advance towards the creation of a type of superhuman. This analysis concludes with the proposal of action guidelines that promote sustainability in food production, aiming to improve health and global well-being in each planetary system, in the face of the identified global superproblems.

Keywords: Environmental management; Food production; Energy resources; Biotechnology; Robotics.

Para citar este artículo (APA): Montoya-Rojas, G., Garcés-Ordóñez, O. y López-Navarro, J. (2024). Tendencias y desafíos en la producción alimentaria y sus implicaciones para el sistema global. *Wani*, 81, e18767. <https://doi.org/10.5377/wani.v1i81.18767>

INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra está compuesto por sistemas que interactúan armónicamente para sustentar un ambiente propicio para la vida. Estos sistemas son: 1) Atmosférico, que engloba la atmósfera, incluyendo todos los procesos climáticos y meteorológicos; 2) Geosférico, que abarca la dinámica geológica incluida la corteza y el manto superior, fundamentales para sostener los demás sistemas planetarios; 3) Hidrosférico, que comprende la dinámica de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, continentales y marinos; 4) Biosférico, que incluye todas las formas de vida, los ecosistemas y los procesos ecológicos (Montoya-Rojas, 2018; Rusinque-Quintero et al., 2022). Gracias a estos sistemas planetarios, los seres humanos no solo sobreviven, sino que también han desarrollado el sistema antroposférico, que abarca el entorno geográfico y social donde habitan y desarrollan sus actividades, incluyendo la producción de alimentos (Montoya-Rojas, 2018; Montoya-Rojas et al., 2020).

La capacidad del ser humano para modificar su entorno y extraer elementos de la naturaleza ha permitido su asentamiento en casi todo el mundo (Small y Sousa, 2016). En 2024, la población



mundial superó los 8.000 millones y, gracias a los avances tecnológicos, la esperanza de vida se ha incrementado significativamente (Ehrlich y Ehrlich, 2016; UNFPA, 2024). Esto ha aumentado tanto la demanda de energía como las oportunidades para la innovación en todos los sectores industriales, cambiando incluso la forma en que se ofrecen productos y servicios (O'Rourke y Lollo, 2015). Esta dinámica ha provocado una acumulación de impactos ambientales repetitivos en diversas geografías del planeta (Landrigan et al., 2020), lo que ha llevado a denominar esta situación como un “superproblema”. El estilo de vida actual, la producción de alimentos a gran escala y los avances tecnológicos están impactando los ciclos naturales de los sistemas planetarios, un desafío destacado en estudios recientes (Lianos y Pseiridis, 2016; Mullan y Haqq-Misra, 2018; Wiedmann et al., 2020).

La producción alimentaria incluye una amplia variedad de procesos tradicionales e industriales, que incluyen la agricultura, ganadería, pesca y acuicultura, en las cuales se extraen y transforman elementos naturales en alimentos para el ser humano (Marshall et al., 2021; Medina et al., 2023). A medida que la demanda de alimentos aumenta con el crecimiento de la población humana mundial, es crucial garantizar que esta producción se realice de manera sostenible (FAO, 2018). Esto implica mejorar la eficiencia en el uso de los elementos naturales y minimizar los impactos ambientales, para asegurar una oferta continua de alimentos variados y de alta calidad que nutran adecuadamente a la población a largo plazo (Medina et al., 2023). La sostenibilidad en la producción de alimentos es esencial para mantener la seguridad alimentaria global (FAO, 2018).

Este estudio se realizó para responder a las siguientes preguntas: ¿Qué ha permitido mantener una producción de alimentos suficiente para satisfacer la demanda actual del ser humano? ¿Cuáles son los superproblemas globales que se pueden identificar debido a las tendencias humanas y sus interacciones con la naturaleza? ¿Qué implicaciones han tenido estas situaciones sobre los sistemas planetarios? Para responder a estas preguntas, se revisaron tres temáticas de alto interés en la investigación e innovación recientes: la demanda energética, la transgénesis y el transhumanismo, con el objetivo de realizar un análisis y reflexiones de manera crítica y con el enfoque interdisciplinar del pensamiento sistémico (Williams et al., 2017), sobre las relaciones entre estas tres temáticas en el contexto de la producción global de alimentos. Se realizó una evaluación cualitativa de la contribución de tales conceptos a los sistemas planetarios y se desarrollaron lineamientos de acción que permitan, desde la producción de alimentos, contribuir a la gestión de los superproblemas globales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se adaptó la metodología de revisiones sistemáticas y metaanálisis de la declaración PRISMA (Page et al., 2021), que permite guiar evaluaciones y reflexiones basadas en la mejor información científica disponible sobre las temáticas de interés (Urrútia y Bonfill, 2010; PRISMA, 2015). Esta metodología ha resultado muy útil en este estudio de ciencias de la tierra y ambientales para analizar terminologías en torno a conceptos emergentes asociados con la salud humana y global.

La búsqueda de literatura científica se realizó en Scopus utilizando las palabras claves en inglés: “Energy demand”, “transgenesis”, “transhumanism”, “food production” dentro del



título de la publicación, resumen y palabras claves. Además, se realizó una segunda búsqueda avanzada en Google Académico, utilizando una combinación de las mismas palabras claves en los títulos de las publicaciones. También se hicieron búsquedas y consultas de publicaciones sobre temas relacionados con inteligencia artificial en la producción agrícola, seguridad alimentaria, salud humana y global, desarrollo sostenible y teoría general de sistemas en Google Académico. Los tipos de publicaciones considerados para esta revisión fueron artículos de investigación, revisiones, libros y capítulos de libros revisados por pares, e informes técnicos emitidos por instituciones de alto prestigio, publicados en inglés y español entre 2000 y 2020.

El proceso de selección de la literatura se basó inicialmente en la revisión de títulos y resúmenes, descartando los documentos duplicados e incluyendo aquellos que aportaban información relevante para la discusión sobre las temáticas de interés para esta revisión. Posteriormente, se realizó una revisión detallada de cada documento, extrayendo la información clave para responder a las preguntas de investigación planteadas en la introducción. Una vez eliminados los documentos duplicados y aplicado un primer filtro, se seleccionaron y revisaron 65 publicaciones científicas. Se elaboró una síntesis de las temáticas relacionadas con la producción de alimentos y su impacto en la salud global, tales como la demanda energética, la transgénesis y el transhumanismo.

Se realizó un acercamiento conceptual, investigando retrospectiva y prospectivamente la dinámica de la alimentación humana, para luego identificar sus interacciones con los cinco sistemas planetarios: atmosférico, hidrosférico, geosférico, biosférico y antroposférico. Esto se debe a que las dinámicas naturales y antropogénicas que ocurren dentro de un sistema o proceso determinado involucran flujos específicos que pueden generar perturbaciones. La proporción y magnitud de estas perturbaciones dependen de las conexiones y transferencias que se establecen entre lo natural y lo humano (Díaz, 2014). Estas interacciones se representaron en un mapa conceptual para visualizar conceptos y elementos comunes entre los sistemas planetarios y las temáticas analizadas.

De esta manera, se analizó cómo interactúan los sistemas planetarios para establecer unos lineamientos iniciales para la gestión de posibles problemáticas emergentes (Díaz, 2014; Wang et al., 2017). Asimismo, se aplicó el pensamiento sistémico, ampliamente utilizado en estudios ambientales y ecosistémicos, para mantener una comprensión amplia y precisa sobre las causas de los problemas. Es decir, este enfoque permite entender con mayor exactitud qué está sucediendo, cómo y por qué ocurre, y qué estrategias podrían implementarse a lo largo del tiempo (Mozo, 2005; Flood, 2010).

Adicionalmente, utilizando una metodología deductiva, los resultados parciales de la investigación se compartieron con estudiantes de postgrado a través de mesas redondas. Estas sesiones sirvieron para conocer sus opiniones sobre las temáticas investigadas y discutir cómo estas podrían influir en la gestión ambiental de un territorio, con el objetivo de enriquecer la discusión. También se recibieron aportes de expertos en biogeociencias, temas ambientales y sostenibilidad en el contexto agroalimentario.

El mapa conceptual desarrollado permitió organizar, comprender e identificar interconexiones entre las diversas temáticas asociadas a la producción de alimentos y su impacto en los sistemas planetarios. Las cuestiones más relevantes, que fueron consolidadas a través de discusiones con expertos, investigaciones y talleres, se propusieron denominar como superproblemas globales. Finalmente, con los aportes recogidos, se identificaron dichos superproblemas y plantearon sugerencias prospectivas para la producción de alimentos mediante un análisis con matriz multicriterio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica histórica de la alimentación del ser humano

Desde el Neolítico hasta el año 2008: Los seres humanos nómadas han utilizado los elementos de la naturaleza esenciales para su supervivencia. Inicialmente, la energía necesaria para sus actividades provenía de los alimentos consumidos y de la fuerza muscular (Allen, 2012). Durante sus recorridos, recolectaban semillas de plantas para su provisión y domesticaban animales para servicio y alimentación (Di Renzo et al., 2015). Las adversidades climáticas obligaron al ser humano a abandonar el nomadismo por el sedentarismo, formando asentamientos donde comenzaron a cultivar plantas y criar animales (Schlolz y Schlee, 2015; Pei et al., 2018). También se desarrollaron herramientas de trabajo en metal y otros materiales, mientras se descubrían las propiedades beneficiosas de ciertas plantas a través de la experimentación (Agatova et al., 2018).

Posteriormente, el descubrimiento del fuego a partir de la combustión de material vegetal, principalmente leña, proporcionó una fuente continua de energía calórica (Allen, 2012; Jiang et al., 2018). En 1560 se inició la extracción de carbón mineral, que inicialmente se usó poco debido a su alto costo, el doble que la madera, y su olor desagradable (Allen, 2012). Desde 1712 y en las décadas posteriores, se inventó y se realizaron importantes mejoras en el diseño y funcionamiento de la máquina de vapor, lo que marcó un avance tecnológico crucial que impulsó el desarrollo industrial y el sistema de producción en Inglaterra. Este progreso transformó los paradigmas de pensamiento económico y social, acelerando y consolidando el desarrollo del capitalismo, estableciendo las bases para la modernización económica (Spear, 2008; Riznic, 2017). En el siglo XVI, el precio del carbón bajó significativamente, por debajo del costo de la madera, lo que desencadenó un rediseño tecnológico para su uso y aumentó su explotación (Allen, 2012).

Junto con el carbón, para 1719, se empezó a obtener energía de los flujos de agua y del viento, aunque estas fuentes no se desarrollaron tanto como el carbón mineral y para 1760, el carbón proporcionaba el 50% de la energía de Inglaterra, cifra que para 1900 aumentó a un 90% (Allen, 2012). En 1859 se perforó el primer pozo petrolero en los Estados Unidos (Ginsberg, 2009) y para 1925, comenzaron a explotar intensivamente el petróleo y el gas natural como fuentes de energía, tardando casi un siglo en completarse la transición del carbón al petróleo, y ya para el año 2000, el petróleo aportaba el 70% de la energía mundial (Khan et al., 2018). Con esta alta disponibilidad de energía, otras ciencias también evolucionaron. Por ejemplo, en 1936 se inventó la primera computadora programable que funcionaba con energía eléctrica, y se hicieron avances significativos en genética y biotecnología, destacando el descubrimiento en 1953 de la estructura de doble hélice del ADN (Neidle, 2021). Estos avances impulsaron los estudios científicos y la experimentación, respondiendo a las necesidades humanas y a los desafíos impuestos por las dinámicas ambientales naturales (Gram et al., 2005; Guevara, 2004).

En el ámbito de la biotecnología, se lograron hitos significativos como el primer animal transgénico en 1974, un ratón de laboratorio; la primera planta de tabaco transgénica en 1986; y la primera oveja clonada en 1997 (Felmer, 2004).

El desarrollo de vehículos a gasolina en 1885 y la producción masiva de automóviles, especialmente con el modelo T de Ford (también conocido como Tin Lizzie o Flivver en EE. UU.) entre 1908 y 1927 (La Nación, 1998), resultó en más de 170 millones de automóviles que consumían gasolina circulando en el mundo (Ganiev et al., 2011). Esto contribuyó a las emisiones de gases de efecto invernadero que, junto con el desarrollo agroindustrial que demandaba mayores áreas de tierras agrícolas, empezaron a destacar los problemas y debates asociados al cambio climático, evidenciados por diversos estudios científicos (Ganiev et al., 2011; Degroot et al., 2022; Abbas et al., 2022).

En 1973, durante la guerra del Yom Kippur entre árabes e israelíes, y el embargo petrolero por parte de países árabes, los países industrializados sabían que el petróleo era un recurso natural limitado y comenzaron a desarrollar tecnologías para aprovechar otras fuentes de energía como la eólica, solar, geotérmica y bioenergética (Khan et al., 2018). Adicionalmente, las elevadas pérdidas económicas causadas por los accidentes en plantas nucleares –fuente importante de energía–, como los ocurridos en Japón y Ucrania (Bersano y Segantin, 2024), alertaron a los países sobre la necesidad de transicionar hacia energías más limpias y seguras (Khan et al., 2018).

Del 2008 al 2020: La Organización de las Naciones Unidas (ONU) define el desarrollo sostenible (DS) como un “proceso capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas” (Sepúlveda, 2008). Desde esta perspectiva, queda claro que el desarrollo económico y el uso racional de los elementos naturales están inevitablemente interconectados, vinculados tanto en tiempo como en espacio. Es crucial considerar el DS como un enfoque complementario para abordar problemas como el deterioro de las fuentes hídricas, la pérdida de biodiversidad, la desertificación, la lucha contra la pobreza y la integración de grupos sociales marginados, como mujeres, jóvenes, migrantes, indígenas y afrodescendientes. Esta visión del DS debe ser tomada en cuenta al planificar la gestión integral de un territorio (Delgadillo y Torres, 2009; Montoya-Rojas, 2016), para asegurar que los bienes y servicios naturales continúen disponibles y de calidad en el territorio (García y Acevedo, 2010; González, 2002).

Además, al igual que los territorios continentales, los ambientes costeros y marinos, que son esenciales para actividades económicas significativas, dependen del buen estado de los recursos naturales (van Hoof et al., 2019; Winther et al., 2020). La relación entre el uso, transformación y ocupación del territorio y la explotación de sus elementos naturales resalta la producción de alimentos como una actividad principal tanto en zonas continentales como marítimas y oceánicas. Si estas actividades no se realizan con un entendimiento de sus funcionalidades ecosistémicas, se ponen en riesgo los bienes y servicios esenciales para la calidad de vida de la humanidad y la salud global (Díaz, 2014; Arias, 2017; Landrigan et al., 2020). Por lo tanto, analizar la oferta natural de los sistemas planetarios guía hacia un desarrollo más equitativo, con una mayor integridad territorial, una sólida cohesión social y, en general, un mayor nivel de bienestar para la población y su hábitat (van Hoof et al., 2019; Winther et al., 2020; Landrigan et al., 2020).

Demanda energética, la transgénesis y el transhumanismo en la producción de alimentos

Demanda energética: El ser humano ha desarrollado diversos mecanismos y herramientas tecnológicas para explotar los recursos naturales a gran escala, con el objetivo de satisfacer las necesidades de alimentos, transporte, salud, vivienda y energía de más de 7.400 millones de personas en el mundo (Mullan y Haqq-Misra, 2018). Las actividades productivas actuales, que dependen en gran medida de la tecnología, requieren grandes cantidades de energía, aproximadamente 13,5 GTOE (gigatoneladas de equivalente de petróleo). La mayor parte de esta energía proviene de combustibles fósiles: petróleo (31%), carbón (29%) y gas natural (21%); seguidos por biocombustibles (8%), energía nuclear (5%), hidroelectricidad (4%) y energías renovables (2%) (Khan et al., 2018). Esta distribución en la provisión de energía ha evolucionado a lo largo de la historia humana, marcada por revoluciones energéticas. Estas revoluciones se definen como cambios en el paradigma de la política energética que transicionan de una fuente de energía a otra, impulsados por el desarrollo de sistemas más sostenibles (Khan et al., 2018).

El uso de combustibles fósiles genera emisiones contaminantes (principalmente CO₂, CH₄, N₂O y SO₂) que son liberadas a la atmósfera, acelerando el efecto invernadero y fomentando un debate político sobre las acciones de los países para mitigar o adaptarse a los efectos del cambio climático (Sörlin y Lane, 2018). Este cambio climático se ve exacerbado por impactos de actividades antropogénicas como la agroindustria, que contribuyen a problemas ambientales globales como la degradación de ecosistemas, contaminación atmosférica, edáfica e hídrica (tanto superficial como subterránea), escasez de agua potable, y erosión y degradación del suelo (Ehrlich y Ehrlich, 2016).

Para incrementar la producción de alimentos y la rentabilidad de la agroindustria, se han empleado agroquímicos como fertilizantes, plaguicidas, hormonas y fármacos, que combaten plagas y aceleran el crecimiento de los cultivos (Alba et al., 2013). Asimismo, ha habido un desarrollo tecnológico en la agricultura que ha aumentado la productividad (Gerage et al., 2017). Por ejemplo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), la producción mundial de cereales aumentó de 1,442 millones de toneladas entre 1979 y 1981 a 2,387 millones de toneladas en 2015, y se proyecta que alcanzará 2,838 millones de toneladas en 2030. De manera similar, la producción de carne aumentó de 132 millones de toneladas entre 1979 y 1981 a 300 millones de toneladas en 2015, y se espera que llegue a 376 millones de toneladas en 2030. Sin embargo, este aumento en la productividad de la agroindustria ha conllevado la sobreexplotación de recursos naturales (agua, suelos, entre otros) y un significativo deterioro ambiental (Carr et al., 2006; Reynolds et al., 2015; Lianos y Pseiridis, 2016). Aunque los problemas de desnutrición en los países en desarrollo han disminuido (de 816 millones de personas entre 1990 y 1992 a 610 millones de personas en 2015), todavía persisten (FAO, 2015). Los monocultivos, otro factor a considerar, son importantes para la denominada bioenergía, que, si bien no se utiliza directamente en la producción alimentaria, sí se emplea para generar energía en diversas industrias, incluida la alimentaria.

Transgénesis: La producción de alimentos también se ha incrementado por la transgénesis en plantas y animales de cría, en la cual se da la integración estable de una secuencia de ADN

extraño en un genoma, de modo que la transmisión a la progenie se acopla directamente a la herencia de este genoma, para mejorar ciertas características fenotípicas (Ganten et al., 2006). Con la transgénesis se ha modificado de forma artificial el genoma de diferentes especies de la fauna y flora de importancia en la dieta humana, para acelerar su crecimiento y hacerlos más resistentes a plagas, herbicidas, enfermedades y condiciones de estrés ambiental como sequía y salinidad del suelo (Montoya Rojas, 2014), proponiéndose como una solución para la inseguridad alimentaria (van Wijk, 2002; Watanabe et al., 2011; Ouyang et al., 2017; Siddhesh et al., 2017).

Los debates sobre alimentos transgénicos se enfocan en los riesgos de alterar genomas, lo que puede cambiar vías metabólicas y activar genes inactivos, resultando en más toxinas y alérgenos, o menos nutrientes esenciales (Borchers et al., 2010; Zhang et al., 2016). Por ejemplo, algunas plantas transgénicas como la canola (*Brassica napus*) y el nabo (*Brassica rapa*) producen glucosinolatos, ácido erúxico y fitato (Toth, 2007). El maíz (*Zea mays*) y el tomate (*Lycopersicon esculentum*) también generan fitato, pero el tomate adicionalmente produce lectinas, oxalato, chaconina, solanina y alfa-tomatina. Asimismo, la papa (*Solanum tuberosum*) contiene solanina, chaconina, inhibidores de la proteasa y fenoles, mientras que la soja (*Glycine max*) contiene inhibidores de la proteasa, lectinas, isoflavonas y fitato (Toth, 2007). Además, los alimentos que más comúnmente causan alergias tanto en niños como en adultos son la leche de vaca, los huevos, el maní, los frutos secos, la soja, el trigo, el pescado y los mariscos (Borchers et al., 2010; Renz et al., 2018).

Estos productos transgénicos han generado críticas por parte de diversos sectores sociales, preocupados por los posibles impactos negativos en el ambiente y la salud humana, así como por las implicaciones económicas que podrían afectar la diversidad de la producción de alimentos y la situación económica de pequeños productores agrícolas en países en desarrollo (Omobowale et al., 2009; Cafaggi y Iamiceli, 2014).

Los cambios en la calidad nutricional de los alimentos, junto con la exposición a contaminantes ambientales como plaguicidas, pesticidas y otros agroquímicos usados en la agricultura, así como la introducción de compuestos contaminantes durante el procesamiento alimentario (Di Renzo et al., 2015), por ejemplo, el uso de plásticos que liberan aditivos plastificantes y estabilizantes (Koelmans, 2015), han contribuido al aumento de enfermedades como obesidad, arteriosclerosis, hipertensión, ciertos tipos de cáncer, osteoporosis, caries y pérdida de dientes, algunas enfermedades hepáticas y renales, diabetes mellitus, alcoholismo y deformaciones corporales. Estas afecciones deterioran significativamente la salud y el bienestar humano (Latham, 2002; Shewry et al., 2008; Di Renzo et al., 2015; Gallo et al., 2020).

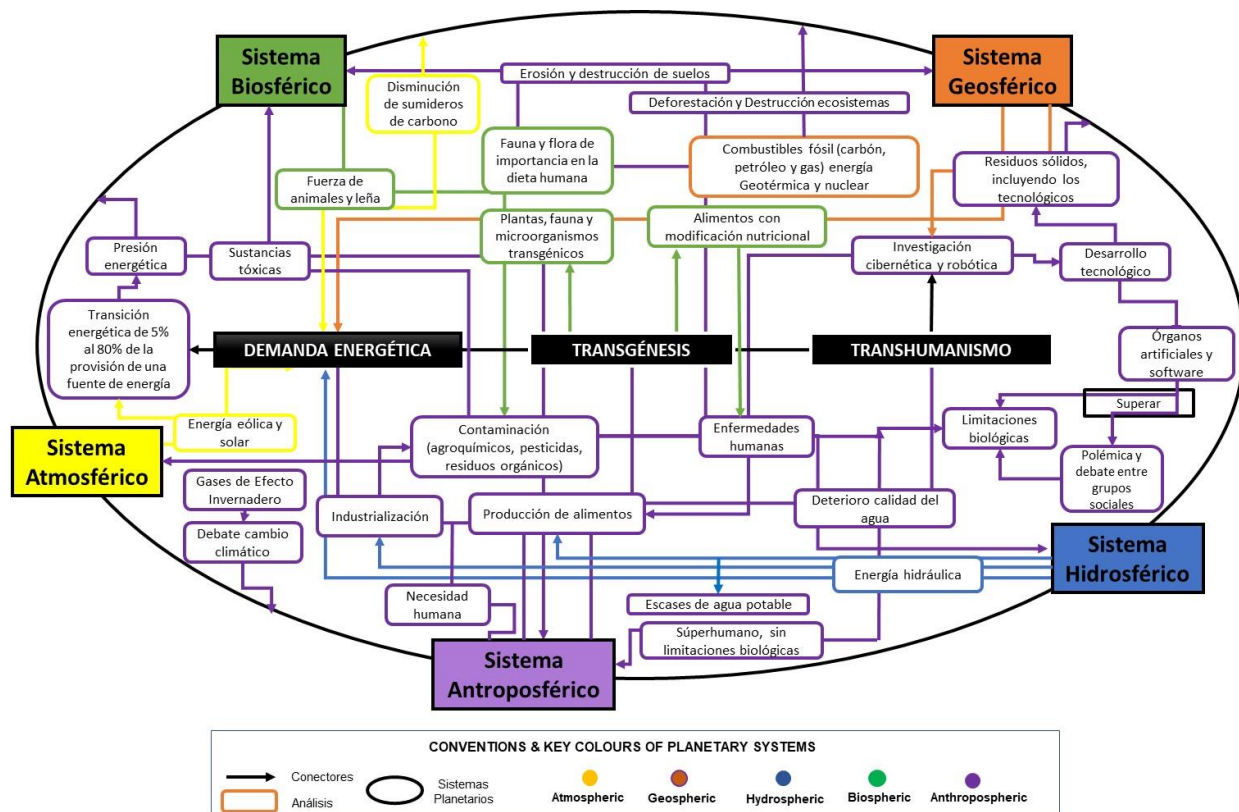
Transhumanismo: En respuesta al deterioro de la salud humana, se han desarrollado nuevas tecnologías en campos como la cibernética, la robótica y la biotecnología. Estas tecnologías buscan utilizar la inteligencia artificial y la creación de cibernéticos para superar enfermedades, eliminar el sufrimiento y la infelicidad humanos, acabar con la escasez, y retrasar el envejecimiento y la muerte (Rubin, 2008; Birnbacher, 2008; Lee, 2016). Esta corriente de pensamiento, conocida como transhumanismo, sostiene que los seres humanos deberían utilizar la tecnología para modificar y mejorar sus capacidades cognitivas y físicas, extendiendo sus habilidades más allá de las actuales limitaciones biológicas (Hopkins, 2012). Dentro de esta visión, se plantea que los superhumanos podrían no necesitar comer, lo que reduciría la

necesidad de grandes extensiones de tierra para cultivo, dado que una población creciente demandaría menos alimentos.

El transhumanismo puede ser visto como beneficioso para la humanidad, especialmente cuando se relaciona con el desarrollo de tecnologías que facilitan el tratamiento de enfermedades. No obstante, existen preocupaciones éticas sobre el uso de tecnología avanzada para modificar aspectos fundamentales del comportamiento humano o para extender la consciencia mediante su transferencia a clones, lo que plantea profundos dilemas morales (Campbell, 2008; Lee, 2016). Estas aplicaciones sugieren una exploración más allá de los límites tradicionales de la medicina y la terapia, invitando a un debate sobre la dirección futura de la humanidad. Como resultado del transhumanismo, podríamos ver la emergencia de nuevas formas de existencia humana, donde los seres humanos podrían integrarse con la tecnología a niveles sin precedentes, posiblemente dando origen a nuevas clasificaciones taxonómicas como *Homo sapiens electronicus*, *Homo sapiens datacus* u *Homo sapiens informaticus* (Campbell, 2008; Lee, 2016).

Figura 1

Relaciones e implicaciones de la demanda energética, la transgénesis y el transhumanismo en la producción de alimentos y los sistemas planetarios.



El tema del transhumanismo genera un debate significativo. Los defensores de este movimiento sostienen que una forma de superar las limitaciones humanas es a través de la convergencia de tecnologías a escala nanométrica, lo que permitiría trascender las barreras biológicas. En contraste, los críticos, a menudo descritos como humanistas, argumentan que estas tecnologías pueden ser incompatibles con los valores fundamentales como la dignidad y la integridad de la

vida humana, sugiriendo que deberían existir restricciones estrictas para limitar el desarrollo de poderes nanotecnológicos que puedan alterar la naturaleza humana y, eventualmente, dominar la naturaleza en general (Béland et al., 2011). Por otro lado, aunque las reacciones de los grupos religiosos han sido menos numerosas, estos generalmente no apoyan la ideología transhumanista, alineándose más frecuentemente con las perspectivas humanistas sobre este tema (Toumey, 2011).

El transhumanismo también se refleja en las avanzadas capacidades tecnológicas que ha desarrollado el ser humano, tales como la producción de alimentos sintéticos y medicinas biotecnológicas que buscan mejorar la salud humana. Incluso, estas tecnologías podrían transformar la manera en que las personas se alimentan, fomentando dietas preventivas que podrían cambiar nuestros hábitos alimenticios (Garcés y Jiménez, 2016). Lo que hace 200 años podía considerarse como ciencia ficción, hoy es una realidad funcional, y es muy probable que, en los próximos 30 años, la inteligencia artificial acelere aún más los cambios en el estilo de vida humano y en los sistemas productivos, a un ritmo mucho más rápido que el observado durante los últimos doscientos años (Makridakis, 2017).

En la **Figura 1** se muestran las relaciones e implicaciones de la demanda energética, la transgénesis y el transhumanismo en la producción de alimentos, la salud humana y los sistemas planetarios, discutidos en este estudio.

Superproblemas globales y lineamientos de acción para la producción de alimentos

A partir del análisis de la interrelación entre la demanda energética, la transgénesis y el transhumanismo en la producción de alimentos y cómo estas generan perturbaciones en los sistemas planetarios (**Figura 1**), se identificaron 17 superproblemas globales (**Tabla 1**). El aumento en la demanda de energía, impulsado por el desarrollo tecnológico en la agricultura, busca incrementar la productividad (Gerage et al., 2017). Sin embargo, esta tendencia ha comprometido la estabilidad de los sistemas planetarios. La ciencia continúa innovando y desarrollando nuevos mecanismos de supervivencia transhumanistas a través del uso de la tecnología, avanzando en la integración de procesos vitales humanos con la cibernética, la robótica y la biotecnología. La búsqueda de acciones para la sostenibilidad, que promueve la compatibilidad ambiental y un desarrollo equitativo frente a los procesos económicos globales, ve en la tecnología una herramienta clave para la intervención humana en los sistemas naturales (Kammerbauer, 2001; Artaraz, 2002). Se espera que una práctica sostenible de la producción de alimentos, junto con una gestión adecuada de la demanda energética, la transgénesis y el transhumanismo, no agraven la salud global.

Tabla 1

Descripción de los 17 superproblemas globales identificados en el análisis de los temas demanda de energía, transgénesis y transhumanismo en el contexto de la producción de alimentos.

No.	Superproblema	Descripción
1	Dinámica demográfica	Se refiere a los cambios en la población, como el crecimiento, la distribución y la estructura de edad, que pueden influir en la demanda de recursos y servicios.
2	Variación en la capa de ozono	Se refiere a la reducción en la concentración de ozono en la estratosfera, lo que disminuye la protección contra la radiación ultravioleta nociva del sol.

No.	Superproblema	Descripción
3	Debate sobre el cambio climático	Se enfoca las discusiones y controversias sobre las causas, efectos y soluciones al calentamiento global y sus impactos ambientales asociados.
4	Alteración del albedo	Se refiere a los cambios en la capacidad de la Tierra para reflejar la luz solar, que puede afectar el equilibrio térmico y climático global.
5	Abuso de pesticidas y sustancias tóxicas	Se refiere al uso excesivo de productos químicos en la agricultura y otras industrias que contamina los ecosistemas y afecta la salud humana.
6	Deforestación	Se refiere a la eliminación extensiva de bosques, principalmente para ampliar las fronteras agrícolas y pecuarias, lo que resulta en la pérdida de biodiversidad y contribuye al cambio climático.
7	Erosión del suelo	Se refiere a la pérdida de la capa superior del suelo fértil, lo que disminuye la capacidad de la tierra para sostener la agricultura.
8	Escasez de agua potable	Se refiere a la disminución de la disponibilidad de agua segura y accesible para el consumo y otras necesidades humanas.
9	Exceso orgánico	Se refiere a la acumulación excesiva de materia orgánica, como en cuerpos de agua, que puede llevar a la eutrofización y afectar negativamente los ecosistemas acuáticos.
10	Transiciones energéticas	Se refiere a los cambios en las fuentes de energía primarias de combustibles fósiles a alternativas más sostenibles y renovables.
11	Manejo de residuos tecnológicos	Se refiere a los desafíos asociados con la disposición y reciclaje de desechos generados por dispositivos electrónicos y otras tecnologías.
12	Residuos nucleares y radiación	Se refiere a los problemas derivados de la gestión de residuos radiactivos y los riesgos de contaminación por radiación.
13	Flujo electromagnético	Se refiere a los Impactos ambientales y de salud de la proliferación de campos electromagnéticos, como los generados por redes eléctricas y dispositivos inalámbricos.
14	Residuos y desechos sólidos	Se refiere a los problemas relacionados con la acumulación y manejo de basuras, que afectan los ecosistemas y la salud pública.
15	Dinámica geopolítica	Se refiere a las tensiones y conflictos entre naciones debido a recursos, territorio y diferencias ideológicas, que pueden afectar la estabilidad global y el ambiente.
16	Desconocimiento del océano	Se refiere a la falta de comprensión y conocimiento sobre los ecosistemas marinos y su biodiversidad, lo que dificulta su protección efectiva.
17	Aumento del riesgo	Se refiere al incremento en la probabilidad de presentar impactos ambientales negativos por diversas amenazas (p.ej., contaminación), que puede afectar a sociedades enteras.

En la **Tabla 2** se proponen unos lineamientos de acción para la producción de alimentos por cada uno de los sistemas planetarios, con base en los 17 superproblemas globales identificados. Se espera generar más oportunidades de investigación de manera reflexiva y práctica, para hacer de la producción de alimentos, una actividad que favorezca la salud global y a su vez, satisfaga el bienestar humano.

Tabla 2

Sugerencias prospectivas para la producción de alimentos frente a las super-problemáticas globales (SPG).

SPG	Sistema	Sugerencias prospectivas de sostenibilidad
Dinámica Demográfica	A	Moderar la demanda de alimentos que elevan la producción de gases efecto invernadero.
	G	Disminuir la transformación de la superficie terrestre y conflictos por uso del suelo para urbanización, conurbación e incremento de la agroindustria.
	H	Controlar la demanda de agua potable para satisfacer las necesidades humanas, agropecuarias e industriales.
	B	Mantener los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento de alimentos. Disminuir y controlar el crecimiento de monocultivos y cultivos vegetales. Controlar la producción de vacunos.
	At	Regular la densificación de las ciudades y la conurbación. Fomentar oportunidades en zonas rurales. Vigilar los efectos del consumo de transgénicos en la salud humana. Aprovechar las tendencias de ciudades inteligentes para gestionar los impactos ambientales.
Variaciones en la capa de ozono	A	Incrementar la confiabilidad de los pronósticos de radiación de manera prospectiva, en los requerimientos de los elementos climáticos para los cultivos a gran escala.
	G	Regular las emisiones a la atmósfera por transformación de cobertura de la tierra, especialmente por incremento de monocultivos genéticamente modificados.
	H	Disminuir la contaminación química de los cuerpos de aguas que con reacciones químicas que ocurran en ellos, generen gases contaminantes que causen la variación de la capa de ozono.
	B	Evitar la generación de gases y compuestos provenientes de los ciclos productivos de la industria alimentaria, la ganadería y los residuos electrónicos, los cuales afectan la capa de ozono.
	At	Fomentar granjas de carbono y la agricultura climáticamente inteligente, que disminuyan gases efecto invernadero y capten carbono de la atmósfera.
El debate sobre el cambio climático	A	Aumentar la capacidad de investigación para aclarar la incidencia de la variabilidad climática en la agroindustria de precisión.
	G	Gestionar el conocimiento para determinar la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo en las zonas cultivables.
	H	Buscar coherencia entre las políticas ambientales asociadas al consumo y contaminación de agua por la agroindustria y la realidad de acidificación de los océanos.
	B	Disminuir la presión sobre las selvas tropicales de manera articulada con las grandes industrias.
	At	Disminuir la incertidumbre sobre las pruebas científicas que evidencian el cambio climático.
Alteración del albedo	A	Incrementar la investigación sobre la alteración de la radiación solar por el crecimiento de ciudades y el incremento de las nuevas tecnologías transhumanistas. Mitigar los cambios en los patrones climáticos y meteorológicos, generado por monocultivos.
	G	Combatir los cambios de coberturas del suelo por la agricultura que han provocado pérdida de autorregulación de las temperaturas edáficas, capacidad de reflejo y alteración en la absorción de la radiación solar.
	H	Investigar más sobre la incidencia en la absorción y reflejo de la radiación solar, por la composición de las aguas superficiales afectadas por la agroindustria.
	B	Disminuir perturbación de hábitats, por la deforestación para ampliar la frontera agropecuaria y extraer minerales por la demanda energética en las nuevas tendencias tecnológicas.
	At	Implementar con mayor esfuerzo la agroecología, para mantener la productividad y mantener el balance energético del albedo en los territorios.
Abuso de pesticidas y	A	Regular las sustancias tóxicas xenobióticos que debilitan la capa de ozono.
	G	Biorremediar los suelos que se encuentran saturados con agroquímicos y sustancias tóxicas.
	H	Innovar en técnicas de descontaminación de aguas subterráneas. Analizar la relación funcional entre agua y suelo, para prevenir acumulación de sustancias contaminantes a largo plazo.
	B	Fomentar el incremento de la biodiversidad por medio de agroecosistemas. Mitigar los microorganismos que se vuelven peligrosos para la salud de los seres humanos. Implementar técnicas de biorremediación y control biológico para especies dominantes.

SPG	Sistema	Sugerencias prospectivas de sostenibilidad
	At	Ejercer restricciones en las sustancias que afectan la salud del ser humano y ecosistémica.
Deforestación	A	Incentivar, valorar y mantener el bosque en pie, con gestión del conocimiento pero no alterar el ciclo del carbono que regula el clima.
	G	Desincentivar los monocultivos y la alteración genética de las especies que no promueven la biodiversidad. Proteger los microorganismos del suelo que soportan los ecosistemas y el aprovisionamiento.
	H	Mantener una biomasa de calidad que recargue acuíferos. Evitar organismos invasores.
	B	Evitar la transformación de coberturas boscosas y selváticas por pastos y monocultivos.
	At	Desincentivar el consumo de carne de res
Erosión del suelo	A	Fomentar la agricultura agroclimática para controlar la degradación del suelo y promover la captura de carbono.
	G	Evitar la pérdida de las propiedades físicas del suelo, alterados por el sobrepastoreo, la explanación y la mecanización. Implementar sistemas productivos eficientes.
	H	Prevenir tener suelos desnudos, para no alterar el servicio ecosistémico de regulación hídrica del suelo. Fomentar la recarga de acuíferos y disminuir la carga de sedimentos en los cuerpos de agua.
	B	Favorecer la actividad biológica en el suelo que propenda por extender el sistema radicular de las plantas, para dar mayor estabilidad al mismo. Mantener la biodiversidad para elevar la calidad del suelo y su servicio de aprovisionamiento, regulación y soporte.
	At	Innovar en las técnicas de bioingeniería del suelo, para hacer manejos paisajísticos en los paisajes agrosistémicos.
Escasez de agua potable	A	Reflexionar sobre los efectos de las grandes represas e hidroeléctricas para satisfacer la demanda de energía y de consumo de agua, que han estado perturbando los microclimas regionales, y buscar estrategias de mitigación.
	G	Incrementar la biodiversidad que favorece la formación de suelo y la infiltración, para proyectar reservas de agua de calidad y disminuir la escorrentía.
	H	Generar equidad en la demanda de agua por parte de la agroindustria, la generación de energía, la producción de tecnologías y el consumo humano.
	B	Disminuir la huella hídrica en los ciclos productivos. Proteger los ecosistemas estratégicos que depuran el agua.
	At	Generar equidad en los procesos agropecuarios que requieren alto consumo de agua y disminuyen la calidad de agua aumentando los costos de tratamiento para el consumo humano.
Exceso orgánico	A	Controlar en la agroindustria el exceso de compuestos orgánicos y su rápida descomposición para disminuir las emisiones de metano.
	G	Fomentar e innovar tecnológicamente en el aprovechamiento energético de las zonas de acumulación de residuos orgánicos.
	H	Tratar las aguas contaminadas y eutrofizadas por el aumento de las tierras agrícolas donde se usan nutrientes para aumentar la fertilidad del suelo.
	B	Manejar el desperdicio de alimentos que se van a botaderos a cielo abierto que se escurren a los cuerpos de agua, y se produce floraciones algales y especies invasoras bioindicadores de mala calidad del ecosistema.
	At	Vigilar por que los compostajes y abonos orgánicos sean de buena calidad y no permita la proliferación de plagas, que afecten la salud humana y doméstica.
Transiciones energéticas	A	Innovar en las fuentes de energía que provienen de la atmosfera como: eólica, hidrógeno y fotovoltaica principalmente.
	G	Identificar el potencial de la energía geotérmica.
	H	Revisar los impactos en las cuencas hidrográficas de las grandes hidroeléctricas, durante su etapa operativa y al finalizar la vida útil del sistema. Innovar en la generación de energía hidráulica por cascadas.

SPG	Sistema	Sugerencias prospectivas de sostenibilidad
B	At	Prevenir, compensar y mitigar la transformación de ecosistemas y pérdida de biodiversidad por la extracción de combustibles fósiles e insumos para la agroindustria. Revisar la eficiencia de la energía proveniente de la biomasa.
		Innovar en las técnicas de generación de energía de rellenos sanitarios y zonas de acumulación de residuos orgánicos.
Residuos Tecnológicos	A	Controlar y regular la producción de residuos con compuestos químicos volátiles de materiales sintéticos que afecten la composición de la atmósfera.
	G	Investigar en formas de biodegradación efectiva de los materiales sintéticos, para que no contaminen ni altere de manera significativa las propiedades del suelo.
	H	Seguir evaluando los lixiviados que se generan hacia los suelos y aguas subterráneas y sus incidencias en el ecosistema.
	B	Fomentar la reutilización de materiales para evitar extracciones de materiales que transformen el hábitat.
	At	Verificar que todo el ciclo productivo de la tecnificación de los procesos agroindustriales se realice eficientemente y con materiales de durabilidad. Introducir el concepto de economía circular.
Residuos nucleares y radioactivos	A	Controlar y regular la producción de residuos con compuestos radioactivos de las tecnologías agroindustriales, especialmente en lo que tiene que ver con la energía que se emplee.
	G	Estudiar la acumulación de residuos nucleares y radiactivos en los suelos por usos industriales previos en las zonas con potencial agroindustrial.
	H	Analizar este tipo de contaminación en aguas superficiales y subterráneas y proponer las medidas apropiadas para su tratamiento.
	B	Mitigar, prevenir y compensar la afectación por la bioacumulación de este tipo de residuos en los organismos del ecosistema, para evitar mutaciones y enfermedades raras.
	At	Restringir los usos de un territorio por la contaminación radiactiva, para salvaguardar la salud humana.
Flujo electromagnético	A	Investigar sobre los efectos de las ondas electromagnéticas generadas por los aparatos tecnológicos en todo el ciclo productivo agroindustrial. Investigar sobre alteración de los ciclos biogeoquímicos (especialmente el ciclo del hidrógeno), por el incremento de estructuras artificiales y la transformación de horizontes superficiales del suelo.
	G	Indagar en los cambios de uso del suelo, la extracción de minerales y materiales, que alteran el balance energético del ciclo del hidrógeno y del agua, lo cual incide en su estática y su conductividad eléctrica.
	H	Investigar sobre la relación del suelo, el agua y la atmósfera, con las emisiones o alteraciones de ondas electromagnéticas.
	B	Mitigar las alteraciones y perturbaciones a los organismos expuestos a estas radiaciones electromagnéticas.
	At	Fomentar la investigación en la forma como se perturban la salud humana por las ondas electromagnéticas por el incremento de telecomunicaciones, redes wi-fi y otras en el sistema productivo agroindustrial.
Residuos y desechos sólidos	A	Regular la disposición de estos residuos en la agroindustria para que no genere gases efecto invernadero.
	G	Hacer manejo paisajístico en las zonas donde se hace la disposición de estos residuos y evitar que generen lixiviados a los acuíferos.
	H	Culturizar las regiones donde se desarrolla la agroindustria para que estos desechos no se dispongan a las fuentes hídricas, sino que se reciclen adecuadamente.
	B	Aprovechar los residuos sólidos, promoviendo la economía circular para evitar la acumulación de residuos. Extender la vida útil de los rellenos sanitarios. Evitar que los residuos lleguen al mar y los animales ingieran la basura marina, microplásticos y químicos plastificantes.
	At	Innovar en tecnologías de reciclaje y reutilización de residuos en la industria agropecuaria.

SPG	Sistema	Sugerencias prospectivas de sostenibilidad
Dinámica geopolítica	A	Articular políticas para la mitigación y adaptación del ser humano a las condiciones cambiantes de las fuerzas atmosféricas.
	G	Fomentar el conocimiento del suelo como soporte de los ecosistemas y la vida en el planeta. Unirse a la fuerza mundial de lucha contra la desertificación por medio de proyectos agroindustriales ecológicamente funcionales. Gestionar el conocimiento sobre la geosalud y la seguridad alimentaria.
	H	Regular el consumo del agua de manera equitativa, para la agroindustria, el consumo humano, la producción de energía. Generar incentivos tributarios coherentes para incentivar ahorro, controlar demanda y mejorar la calidad en los vertimientos directos a las fuentes hídricas.
	B	Generar socio-ecosistemas entre los sistemas de áreas protegidas nacionales, corredores agroecológicos y ecosistemas estratégicos en las áreas circundantes a los procesos agroindustriales.
	At	Estudiar sobre las tendencias de los nuevos retos colectivos, la cooperación internacional, las estructuras locales sobre las dinámicas sociales, económicas, energéticas y tecnológicas que definirán las alianzas estratégicas presentes y venideras.
Desconocimiento de los océanos	A	Aumentar censurablemente la investigación sobre la relación del océano y las dinámicas atmosféricas globales, no solo enfocadas al cambio climático.
	G	Indagar en los estudios sobre la conectividad entre las actividades agropecuarias continentales con los ambientes marino-costeros y oceánicos.
	H	Reconocer que la seguridad alimentaria que proporciona el océano y los suelos en la zona continental, están relacionados. Existe una interconectividad que requiere mayor investigación.
	B	Investigar, innovar y desarrollar tecnologías para gestionar conocimiento de los océanos del mundo, en cooperación transnacional. Aumentar las reservas de la biosfera en los océanos y ambientes marino-costeros.
	At	Mejorar la planeación y el ordenamiento marino-costero, para favorecer los ecosistemas oceánicos y continentales de manera integrada con lo urbano y lo rural.
Aumento de los riesgos	A	Implementar con mayor eficiencia y eficacia las técnicas asociadas a la agroindustria climáticamente inteligente, para disminuir pérdidas en la producción.
	G	Poner en práctica la bioingeniería del suelo, para estabilizar zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa.
	H	Aprovechar las dinámicas de los cuerpos de agua para generar producción agropecuaria. Aprovechar los ciclos de regulación hídrica por medio de la infiltración escalonada gracias a las coberturas vegetales y reducir las inundaciones y deslizamientos por escorrentías.
	B	Introducir las prácticas agroecológicas para favorecer la productividad de biodiversidad y alimentos saludables en el suelo, para fortalecer el sistema inmunológico de los seres humanos y la calidad del hábitat.
	At	Evitar los monocultivos que limitan las funciones reguladoras de los ecosistemas exponiéndolos a fenómenos naturales. Incrementar la resiliencia territorial frente a la conservación y una planeación urbano regional integrada.

Nota: A: Atmosférico, G: Geosférico, H: hidrosférico, B: biosférico y At: Antroposférico. Los sistemas tienen el mismo color que en la Figura 1.

CONCLUSIONES

La transición hacia métodos avanzados de producción de alimentos, impulsada por el uso de combustibles fósiles y tecnologías modernas, ha causado una significativa alteración de los sistemas planetarios. Si bien estos avances han permitido satisfacer la creciente demanda alimentaria, también han provocado serios problemas ambientales y de salud, tales como la deforestación, la erosión del suelo, la contaminación, escases de agua potable, enfermedades y los cambios climáticos. Para abordar estos desafíos, es esencial promover la agricultura sostenible mediante prácticas que minimicen el impacto ambiental. Además, es crucial regular

el uso de transgénicos para asegurar que sus efectos sobre la salud humana y el ambiente sean evaluados y mitigados adecuadamente.

También se debe fomentar la investigación en tecnologías limpias y sostenibles, mejorando la eficiencia de la producción alimentaria sin comprometer el entorno natural, así como el realizar estudios de caso específicos en diferentes regiones para evaluar cómo las prácticas de producción de alimentos y las tecnologías están afectando los sistemas planetarios de manera más local y específica. Asimismo, es necesario desarrollar modelos predictivos que integren los impactos de la transgénesis y el transhumanismo en la salud y la sostenibilidad a largo plazo, proporcionando datos más precisos para políticas futuras; y ampliar la investigación para incluir un análisis del impacto social y económico en comunidades vulnerables, que pueden estar más afectadas por los cambios en la producción alimentaria.

Por último, la educación y la concienciación sobre prácticas alimentarias sostenibles son fundamentales, al igual que fomentar la innovación tecnológica para aumentar la eficiencia de la producción de alimentos y reducir la dependencia de métodos perjudiciales para el ambiente. Estas recomendaciones buscan equilibrar la necesidad de satisfacer la demanda alimentaria global con la preservación de los sistemas planetarios y la mejora de la salud humana, promoviendo un enfoque integral y sostenible frente a los superproblemas identificados.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaramos que no tenemos conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Este manuscrito forma parte del proyecto de investigación 'Analizar los beneficios ecosistémicos de la regulación proveniente de los suelos en la historia ambiental de la relación ciudad-cuenca', financiado por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales e INGEOS SAS en Colombia. Los autores agradecen el apoyo de sus respectivas instituciones, así como la participación de los estudiantes de maestría en Gestión Ambiental de Sistemas Costeros Marinos de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y de los investigadores expertos que participaron en los talleres y discusiones para este estudio. Agradecemos también al Dr. Miquel Canal y a los revisores anónimos por sus valiosos comentarios sobre el manuscrito.

REFERENCIAS

- Abbas, A., Ekowati, D., Suhariadi, F., y Fenitra, R.M. (2022). *Health Implications, Leaders Societies, and Climate Change: A Global Review*. En U. Chatterjee, A.O. Akanwa, S. Kumar, S.K. Singh, y A. Dutta Roy (Eds.). *Ecological Footprints of Climate Change* (pp. 653–675). Springer Climate. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15501-7_26
- Agatova, A.R., Nepop, R.K., y Korsakov, A.V. (2018). Vanishing iron-smelting furnaces of the southeastern Altai, Russia – evidences for highly developed metallurgical production of ancient nomads. *Quaternary International* 483, 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.11.004>
- Alba, A., Burgos, A., Cárdenas, J., Lara, K., Sierra, A., y Montoya-Rojas, G. (2014). Research panorama on the second green revolution in the world and Colombia. *Tecciencia* 8 (15), 69-90. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672013000200007



- Allen, R. (2012). Backward into the future: The shift to coal and implications for the next energy transition. *Energy Policy* 50, 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.020>
- Arias, J. (2017). La sostenibilidad justa como paradigma sistémico ambiental. *Gestión y Ambiente* 20 (2), 232-243. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64523>
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, 11 (2), 1-6. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/614>
- Béland, J., Patenaude, J., Legault, G., Boissy, P., y Parent, M. (2011). The social and ethical acceptability of NBICS for purposes of human enhancement: why does the debate remain mired in impasse? *Nanoethics* 5 (3), 295-307. <https://doi.org/10.1007/s11569-011-0133-z>
- Bersano, A., y Segantin, S. (2024). *Chapter 1 - History of nuclear power plants development*. En J. Wang, S. Talabi, S. Leon (Eds.). *Nuclear Power Reactor Designs* (pp. 3-40). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99880-2.00001-1>
- Birnbacher, D. (2008). *Posthumanity, transhumanism and human nature*. En B. Gordijn y R. Chadwick (eds). *Medical Enhancement and Posthumanity* (pp. 95-106). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8852-0_7
- Borchers, A., Teuber, S., Keen, C., y Gershwin, M. E. (2010). Food safety. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology* 39 (2), 95-141. <https://doi.org/10.1007/s12016-009-8176-4>
- Cafaggi, F., y Iamiceli, P. (2014). Supply chains, contractual governance, and certification regimes. *European Journal of Law and Economics* 37 (1), 131-173. <https://doi.org/10.1007/s10657-013-9421-0>
- Campbell, C.S., Keenan, J.F., Loy, D.R., Matthews, K., Winograd, T., y Zoloth, L. (2008). *The machine in the body: ethical and religious issues in the bodily incorporation of mechanical devices*. En B.A. Lustig, B.A. Brody, y G.P. McKenny (Eds.). *Altering Nature* (pp. 199-257). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6923-9_6
- Carr, D., Barbieri, A., Pan, W., y Iranavi, H. (2006). *Agricultural change and limits to deforestation in central America*. En F. Brouwer, y B.A. McCarl (Eds.). *Agriculture and Climate Beyond 2015* (pp. 91-107). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4368-6_6
- Degroot, D., Anchukaitis, K., Tierney, J., Riede, F., Manica, A., Moesswilde, E., y Gauthier, N. (2022). The history of climate and society: a review of the influence of climate change on the human past. *Environmental Research Letters* 17, 103001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8faa>
- Delgadillo, J., y Torres, F. (2009). La gestión territorial como instrumento para el desarrollo rural. *Estudios Agrarios* 15 (42), 55-73. https://www.pa.gob.mx/publica/rev_42/ANALISIS/Javier%20Delgadillo_6.pdf
- Di Renzo, L., Colica, C., Carraro, A., Cenci, B., Tonino-Marsella, L., Botta, R., Colombo, M., Gratteri, S., Margherita-Chang, T., Droli, M., Sarlo, F., y De Lorenzo, A. (2015). Food safety and nutritional quality for the prevention of non communicable diseases: the nutrient, hazard analysis and critical control point process (NACCP). *Journal of Translational Medicine*, 13, 128. <https://doi.org/10.1186/s12967-015-0484-2>
- Díaz, C. (2014). Metabolismo urbano: Herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*, 2 (2), 51-70. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46524>

- Ehrlich, P., y Ehrlich, A.H. (2016). Population, resources, and the faith-based economy: The situation in 2016. *BioPhysical Economics and Resource Quality* 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s41247-016-0003-y>
- FAO. (2018). *Transformar la alimentación y la agricultura para los ODS: 20 acciones interconectadas para guiar a los encargados de adoptar decisiones*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/65e7524f-9f38-4e3c-b98c-e25a45737800/content>
- FAO. (2015). *Agricultura Mundial: Hacia los Años 2015/2030*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s04.htm#TopOfPage>
- Felmer, R. (2004). Animales transgénicos: pasado, presente y futuro. *Archivos de Medicina Veterinaria* 36 (2), 105-117. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2004000200002>
- Flood, R.L. (2010). The relationship of 'systems thinking' to action research. *Systemic Practice and Action Research* 23 (4), 269-284. <https://doi.org/10.1007/s11213-010-9169-1>
- Gallo, M., Ferrara, L., Calogero, A., Montesano, D., y Naviglio, D. (2020). Relationships between food and diseases: What to know to ensure food safety. *Food Research International* 137, 109414. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109414>
- Ganiev, R.F., Ipatov, A., Romanov, A., Petrushov, V. A., y Moskvitin, G. V. (2011). Automobile and global warming. automobile transport warms the planet more intensively than industry. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 40 (4), 303–312. <https://doi.org/10.3103/S1052618811040078>
- Ganten, D., Ruckpaul, K., Birchmeier, W., Epplen, J., Genser, K., Gossen, M., Kersten, B., Lehrach, H., Oschkinat, H., Ruiz, P., Schmieder, P., Wanker, E., y Nolte, C. (2006). *Encyclopedic Reference of Genomics and Proteomics in Molecular Medicine*. Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/3-540-29623-9>
- Garcés, E., y Jiménez, L. (2016). Transhumanismo: Cómo el mejoramiento humano cambiará el cuidado. un análisis desde la teoría general del déficit de autocuidado. *Ene: Revista de Enfermería* 10 (3), dic. <http://ene-enfermeria.org/ojs/index.php/ENE/article/view/663/transhumanismo>
- García, D., y Acevedo, A. (2010). El territorio como factor del desarrollo. *Semestre Económico* 13 (27), 39-62. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/256/239>
- Gerage, J.M., Meira, A., y da Silva, M. (2017). Food and nutrition security: pesticide residues in food. *Nutrire*, 42, 3. <https://doi.org/10.1186/s41110-016-0028-4>
- Ghag, S., y Ganapathi, T. (2017). Genetically modified bananas: To mitigate food security concerns. *Scientia Horticulturae* 214, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.023>
- Ginsberg, J. (2009). *Development of the Pennsylvania Oil Industry: National Historic Chemical Landmark*. American Chemical Society. <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/pennsylvaniaoilindustry/pennsylvania-oil-industry-historical-resource.pdf>
- González, M. (2002). La ciudad sostenible. planificación y teoría de sistema. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 33 (1), 93-102. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/417>

- Gram, C., Laaksonen, T., Ohlin, T., Lawson, H., Skår, R., y Stangegaard, O. (2005). *History of the Nordic computer industry*. En J. Bubenko, J. Impagliazzo, y A. Sølvberg (Eds.). *History of Nordic Computing* (pp. 179–190). Springer, Boston. https://doi.org/10.1007/0-387-24168-X_16
- Guevara, G. (2004). ADN: Historia de un Éxito Científico. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 3 (10-11), 9-40. <https://www.redalyc.org/pdf/414/41401101.pdf>
- Hopkins, P.D. (2012). *Transhumanism*. *Encyclopedia of Applied Ethics* (pp. 414-422). Second Edition. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373932-2.00243-X>
- Jiang, H., Feng, G., Liu, X., Cao, H., Wang, S., Ma, L., y Ferguso, D. (2018). Drilling wood for fire: discoveries and studies of the fire-making tools in the Yanghai cemetery of ancient Turpan, China. *Vegetation History and Archaeobotany* 27 (1), 197-206. <https://doi.org/10.1007/s00334-017-0611-5>
- Kammerbauer, J. (2001). Las dimensiones de la sostenibilidad: fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos. *Interciencia* 26 (8), 353-359. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33905906.pdf>
- Khan, N., Kalair, E., Abas, N., Kalair, A.R., y Kalair, A. (2019). Energy transition from molecules to atoms and photons. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (1), 185-214. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.05.002>
- Koelmans, A. (2015). *Modeling the role of microplastics in bioaccumulation of organic chemicals to marine aquatic organisms. A critical review*. En M. Bergmann, L. Gutow, y M. Klages (Eds.). *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 309-324). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_11
- Landrigan, P.J., Stegeman, J.J., Fleming, L.E., Allemand, D., Anderson, D.M., Backer, L.C., et al. (2020). Human Health and Ocean Pollution. *Annals of Global Health* 86 (1), 151. <https://doi.org/10.5334/aogh.2831>
- La Nación. (1998). *El Ford T cumple 90 años: Su Velocidad de Producción Marcó un Hito en la Historia del Automóvil Argentina*. <https://www.lanacion.com.ar/autos/al-volante/el-ford-t-cumple-noventa-anos-nid202246>
- Latham, M. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Colección FAO: Alimentación y Nutrición N° 29. Roma. <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s00.htm#Contents>
- Lee, J. (2016). Cochlear implantation, enhancements, transhumanism and posthumanism: Some human questions. *Science and Engineering Ethics* 22 (1), 67-92. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9640-6>
- Lianos, T.P., y Pseiridis, A. (2016). Sustainable welfare and optimum population size. *Environment, Development and Sustainability* 18 (6), 1679-1699. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9711-5>
- Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures* 90, 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>
- Marshall, Q., Fanzo, J., Barrett, C.B., Jones, A.D., Herforth, A., y McLaren, R. (2021). Building a Global Food Systems Typology: A New Tool for Reducing Complexity in Food Systems Analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5, 746512. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.746512>
- Medina, I., Martínez, O., Castillo, M.D., Moyano, E., Querol, A., y Moreno-Arribas, M. (2023). *Producir alimentos sin agotar el planeta*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España. http://libros.csic.es/product_info.php?products_id=1721

- Montoya-Rojas, G., Almario-García, M., Bello-Escobar, S., y Pal-Singh, K. (2020). Analysis of the interrelations between biogeographic systems and the dynamics of the Port-Waterfront Cities: Cartagena de Indias, Colombia. *Ocean and Coastal Management* 185, 105055. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105055>
- Montoya-Rojas, G., Posada, A., Martín, J., Garnica, L., Peña, P., y Ramírez, A. (2016). Gestión integral de la industria cauchera en el municipio de San José del Guaviare, Colombia. *Perspectiva Geográfica* 21 (2), 89-110. <https://doi.org/10.19053/01233769.5854>
- Montoya-Rojas, G., Barragan, C., Aranguren, M., Martínez, N., Rodríguez, R., y Villamil, R. (2014). Discussion on the implications upon the environment of some technologies from the second green revolution. *Tecciencia* 9 (17), 49-44. <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2014.16.2>
- Montoya-Rojas, G. (2018). *Lineamientos epistemológicos para la aplicación de la geografía del suelo*. Sociedad Geográfica de Colombia. Primera Edición. Bogotá. Colombia.
- Mullan, B., y Haqq-Misra, J. (2018). Population growth, energy use, and the implications for the search for extraterrestrial intelligence. *Futures* 106, 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.06.009>
- Neidle, S. (2021). Beyond the double helix: DNA structural diversity and the PDB. *Journal of Biological Chemistry* 296, 100553. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2021.100553>
- Omobowale, E., Singer, P., y Daar, A. (2009). The three main monotheistic religions and gm food technology: An overview of perspectives. *BMC International Health and Human Rights* 9, 18. <https://doi.org/10.1186/1472-698X-9-18>
- O'Rourke, D., y Lollo, N. (2015). Transforming consumption: from decoupling to behavior change, to system changes for sustainable consumption. *Annual Reviews of Environment and Resources*, 40, 233-259. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021224>
- Ouyang, B., Gu, X., y Holford, P. (2017). Plant genetic engineering and biotechnology: A sustainable solution for future food security and industry. *Plant Growth Regulation* 83, 171-173. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0300-5>
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D. et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 372 (71), 1-9. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pei, Q., Lee, H., Zhang, D., y Fei, J. (2018). Climate Change, State Capacity and Nomad-Agriculturalist Conflicts in Chinese History. *Quaternary International* 508, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.10.022>
- Quiroga, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible: Estado del arte y perspectivas*. Publicación de las Naciones Unidas.
- Renz, H., Allen, K., Sicherer, S., Sampson, H., Lack, G., Beyer, K., y Oettgen, H. (2018). Food allergy. *Nature Reviews Disease Primers* 4, 17098. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.98>
- Reynolds, T.W., Waddington, S.R., Anderson, C.L., Chew, A., True, Z., y Cullen, A. (2015). Environmental impacts and constraints associated with the production of major food crops in Sub-Saharan Africa and south Asia. *Food Security* 7 (4), 795-822. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0478-1>
- Riznic, J. (2017). *Introduction to steam generators - from Heron of Alexandria to nuclear power plants: Brief history and literature survey*. En J. Riznic (Ed.). Steam Generators

- for Nuclear Power Plants (pp. 3-33). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100894-2.00001-7>
- Rubin, C.T. (2008). *What is the good of transhumanism?* En B. Gordijn, y R. Chadwick (Eds.). *Medical Enhancement and Posthumanity* (pp. 137-156). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8852-0_9
- Rusique-Quintero, L., Montoya-Rojas, G., y Moyano-Molano, A. (2022). Environmental risks due to the presence of microplastics in coastal and marine environments of the Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin* 185 (Part B), 114357. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114357>
- Scholz, F., y Schlee, G. (2015). *Nomads and nomadism in history*. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (pp. 838-843). Second Edition, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.62018-4>
- Spear, B. (2008). James Watt: The steam engine and the commercialization of patents. *World Patent Information* 30 (1), 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2007.05.009>
- Sepúlveda, S. (2008). *Gestión del desarrollo sostenible en territorios rurales: Métodos para la planificación*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/19413>
- Shewry, P.R., Jones, H.D., y Halford, N.G. (2008). *Plant biotechnology: Transgenic crops*. En U. Stahl, U.E. Donalies, y E. Nevoigt (Eds.). *Food Biotechnology. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* (pp. 149-186). Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/10_2008_095
- Small, C., y Sousa, D. (2016). Humans on earth: Global extents of anthropogenic land cover from remote sensing. *Anthropocene* 14, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.04.003>
- Sörlin, S., y Lane, M. (2018). Historicizing climate change-engaging new approaches to climate and history. *Climatic Change* 151 (1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2285-0>
- Toth, D. (2007). *Genetically modified organisms and food safety*. En A. McElhatton, y R.J. Marshall (Eds.). *Food Safety* (pp. 112-132). Springer, Boston. https://doi.org/10.1007/978-0-387-33957-3_6
- Toumey, C. (2011). Seven religious reactions to nanotechnology. *Nanoethics* 5 (3): 251-267. <https://doi.org/10.1007/s11569-011-0130-2>
- UNFPA. (2024). *Población mundial*. Organismo de las Naciones Unidas encargado de la salud sexual y reproductiva. <https://www.unfpa.org/es/data/world-population-dashboard>
- Urrútia, G., y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica* 135 (11), 485-532. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- van Hoof, L., Fabi, G., Johansen, V., Steenbergen, J., Irigoien, X., Smith, S., Lisbjerg, D., y Kraus, G. (2019). Food from the ocean; towards a research agenda for sustainable use of our oceans' natural resources. *Marine Policy* 105, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.046>
- van Wijk, J. (2002). Food insecurity: Prevalence, causes, and the potential of transgenic 'golden rice'. *Phytochemistry Reviews* 1, 141-151. <https://doi.org/10.1023/A:1015865210898>

- Wang, F., Wang, P., Xu, X., Dong, L., Xue, H., Fu, S., y Ji, Y. (2017). Tracing China's energy flow and carbon dioxide flow based on Sankey diagrams. *Energy, Ecology and Environment* 2 (5), 317-328. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0070-y>
- Watanabe, K.N., Kikuchi, A., Shimazaki, T., y Asahina, M. (2011). Salt and drought stress tolerances in transgenic potatoes and wild species. *Potato Research* 54 (4), 319-324. <https://doi.org/10.1007/s11540-011-9198-x>
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Keyßer, L.T., y Steinberger, J. (2020). Scientists' warning on affluence. *Nature Communications* 11, 3107. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16941-y>
- Winther, J.G., Dai, M., Rist, T., Håkon-Hoel, A., Li, Y., Trice, A., Morrissey, K., Juinio-Meñez, M., Fernandes, L., Unger, S., Rubio-Scarano, F., Halpin, P., y Whitehouse, S. (2020). Integrated ocean management for a sustainable ocean economy. *Nature Ecology and Evolution* 4, 1451–1458. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1259-6>
- Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., y Whiteman, G. (2017). Systems thinking: A review of sustainability management research. *Journal of Cleaner Production* 148, 866-881. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.002>
- Zhang, C., Wohlueter, R., y Zhang, H. (2016). Genetically modified foods: A critical review of their promise and problems. *Food Science and Human Wellness* 5 (3), 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.002>