Universitat Oberta de Catalunya

uoc.edu

Semillas resilientes al cambio climático

- Modalidad REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA -

Trabajo Final de Máster Nutrición y Salud

Autora: Mónica Moreno Garrido
Directa: Mercè Garí de Barbará

2º Semestre de 2020

CC BY NC ND

©opyright Reservados todos los derechos. Está prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la impresión, la reprografía, el microfilm, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

Índice

Resumen....5
Abstract....6
1. Introducción....7
2. Objetivos....11
3. Metodología....12
4. Resultados....14
4.1. Vulnerabilidades en el sistema de producción agrícola industrial....14
4.2. Agroecosistemas y mitigación del cambio climático....18
4.3. Semillas resilientes. Cultivos transgénicos....20
5. Discusión....24
6. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación....28
7. Conclusiones....28
8. Bibliografía....29

Resumen

El sector agrícola es uno de los sectores más vulnerables a los impactos del cambio climático, los cambios en las plagas, patógenos y precipitaciones, las olas de calor y otros fenómenos climáticos extremos contribuirán a la disminución de la productividad agrícola a finales del siglo XXI. Es necesario por tanto que se implementen medidas de mitigación exitosas.

Aumentar la productividad agrícola de manera sostenible (reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero) para satisfacer la creciente demanda mundial y al mismo tiempo adaptarla a un clima cambiante son desafíos interrelacionados que los sectores agrícolas deben superar. La biodiversidad de cultivos y la biotecnología moderna son dos herramientas fundamentales para intentar actualizar el modelo agrícola industrial.

La biodiversidad es un recurso esencial para la mejora de semillas y la adaptación de la agricultura a condiciones en constante cambio. La domesticación y la posterior evolución bajo cultivo han moldeado profundamente la arquitectura genética de esta biodiversidad. La biotecnología moderna tiene un enorme potencial para adaptarse al cambio climático en curso y para mitigar su impacto general. En la producción y elaboración agrícolas, la biotecnología puede solventar todo tipo de problemas como incrementar el rendimiento del cultivo, potenciar la resistencia a plagas, la lucha contra condiciones adversas, e incluso aumentar del contenido de nutrientes de los alimentos.

Es necesario por tanto implementar cambios en el sistema agrícola industrial actual puesto que su tendencia a la homogeneidad de cultivos, lo hace especialmente vulnerable al cambio climático.

Palabras clave: Revisión bibliográfica CAMBIO CLIMÁTICO, AGRICULTURA, AGROCULTIVO, CULTIVO TRANSGÉNICO.

Abstract

The agricultural sector is one of the sectors most vulnerable to the impacts of climate change, changes in pests, pathogens and rainfall, heat waves and other extreme weather events will contribute to the decline in agricultural productivity in the late 21st century. Therefore, successful mitigation measures need to be implemented soon.

Thus increasing agricultural productivity in a sustainable way (by reducing greenhouse gas emissions) to meet growing global demand and at the same time adapting it to a changing climate are interrelated challenges that agricultural sectors must overcome. Crop biodiversity and modern biotechnology are two fundamental tools to try to meet these challenges.

Biodiversity is an essential resource for improving crops and adapting agriculture to constantly changing conditions. Domestication and subsequent evolution under cultivation have profoundly shaped the genetic architecture of this biodiversity. Modern biotechnology has enormous potential to adapt to ongoing climate change and to mitigate its overall impact. In agricultural production and processing, biotechnology can solve all kinds of problems such as increasing crop yield, enhancing resistance to pests, fighting adverse conditions, and even increasing the nutrient content of food.

It is necessary to implement changes in the current industrial agricultural system since its tendency towards crop homogeneity makes it especially vulnerable to climate change.

Key words: Bibliographic review CLIMATE CHANGE, AGRICULTURE, AGRICULTURE, TRANSGENIC CULTIVATION

1. Introducción

Según el último informe del Secretario General de la ONU Antonio Guterres en la Cumbre para la Acción Climática que tuvo lugar el 23 de septiembre de 2019 (1) el **cambio climático** es ya una realidad y es importante que empecemos a tomar medidas. No se trata sólo del calentamiento global y el aumento de las temperaturas. La desestabilización del clima está conduciendo a la intensificación de las sequías, inundaciones, ciclones y otros fenómenos meteorológicos extremos. Año tras año la frecuencia e intensidad de estos eventos están aumentando (2) (3) .

Recientes revisiones, y metaanálisis de gran cantidad de estudios científicos disponibles indican que en la actualidad ya existen claras evidencias de que el cambio climático está teniendo efectos sobre la flora, la fauna y los ecosistemas (4). Según el último informe de evaluación del **IPCC** (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) *"Cambio climático y tierra"* (5) el cambio climático tiene impactos tanto directos como indirectos en los diferentes sistemas de producción agrícola actuales. Los impactos directos incluyen efectos causados por una modificación de los niveles de temperatura y distribución de lluvias. La variación térmica, que en unos casos se produce al alza (incrementos de temperatura respecto a los valores habituales), en otros casos a la baja (descensos de temperatura) y en algunos contextos la variabilidad se extrema tanto al alza como a la baja. Las temperaturas más altas y las heladas insoportables se traducen en reducción o incluso pérdida de cosechas, desplazamiento de zonas agroecológicas, cambios en la distribución de las plagas, deshielo de los nevados con la consiguiente disminución de fuentes de agua, etc. El agua es un elemento clave para la agricultura; por ello, los cambios en la distribución, regularidad e intensidad de las lluvias tienen impacto sobre la producción. Los efectos indirectos son aquellos que afectan a la producción a través de cambios en otras especies como polinizadores, plagas, vectores de enfermedades y especies invasoras (6).

Es ya un hecho constatado que el cambio climático está afectando negativamente a cultivos tan importantes para la seguridad alimentaria como el trigo y el maíz (7) (8). La agricultura es uno de los sectores más vulnerables a los cambios climáticos. A nivel global, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señala que, en general, se espera que los rendimientos disminuyan más severamente en los países de latitudes más bajas. Estudios recientes han demostrado que las pérdidas proyectadas en la producción de cacao y café

amenazan las economías nacionales y también las cadenas de suministro regionales y globales de estas industrias respectivas.

Los impactos proyectados del cambio climático son una amenaza para la producción de cultivos en regiones que actualmente experimentan inseguridad alimentaria. En África y el sur de Asia, se prevé que los principales cereales, incluido el trigo, el maíz y el sorgo, sufrirán pérdidas de rendimiento promedio del 8% para 2050, y se espera que algunos cultivos, especialmente el trigo en África, experimenten un cambio de rendimiento del -17%. Los efectos del cambio climático en la agricultura ya se están sintiendo, en India, se estima que las perturbaciones inducidas por el cambio climático en el monzón registradas entre 1966 y 2002 redujeron los rendimientos de arroz en un 4%. Aunque los impactos del cambio climático afectarán a las industrias nacionales y mundiales, son las comunidades rurales marginadas y empobrecidas de los países en desarrollo cuyos medios de vida dependen de la agricultura las más vulnerables. (9)

Debemos tener en cuenta que nuestro modelo agrícola industrial actual, debido a su homogeneidad ecológica es particularmente vulnerable al cambio climático (10) además de a los estreses bióticos (como plagas y enfermedades).

Muchos científicos han sostenido que la reducción drástica de la diversidad de plantas cultivadas ha puesto a la producción de alimentos del mundo en mayor peligro (11) y han hecho reiteradas advertencias sobre la vulnerabilidad extrema asociada con la uniformidad genética de los cultivos, afirmando que la homogeneidad ecológica en la agricultura está estrechamente ligada a las invasiones y brotes de plagas (12).

La diversidad de los sistemas alimentarios y la agricultura están disminuyendo rápidamente. La composición de los suministros alimentarios de los países se ha vuelto más similar entre sí y la población mundial, en su conjunto, depende cada vez más de una lista relativamente corta de los principales cultivos alimentarios, como el trigo, el arroz, el azúcar, el maíz y la soja. También hay una profunda pérdida de variación dentro de los principales cultivos debido a la pérdida de variedades locales que son importantes para los medios de vida de los pequeños propietarios y la diversificación del riesgo contra el cambio climático y la nutrición, disminuyendo la resiliencia del sistema agrario (13).

La **resiliencia** es la capacidad de una región de adaptarse a cambios externos con el objetivo de mantener el bienestar de la población manteniendo el equilibrio de las funciones culturales, económicas y ecosistémicas de dicha región(14). En otras

palabras se refiere a la capacidad de un sistema de auto-organizarse y su habilidad para adaptarse al estrés y al cambio después de una perturbación (15).

La resiliencia es el producto de la dinámica de un sistema socio-ecológico cuyas partes constituyentes están integradas y son interdependientes (16), por lo que puede entenderse como la propensión de un sistema a conservar su estructura organizacional y su productividad después de una perturbación. Por lo tanto, un agroecosistema "resiliente" debería ser capaz de continuar la producción de alimentos al enfrentarse a una sequía severa o al exceso de lluvias. Por el contrario, la **vulnerabilidad** puede ser definida como la posibilidad de que un agroecosistema pierda biodiversidad, el suelo, el agua o la productividad al enfrentarse a una perturbación o choque externo.

La vulnerabilidad se refiere al grado en que un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos de la variabilidad y los extremos climáticos y denota un estado de susceptibilidad al daño por la exposición al estrés asociado con el cambio ambiental y por la falta de capacidad de adaptación (17). A escala mundial, se considera que los impulsores directos más importantes de la vulnerabilidad y la pérdida de biodiversidad del ecosistema son el cambio y la degradación del hábitat, el cambio climático, las especies invasoras (nativas y no nativas), la sobreexplotación y la contaminación. Estos factores contribuyen a la pérdida del carbono orgánico del suelo.

El carbono orgánico del suelo (COS) es dinámico, no obstante, los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o fuente neta de gases de efecto invernadero (GEI). Los puntos críticos y favorables de COS, que son respectivamente áreas de alto contenido de COS (por ejemplo, turberas o suelos negros) y extensas superficies de bajo contenido de COS (por ejemplo, tierras secas), constituyen zonas de conflicto. Con el cambio climático y la gestión insostenible, estas áreas son susceptibles a convertirse en fuentes netas de emisión de GEI (18).

Hay que tener en cuenta que el sistema agrario que predomina actualmente es un gran contribuyente de las emisiones de gases de efecto invernadero (entre el 10 y el 12% de las emisiones mundiales) variando sustancialmente entre los países dependiendo del tamaño relativo y la importancia del sector agrícola (19).

El sistema agrario industrial debe llegar a un equilibrio entre la agricultura tradicional que fomenta la biodiversidad y respeta el ecosistema y la aplicación biotecnológica para revitalizar las tierras de cultivo. Investigaciones recientes indican

que la biodiversidad del suelo puede ser mantenida y parcialmente restaurada si se gestiona de manera sostenible. Promover la complejidad ecológica y la robustez de la biodiversidad del suelo a través de mejores prácticas de gestión representa un recurso subutilizado con la capacidad de mejorar en definitiva la salud humana.

Es importante que dentro de este sistema se integren respuestas de política y gestión que superen las barreras que influyen negativamente en la adopción de medidas de adaptación y mitigación del cambio climático. Es necesario impulsar una bioeconomía basada en la producción y el uso sostenible y eficiente de los recursos biológicos. La bioeconomía se ha identificado como una herramienta para abordar una amplia gama de desafíos sociales en los próximos años: seguridad alimentaria, cambio climático, gestión sostenible de los recursos, competitividad de las empresas privadas, creación de empleo y la alta dependencia de los recursos no renovables (20). En la agricultura y sector agroindustrial, por ejemplo, las aplicaciones biotecnológicas juegan un papel importante, desde aumentar la productividad hasta agregar valor y diversificación de productos agrícolas, al tiempo que reduce su impacto medioambiental.

El presente trabajo propone hacer un estudio sobre la vulnerabilidad del modelo de agrocultivo industrial y el uso de semillas transgénicas para aumentar la resiliencia al cambio climático.

2. Objetivos

Con este trabajo se intenta contestar las siguientes preguntas investigables:

1. ¿Está acelerando el sistema de producción industrial el cambio climático? ¿Tiene capacidad de resiliencia? ¿Cuáles son sus principales vulnerabilidades?

2. ¿cuáles son los beneficios del sistema agroecológico?

3. ¿Son los cultivos transgénicos una posible solución al cambio climático?

Los objetivos que se proponen son los siguientes:

OBJETIVO PRINCIPAL

Estudiar la capacidad de resiliencia de semillas transgénicas y su adaptación al cambio climático

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Analizar el sistema de producción agrícola industrial y estudiar los impactos negativos que produce en el medio ambiente.

- Analizar el sistema de producción agrícola tradicional con especial énfasis en la biodiversidad y la agricultura de conservación.

3. Metodología

Este estudio realiza una **revisión bibliográfica** y analiza a través de estudios científicos la capacidad de **adaptación del sistema** de producción agrícola industrial al cambio climático y cuáles son sus principales vulnerabilidades. Se estudia también los beneficios de utilizar un sistema agroecológico o de conservación y plantea como posible solución y adaptación el uso de semillas transgénicas en la agricultura.

En primer lugar se lleva a cabo una búsqueda multidisciplinar en Google Scholar y en la biblioteca virtual de la UOC de documentos y guías sobre cambio climático y agricultura publicados por diferentes sociedades y asociaciones profesionales tanto en España como en el contexto internacional. Esta búsqueda se hace tanto en español como en inglés.

Posteriormente, se realiza una búsqueda avanzada de revisiones sistemáticas de la literatura científica en diferentes bases de datos específicas.

Se realiza una búsqueda avanzada en PUBMED, SCIENCE-DIRECT, SCOPUS, **AGRIS**, (referencias y enlaces a recursos de datos online como DBPedia, el Banco Mundial, Nature y los perfiles regionales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) y **AGRÍCOLA.** También se utiliza el buscador de la biblioteca de la UOC.

Se utiliza como palabras clave “AGRICULTURA” con conector “Y” y “CAMBIO CLIMÁTICO” y se seleccionan 13 estudios (entre ellos 3 libros de la FAO, 1 tesis y el resto artículos académicos). De estos estudios se extraen las principales vulnerabilidades presentes el sistema de agricultura industrial y se reflejan en la Tabla 1 en Resultados.

Posteriormente se realiza una segunda búsqueda avanzada utilizando las mimas bases de datos. En este caso se utilizan los términos “AGROCULTIVO” con conector “Y” y “CAMBIO CLIMÁTICO”. A continuación se seleccionan 7 estudios que son principalmente artículos de revista académica. De ellos se extraen los principales beneficios que se obtiene del uso de la agricultura de conservación para el medio ambiente. Estos beneficios se exponen en la Tabla 2 en resultados.

Por último se realiza una última búsqueda avanzada en este caso utilizando como palabras claves “CULTIVO TRANSGÉNICO” con conector “Y” y “CAMBIO CLIMÁTICO” y se seleccionan 15 estudios, todos artículos publicados en revistas académicas. De estos artículos se extraen los principales beneficios del uso de las semillas transgénicas para combatir el cambio climático y la seguridad de su uso.

Todas las búsquedas se realizan utilizando los términos tanto en inglés como en español y se usan estudios de ámbito tanto nacional como internacional.

Criterios de Inclusión:

- Criterio temporal: Se seleccionaron estudios publicados desde Enero de 2011 hasta Marzo de 2020 dando prioridad a los estudios publicados a partir de 2016
- Criterio geográfico: Se seleccionan estudios globales a nivel mundial.
- Tipo de estudio: No se hicieron restricciones respecto al tipo de estudio.
- Lectura crítica: Para la selección de los artículos se revisaron los resúmenes y en los casos necesarios los artículos completos, teniéndose en cuenta finalmente todos los artículos que incluían relaciones directas entre modelo de agricultura, tipos de cultivo y cambio climático.
- Criterio lingüístico: Se seleccionan estudios publicados en inglés y en español.

Criterios de Exclusión: Se excluyen estudios que tras realizar la lectura crítica no cumplían criterios de inclusión o se limitaban a una zona geográfica o región específica.

4. Resultados

4.1. Vulnerabilidades en el sistema de producción agrícola industrial

Se identifican como vulnerabilidades los impactos negativos asociados a la agricultura industrial.

TABLA 1: Artículos incluidos en relación a los impactos negativos del modelo de agrocultivo industrial (n= 14)

Cita	Autor/año	Resultado	Marcador
Libro: Global forest resources assessment 2015: how are the world's forests changing? (21)	FAO 2016	Entre 1990 y 2015, el área forestal disminuyó 4.1 mil millones de hectáreas, por expansión de tierras agrícolas.	Deforestación
Página web SOFO El Estado de los bosques en el mundo (22)	FAO 2018	La agricultura comercial generó casi el 70 % de la deforestación en América Latina entre el periodo 2000-2010.	
Tesis: Resiliencia de los sistemas agroecológicos al cambio climático **(23)**	Marcelo C. Belloni (2017)	Los bosques naturales se deforestan a una tasa de 4,3 millones de hectáreas anuales para dar paso a la agricultura de monocultivo	
		Los cambios en el régimen de incendios forestales son una de las consecuencias más evidentes del monocultivo forestal, asociado con el aumento de la severidad y la duración de los períodos secos.	

Artículo de revista: Human Impacts on soil **(24)**	Ferreira et al (2018)	Alrededor de 24 mil millones de toneladas de tierra vegetal se pierden anualmente en la Tierra, cubriendo un área de 20–50,000 km^2, con pérdidas de dos a seis veces mayores en África, América Latina y Asia que en América del Norte y Europa	Degradación /erosión
		La compactación del suelo afecta a 33 millones de hectáreas de los suelos agrícolas europeos. Provoca una reducción del rendimiento del 25 al 50% en algunas regiones de Europa y América del Norte, y entre el 40 y el 90% en los países de África occidental.	Compactación del suelo
Libro: Estado Mundial del Recurso Suelo (25)	FAO y GTIS. 2015.	La mecanización de la gestión de la tierra ha incrementado la compactación de los suelos en tierras de cultivo, pastizales y bosques maderables.	Compactación del suelo
		La expansión de la agricultura en los trópicos es responsable de la mayoría de las emisiones totales de CO_2 debidas al desmonte de tierras.	Emisión de GEI[i]
		La gestión agrícola es el segundo mayor impulsor del cambio en el COS. Las turberas son muy susceptibles a la pérdida de COS cuando se drenan para la agricultura y la forestación comercial – este es un problema en varias regiones particularmente en Asia y Europa.	Carbono Orgánico del suelo (COS[ii])

Agroecology and Climate Change: Adaptation or Transformation? (26)	Miguel A. Altieri ; Clara Nicholls 2018	Esta agricultura que solo produce el 30 % de los alimentos para la humanidad, consume 80 % del petróleo, 80 % del agua y genera entre el 20-30 % de los gases de efecto invernadero.	Emisión de GEI
Artículo de revista académica Major challenges of integrating into climate change mitigation policy frameworks (19)	Fellman et al. (2018)	La agricultura contribuye entre el 10 y el 12% de las emisiones mundiales de GEI. China (13.4%), India (12%), Brasil (8.5%), los Estados Unidos de América (EE. UU.) (6.8%) y los 28 estados miembros agregados de la UE (7.7%) en conjunto representan casi 50 % de las emisiones agrícolas mundiales. En 42 países en desarrollo de bajos ingresos, la agricultura contribuye más del 50% a las emisiones nacionales, mientras que en promedio es del 35% en los países en desarrollo y el 12% en los países desarrollados.	
Artículo de revista académica. Agricultural Management and Climatic Change Are the Major Drivers of Biodiversity Change in the UK (27)	Burn et al. (2016)	Impacto predominantemente negativo del manejo intensivo de las tierras agrícolas en la biodiversidad del Reino Unido en las últimas décadas (1970-2012)	Biodiversidad
Artículo de revista académica An optimization model for the planning of agroecosystems: Trading off socio-economic feasibility and biodiversity (28)	Recanati y Guariso (2018)	La intensificación de las operaciones agrícolas a través de un mayor uso de insumos externos es causa de la pérdida de biodiversidad.	

Artículo de revista académica Contributions of biodiversity to the sustainable intensification of food production (29)	Dawson et al. (2019)	Las tasas actuales de pérdida de biodiversidad en los trópicos y subtropicales son a menudo altas, ya que se adoptan 'soluciones' aparentes a los problemas de producción de alimentos que resultan en la expansión de sistemas agrícolas simplificados	
Artículo de revista académica Crop Biodiversity: An Unfinished Magnum Opus of Nature (30)	Huffor et al. (2019)	La biodiversidad agrícola se ve perjudicada por la destrucción del hábitat a través de la conversión agrícola	
Integrating plant richness in forest patches can rescue overall biodiversity in human-modified landscapes (31)	Farah et al. (2017)	La sustitución de los ecosistemas naturales por la agricultura ha llevado al establecimiento de paisajes modificados por el hombre a nivel mundial.	
Tesis Evidencias agroecológicas para la agricultura del futuro (32)	Perez, Victoriano (2017)	En los últimos 100 años se estima que se ha perdido cerca del 75% de la diversidad genética de los cultivos.	
Artículo de revista: Conventional land-use intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis (33)	Beckmann et al (2019)	En todos los sistemas de producción y grupos de especies, la intensificación convencional tiene éxito en aumentar el rendimiento (gran promedio + 20.3%), pero también resulta en una pérdida de riqueza de especies (−8.9%).	

A modo de resumen y como observamos en la Tabla 1 el modelo de producción de la agricultura industrial está produciendo impactos negativos sobre el medio ambiente.

Diferentes publicaciones de la FAO DE 2015-2018 alertan de la deforestación, el aumento de GEI y la pérdida progresiva del COS como causa del monocultivo industrial. Miguel A. Altieri; Clara Nicholls (2018) y Fellman et al (2018) coinciden en que la agricultura es la responsable del 20-30% de las emisiones de GEI.

La compactación del suelo también es una consecuencia directa de la agricultura industrial como señalan FAO Y GTIS (2015) y autores como Ferreira et al (2018) en su artículo Human impact on soil, en el que también hacen eco de la degradación y erosión como consecuencia directa de los factores anteriormente mencionados.

En cuanto a la alteración y reducción de la biodiversidad los autores con referencias directas aluden a que la sustitución de los hábitats naturales por agricultura industrial produce una pérdida progresiva de biodiversidad. Beckman et al (2019) y Dawson et al (2019) coinciden en que aunque la intensificación del cultivo aumenta el rendimiento también resulta en una pérdida de diversidad de especies.

.2. Agroecosistemas y mitigación del cambio climático

En la Tabla 2 se recogen los beneficios para el medio ambiente que tiene el sistema de agricultura tradicional.

Tabla 2: Artículos incluidos en relación a los beneficios del modelo de cultivo de conservación o agroecosistema (n=7)

Tipo de estudio	Autor/año	Agroecosistema	
Artículo de revista: An optimization model for the planning of agroecosystems: Trading off socio-economic feasibility and biodiversity (28)	Recaniti y Guariso	Agroecosistemas diversos y complejos representan soluciones efectivas hacia una agricultura más sostenible	Sostenibilidad
Artículo de revísta Measurements and Models to Identify Agroecosystem Practices That Enhance Soil Organic Carbon under Changing Climate (34)	Gollany y Venterea	La mayoría de los agroecosistemas tienen el potencial de almacenar COS a través de una gestión mejorada.	Almacenamiento de COS[iii]

Artículo de revista New services and roles of biodiversity in modern agroecosystems: A review (35)	Kazemi et al.	Esta revisión muestra que la restauración ecológica de los agroecosistemas es generalmente efectiva y puede recomendarse como una forma de aumentar la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas	Biodiversidad
Tesis Evidencias agroecológicas para la agricultura del futuro (32)	Perez Victoriano, 2017	Está basado en la biodiversidad; diversidad genética, diversidad de especies y diversidad de ecosistemas. Contribuye a mejorar la sostenibilidad de los agroecosistemas al tiempo que se basan en diversos procesos ecológicos y servicios ecosistémicos: ciclo de nutrientes, fijación biológica de N[iv], regulación natural de plagas, conservación de suelos y aguas, biodiversidad y secuestro de carbono.	
Artículo de revista Reply to Snowdon et al. and Piepho: Genetic response diversity to provide yield stability of cultivar groups deserves attention (36)	Kahiluoto et al (2019)	La estabilidad potencial del rendimiento bajo variación ambiental es mayor si se utiliza el potencial genético de un grupo de cultivares con diferentes respuestas al medio ambiente en lugar de un solo cultivar.	
Artículo de revista Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático (37)	Nicholls et al. (2015)	Son más **resilientes** cuando están insertados en una matriz de paisaje compleja, que incluya germoplasma local adaptado utilizado en sistemas de cultivos diversificados manejados con suelos ricos en materia orgánica y técnicas de conservación-cosecha de agua.	Resilencia
Artículo de revista académica Resiliencia de los Sistemas Agroecológicos ante el Cambio Climático (23)	Belloni (2017)	La diversificación de cultivos, la integración de los animales silvestres, el mantenimiento de la diversidad genética local, la adición de materia orgánica del suelo, la conservación y la cosecha de agua, etc., son la base de la **resiliencia** de los agroecosistemas tradicionales	

Son varios los autores entre ellos, Kazemi et al, Perez Victoriano (ya referenciado en la tabla anterior en el marcador biodiverisidad) y Kahiluoto et al que coinciden en que los agroecosistemas son productores y guardadores de biodiversidad.

Belloni también referenciado en la tabla anterior en el marcador de deforestación incide en este caso en la capacidad de resiliencia que confieren los agroecosistemas al cultivo.

Recaniti y Guariso coinciden en la sostenibilidad del sistema agroecológico, mientras que Gollany y Venterea señalan la capacidad de almacenamiento del COS y por tanto la reducción del impacto medioambiental.

.3. Semillas resilientes. Cultivos transgénicos.

En la Tabla 3 se muestran los beneficios del uso del cultivo transgénico en los estudios seleccionados:

Tabla 3: Artículos seleccionados sobre los beneficios del cultivo transgénico (n=14)

Tipo de Estudio	(Autor/año)	Beneficios cultivo transgénico
Informe: ISAAA Briefs (38)	Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2018	Los cultivos biotecnológicos continúan ayudando a enfrentar los desafíos de producción de alimentos para una población en aumento y el cambio climático. Aumentaron 1.9 millones de hectáreas de cultivos transgénicos comparado con el año anterior (2017) Setenta países adoptaron los cultivos biotecnológicos para proporcionar soluciones al hambre, la desnutrición y el cambio climático
Artículo de revista académica Estrategias genéticas para mejorar el rendimiento de los cultivos. (39)	Bailey-Serres et al (2019)	Los rasgos de resistencia recientemente diseñados pueden transferirse a variedades de cultivos de élite para conferir resistencia contra enfermedades modernas. La valiosa diversidad genética para aumentar la resiliencia de los cultivos reside en variedades locales cultivadas, variedades de herencia y los parientes silvestres de los cultivos. Los bancos de semillas curan y distribuyen germoplasma de cultivos; **Crop Trust**[1], es uno de los principales esfuerzos para recolectar, conservar y usar las aproximadamente 50,000 especies de parientes silvestres de cultivos
Artículo de revista: Prospects of orphan crops in climate change (40)	Mabhaudhi et al (2019)	Los cultivos huérfanos también representan un amplio acervo genético para la mejora futura de los cultivos. La reducción de la tierra cultivable debido al cambio climático ofrece oportunidades para expandir el área bajo su producción
Artículo de revista: The impact of Genetically Modified (GM) crops in modern agriculture: A review (41)	Raman (2017)	Aumento del rendimiento global en un 22%, y reducción del uso de pesticidas (ingredientes activos) en un 37% y el impacto ambiental (uso de insecticidas y herbicidas) en un 18% El rendimiento mundial de los cultivos alimentarios (1996–2013) ha aumentado en más de 370 millones de toneladas en un área de superficie relativamente pequeña. Además, se han registrado cultivos modificados genéticamente para reducir los impactos ambientales y ecológicos, lo que lleva a un aumento en la diversidad de especies.

Artículo de revista: Can genomics deliver climate-change ready crops? (42)	Varshney et al. (2018)	La comunidad genética puede mapear los rasgos relevantes del cambio climático con la ayuda de plataformas de genotipado y fenotipado de alto rendimiento de una manera más rápida y rentable. Los enfoques de mejoramiento de próxima generación, incluidos GS[v] y GE[vi], pueden utilizar el nuevo germoplasma y los avances tecnológicos para desarrollar líneas preparadas para el cambio climático.
Artículo de revista: Barley: a translational model for adaptation to climate change (43)	Dawson et al. (2015)	Las poblaciones mutantes y los transgénicos facilitan la conexión entre la diversidad genética y los fenotipos heredables y sientan las bases biológicas, tecnológicas e informativas para el desarrollo de cultivos resistentes al clima adaptados a entornos específicos
Artículo de revista académica: Impacto del cambio climático y adaptación para la proteína de trigo (44).	Asseng et al. (2019)	El análisis de los ensayos de campo en múltiples ubicaciones sugiere que los cultivos con rasgos de tiempo de antesis retardado y mayor tasa de llenado de grano podrían combinarse en genotipos de trigo para combatir los efectos negativos del aumento de la temperatura en el rendimiento.
Artículo de revista académica: Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review (45)	Raza et al (2019)	Se han publicado alrededor de 40 estudios de investigación basados en GS. El trigo es el cultivo más estudiado con 29 estudios de selección genómica. Diversity Array Technology (DArT[vii]) fue el fabricante más prometedor utilizado en GS seguido de polimorfismo de un solo nucleótido (SNP[viii]) y genotipado por secuenciación (GBS[ix]). Estos experimentos mostraron que el GS podría usarse magníficamente en la cría de cereales. Estudios de asociación amplia del genoma (GWAS[x]), selección genómica (GS) con fenotipado de alto rendimiento, y las estrategias de genotipado son importantes para identificar los diferentes genes para la mejora de cultivos bajo el cambio climático.
Artículo de revista académica: Nature's pulse power: legumes, food security and climate change **(46)**	Considine et al. (2017)	Se realizan esfuerzos significativos para aumentar los recursos genómicos y aplicar técnicas innovadoras de mejoramiento del rendimiento y la calidad nutricional de los cultivos de leguminosas, con mayor resistencia al cambio climático.
Artículo de revista académica: Global developments of genome editing in agriculture(47)	Ricroch (2019)	La resistencia al estrés biótico es una de las aplicaciones más necesarias para la edición de genes en la agricultura. Aparte de soja, algodón, maíz y semilla de colza, otros cultivos como trigo, arroz, caña de azúcar, y hortalizas tales como tomate y la patata están siendo desarrollados con tolerancia al estrés.

Artículo de revista académica: Conventional and Molecular Techniques from Simple Breeding to Speed Breeding in Crop Plants: Recent Advances and Future Outlook (48)	Ahmar et al (2020)	El mejoramiento de cultivos fue revolucionado por el desarrollo de técnicas de mejoramiento de próxima generación. Las tecnologías de edición del genoma tienen muchas ventajas sobre los métodos agrícolas tradicionales, dada su simplicidad, eficiencia, Alta especificidad y facilidad de multiplexación.
Artículo de revista académica: Using Biotechnology-Led Approaches to Uplift Cereal and Food Legume Yields in Dryland Environments (49)	Dwivedi et al (2018)	Los avances en el genotipado de alto rendimiento y las plataformas de fenotipado basadas en precisión junto con el desarrollo de recursos bioinformáticos y herramientas de manejo de datos están permitiendo que los potenciadores genéticos de los cultivos aceleren la introgresión de genes candidatos asociados con la tolerancia al estrés en mejores antecedentes genéticos.
Artículo de revista: Application of CRISPR/Cas9 Genome Editing Technology for the Improvement of Crops Cultivated in Tropical Climates: Recent Progress, Prospects, and Challenges (50)	Haque et al (2018)	La tecnología de edición del genoma de repeticiones palindrómicas cortas agrupadas regularmente entrecruzadas (CRISPR[xi]) / Cas[xii]9 (proteína asociada a CRISPR9) ha demostrado ser muy prometedora para abordar rápidamente los desafíos emergentes en la agricultura. Se puede usar para modificar con precisión la secuencia del genoma de cualquier organismo, incluidas las plantas, para lograr el rasgo deseado
Artículo de revista académica: Perspectives of CRISPR/Cas-mediated *cis*-engineering in horticulture: unlocking the neglected potential for crop improvement (51)	Li et al (2020)	El uso de técnicas de CRISPR/Cas para la detección de rasgos deseables a nivel fenotípico en lugar de la detección de genes diferencias de expresión es práctico para la mejora de cultivos. La aplicación de la ingeniería *cis* mediada por CRISPR/ Cas para la mejora de los cultivos hortícolas mejorará el rendimiento de los cultivos, la resistencia y los rasgos comercialmente deseables
Results from ten years of post-market environmental monitoring of genetically modified MON 810 maize in the European Union (52)	Bertho et al (2020)	El análisis estadístico de 2.627 campos de agricultores en ocho países europeos en el período 2006-2015 no reveló ningún efecto adverso inesperado asociado con el cultivo de MON 810[xiii]. Los resultados confirmaron que el cultivo de MON 810 redujo el uso de pesticidas y aumentó su rendimiento en comparación con el maíz tradicional.

1. Crop Trust: El Crop Trust, oficialmente conocido como Global Crop Diversity Trust, es una organización internacional sin fines de lucro que trabaja para preservar la diversidad de cultivos para proteger la seguridad alimentaria global.

Según el último Informe de ISAAA Briefs los cultivos transgénicos responden a la necesidad del aumento de la producción para combatir el hambre y la desnutrición, Raman señala un aumento del rendimiento global en un 22%, la reducción del uso de pesticidas (ingredientes activos) en un 37% y el impacto ambiental (uso de insecticidas y herbicidas) en un 18%.

Varshney et al, informan que la aplicación de técnicas de GE y GS suponen avances tecnológicos para desarrollar líneas preparadas para combatir el cambio climático y aumentar la tolerancia al estrés (Dwivedi et al). Según Dawson et al, los cultivos GM son resistentes al clima y se pueden adaptar a entornos específicos. También pueden combatir los efectos negativos del aumento de la temperatura en el rendimiento (Asseng et al).

Bailey-Serres et al y Ricroch inciden en la tolerancia de los cultivos transgénicos al estrés biótico (las enfermedades modernas).

También es importante señalar el aumento de la calidad nutricional aportanto por los cultivos GM en las leguminosas según señalan Considine et al, en los cultivos hortícolas según Li et o en los cultivos huérfanos según Mabhaudhi.

5. Discusión

A raíz de los datos aportados en los resultados podemos deducir que son varios los problemas que se asocian a la agricultura industrial intensiva basada en el monocultivo. Los factores reflejados en la Tabla 1 están provocando la degradación y la erosión del suelo cultivable actual y por consiguiente su infertilidad. Esto a su vez se traduce en un estancamiento o declinación de la productividad agrícola.

Se identifican por tanto como vulnerabilidades los impactos negativos asociados a la agricultura industrial y reflejados en la Tabla 1. El área agrícola mundial se estima en 4600 millones de hectáreas, y de esto, alrededor del 30–35% se cultiva. La intensificación de la agricultura es una respuesta a la creciente demanda de alimentos pero es también la causa de la degradación del suelo, lo que lleva a una pérdida temporal o persistente de la capacidad productiva (24).

A menos que estos problemas sean controlados, muchas partes del continente sufrirán con más intensidad la infertilidad del suelo lo que dará lugar a un aumento de la inseguridad alimentaria.

En contraposición los agroecosistemas o la agricultura de conservación ofrecen la posibilidad de regeneración del suelo. Los sistemas agrícolas tradicionales son una rica fuente de prácticas y principios que pueden servir de base para el diseño de sistemas agrícolas adaptados y ayudar a que los sistemas agrícolas modernos sean más resilientes ante la variación climática extrema. Las estrategias agroecológicas utilizadas por estos productores, incluyen la diversificación de cultivos, la integración de los animales silvestres, el mantenimiento de la diversidad genética local, la adición de materia orgánica del suelo, la conservación y la cosecha de agua, etc., siendo éstos la base de la resiliencia de los agroecosistemas tradicionales (23).

Según la FAO la agricultura de conservación es un enfoque del manejo agrícola basado en tres principios básicos:

- Perturbación mínima del suelo: sin labranza o labranza mínima.
- Mantener la superficie del suelo cubierta con mantillo o cultivos de cobertura.
- Uso de rotaciones de cultivos.

Los agroecosistemas biodiversificados, presentan propiedades emergentes que permiten comprender la relación entre resiliencia y biodiversidad por compensación, complementariedad y redundancia.

La implementación de prácticas para incrementar la diversificación de las parcelas, se produce a través del incremento de la variedad genética y la diversidad de especies, como en las mezclas varietales y los policultivos, y en diferentes escalas a nivel de parcelas y paisajes como en el caso de la agrosilvicultura (cultivo-bosque).

En la siguiente ilustración se muestra un esquema de los beneficios de la biodiversidad de cultivos y especies.

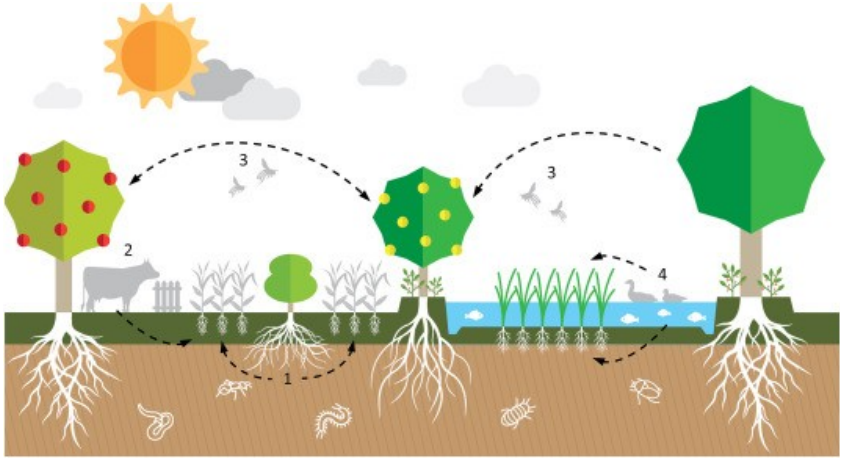

Ilustración 1 Biodiversidad

Esquema que indica un rango de interacciones entre diferentes subcomponentes biológicos en un sistema de cultivo teórico que incluye cultivos, polinizadores animales, árboles, microorganismos subterráneos, ganado y elementos acuáticos. 1: la rizobia fijadora de nitrógeno asociada con un cultivo de leguminosas también proporciona nitrógeno al maíz vecino; 2: el ganado proporciona estiércol para fertilizar la producción de cultivos; 3, los polinizadores de insectos alojados por los árboles polinizan (otros) cultivos de árboles frutales; 4, los peces y los patos fertilizan la producción de arroz y comen plagas de arroz.

Se destacan como principios básicos de los agroecosistemas los siguientes ítems:

- Mejorar el reciclaje de biomasa, con vistas a optimizar la descomposición de la materia orgánica y ciclo de nutrientes.

- Fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas a través de la mejora de la biodiversidad funcional, mediante creando hábitats para enemigos naturales de las plagas.

- Proporcionar las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente mediante el manejo de la materia orgánica y al mejorar la actividad biológica del suelo.

- Minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos al mejorar la conservación y regeneración de los recursos hídricos y del suelo y agrobiodiversidad.

- Diversificar especies y recursos genéticos en el agroecosistema en el tiempo y el espacio, en el campo y nivel del paisaje.

- Mejorar las interacciones biológicas y las sinergias entre los componentes de la agrobiodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos clave.

Por último es fundamental señalar como punto importante para el desafío en la adaptación de la agricultura al cambio climático el desarrollo del cultivo transgénico. La contribución de esta tecnología a la agricultura es muy valiosa para tener una mayor productividad en los cultivos, además de ser una herramienta eficaz, capaz de contribuir con mejores prácticas agrícolas, que reducen la presión ejercida sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

Los beneficios en la adopción de cultivos biotecnológicos también están relacionados con la superación de la crisis alimentaria, por cuanto se genera producción más asequible y aumento de la oferta (incremento de la productividad por hectárea) al tiempo que se reducen los costos de producción (menor necesidad de insumos, menor labranza y menor aplicación de pesticidas), lo que conlleva una reducción en el consumo de combustibles fósiles para los vehículos, contribuyendo, de esta forma, a minimizar algunos de los impactos del cambio climático (53).

En la siguiente ilustración se muestra la situación de los cultivos transgénicos en el mundo.

Ilustración 2 Situación cultivo transgénico en el mundo

El uso de la edición del genoma GE para el desarrollo de nuevas variedades de plantas que cumplan con los desafíos actuales de la producción de alimentos es prometedor teniendo en cuenta que la demanda mundial está experimentando un fuerte crecimiento. Este aumento de la producción debe realizarse preservando el medio ambiente.

Las nuevas tecnologías biogenéticas están orientadas al desarrollo de cultivos con rasgos agrícolas que puedan ayudar a reducir el uso de pesticidas, fertilizantes, agua y nitrógeno y mejorar la calidad y seguridad de los alimentos (47) a la vez reducen los impactos de la agricultura sobre el cambio climático

Todos los artículos incluidos en la Tabla 3 coinciden en la capacidad de la biotecnología para responder a los cambios climáticos que se avecinan ofreciendo resiliencia al agotado sistema de monocultivo actual. Sin embargo, también es conveniente reflejar que se debe hacer un avance a nivel político y social sobre el uso del cultivo transgénico puesto que actualmente está muy limitado.

Es necesario facilitar la investigación y acelerar los procesos para aceptar el cultivo transgénico siempre que responda con seguridad a los desafíos que enfrenta la agricultura.

Desafortunadamente, el desarrollo de nuevas variedades de cultivos mediante la edición del genoma se ha retrasado en muchos países por las estrictas regulaciones de organismos transgénicos en todo el mundo. En la UE, las autorizaciones para nuevas variedades desarrolladas por técnicas de edición del genoma están sujetas a procedimientos de verificación intensivos en tiempo y costo, incluso si el producto está completamente libre de transgenes. El control de cultivos genéticamente modificados en los Estados Unidos se autoriza caso por caso, como se establece en el marco estructurado para el control de la biotecnología.(48)

De cara al futuro sería interesante ampliar los límites de las regulaciones en cuanto a la edición del genoma para acelerar el progreso y la investigación.

Tras el estudio de los beneficios aportados a la producción de alimentos tanto del sistema del sistema de agricultura tradicional como del cultivo transgénico me surge la siguiente duda ¿Sería posible conjugar la agricultura de conservación y el cultivo transgénico?

Puesto que las soluciones aplicables al modelo de agricultura que más resiliencia aportan al cambio climático son los agroecosistemas y las plantas modificadas genéticamente, ¿es posible integrar los cultivos modificados genéticamente dentro de un agroecosistema? ¿Qué consecuencias tendría para el medio ambiente? ¿Cómo podríamos combinar ambos recursos?

6. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación

La aplicación de biotecnología ¿podría incorporarse dentro de un sistema agroecológico? Actualmente los organismos genéticamente modificados se abstienen

por principio dentro del sistema ecológico, pero el desarrollo de razas y variantes genéticas podría tener beneficios adicionales para los cultivos naturales. . Es importante notar que el maíz-*Bt* cultivado cerca de maíz no-*Bt* proporciona a las plantas normales protección indirecta de las pestes.

Conocer información precisa sobre la dinámica y la relación de la diversidad genética de los cultivos en un agroecosistema es esencial para la evaluación de riesgos y las políticas relativas a la coexistencia de los cultivos genéticamente modificados con los cultivos producidos por las prácticas convencionales. Pocos estudios han analizado la diversidad genética de los cultivos en un agroecosistema durante varios años.

Actualmente se define la coexistencia como la capacidad de los agricultores para poder escoger entre la producción de cultivos convencionales, ecológicos, o modificados genéticamente. Como la agricultura es un sistema abierto, la posibilidad de la presencia accidental de cultivos modificados genéticamente en los campos de aquellos no modificados genéticamente existe y por lo tanto es conveniente estudiar y solventar los posibles riesgos potenciales y explotar los beneficios.

El éxito de la coexistencia de diferentes sistemas de producción requiere el respeto mutuo y responsabilidad compartida por todas las partes, la comunicación y la aplicación de prácticas adecuadas.

La biotecnología agrícola (o agrobiotecnología) se usa actualmente en el mejoramiento de nuevos cultivares para incrementar sus rendimientos y eficacia en el uso de insumos, y es muy útil para la caracterización y conservación de los recursos genéticos, y el diagnóstico de las enfermedades y plagas de los cultivos. Se puede considerar a la agrobiotecnología como una evolución de los métodos agrícolas tradicionales. Centrar la evolución de la biotecnología en el desarrollo y práctica de una agricultura sostenible y en consonancia con el medio ambiente debería ser uno de los objetivos de futuro y por lo tanto objeto de estudio.

Una de las primeras preocupaciones con respecto a las plantas genéticamente modificadas sería que el movimiento de transgenes por semillas, polen o incluso individuos pudiera tener consecuencias indeseables en el medio ambiente. Es necesario investigar y controlar estas posibles consecuencias.

Durante los últimos 10.000 años, la humanidad ha empleado su conocimiento sobre las plantas para mejorar la producción de alimentos. Los alimentos producidos con técnicas de biotecnología moderna han estado disponibles a partir de las últimas dos

décadas. La biotecnología moderna, a través de la ingeniería genética, apoya al desarrollo del agro, y contribuye a la agricultura sostenible reduciendo el uso de pesticidas o facilitando prácticas de agricultura de conservación, respondiendo a las exigencias sociales, ya que apunta a la mejora de las características para satisfacer las demandas de los usuarios, y siendo económicamente competitiva y rentable. Los enfoques de ingeniería genética se han aplicado significativamente para desarrollar plantas transgénicas con mayor resistencia contra diferentes respuestas al estrés biótico y abiótico (54).

El desarrollo de cultivos editados con genoma ecológico para luchar contra el cambio climático debería ser objeto de estudio e investigación. Además, mediante reproducción convencional, el ADN segregante de interés puede transferirse a nuevos cultivos sexualmente compatibles, junto con otros fragmentos de ADN indeseables. Este problema puede minimizarse mediante la ingeniería genética, ya que un enfoque transgénico permite la introducción específica de uno o unos pocos fragmentos de ADN específicos entre organismos relacionados estrecha o lejanamente. Sin embargo, los altos costos y el largo tiempo para liberar nuevos cultivos transgénicos son los principales cuellos de botella para este enfoque. Dados estos problemas, la comunidad científica debe buscar nuevas técnicas biotecnológicas que permitan la generación de cultivares de élite libres de transgenes, como la entrega tópica de dsRNA / amiRNA usando nanopartículas transportadoras, la edición del genoma usando estrategias libres de ADN y el posible uso de clean- tecnología genética (55).

Analizar la posible combinación de la biotecnología libre de transgenes con prácticas agrícolas convencionales y sostenibles podría contribuir a la conservación de la biodiversidad y la preservación del medio ambiente es una nueva linea de investigación. Es necesario realizar nuevos estudios sobre la seguridad de combinar los cultivos modificados genéticamente libres de transgenes y prácticas agrícolas más sostenibles.

7. Conclusiones

El actual sistema de agricultura industrial es incompatible a largo plazo con el desarrollo de una agricultura sostenible y respetuosa con el medio ambiente que sea capaz de responder a las demandas de una población creciente. Actualmente el desarrollo intensivo del monocultivo industrial contribuye a potenciar los efectos negativos del cambio climático. Como vulnerabilidades de este sistema agrícola se han detectado en este estudio, la deforestación, la degradación y erosión de la tierra, la compactación del suelo, la emisión de GEI y la pérdida del carbono orgánico del suelo y la biodiversidad. Todos estos factores combinados a largo plazo producen la infertilidad de una cantidad cada vez más elevada del suelo cultivable lo que en un futuro dará lugar al aumento de la inseguridad alimentaria.

En contraposición los agroecosistemas han demostrado la capacidad de mitigar el cambio climático. Los sistemas de labranza tradicionales confieren sostenibilidad al sistema agrícola. Influyen positivamente en el almacenamiento del carbono orgánico del suelo, y en el aumento y conservación de la biodiversidad aportando resiliencia al sistema frente al cambio climático.

Los cultivos transgénicos prometen mitigar los problemas actuales y futuros en la agricultura comercial. Están siendo beneficiosos tanto para la economía como para el medio ambiente. El rendimiento mundial de los cultivos alimentarios (1996–2013) ha aumentado en más de 370 millones de toneladas en un área de superficie relativamente pequeña. Además, se han registrado cultivos modificados genéticamente para reducir los impactos ambientales y ecológicos, gracias a la reducción del uso de pesticidas y herbicidas, lo que conlleva a un aumento en la diversidad de especies. El uso de genotipos para combatir les efectos negativos del aumento de temperatura y la sequía en el rendimiento de los cultivos confiere resiliencia frente al cambio climático.

Los cultivos transgénicos también pueden aportan beneficios de mejora de la calidad nutricional lo que contribuye positivamente a disminuir el hambre y la desnutrición en los países en desarrollo.

Actualmente los cultivos genéticamente modificados están rodeados de muchas incógnitas en cuanto a la seguridad de su uso y sus posibles consecuencias en el medio ambiente. Es necesario realizar más investigaciones que integren este tipo de semillas potenciando el uso de los cultivos libres de transgenes y los métodos de labranza que se adapten mejor al entorno.

También es necesario transmitir seguridad al consumidor frente al uso de los cultivos genéticamente modificados, mediante campañas de información sobre los beneficios de su producción y consumo.

8. Bibliografía

1. cas_report_11_dec.pdf [Internet]. [citado 24 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.un.org/es/climatechange/assets/pdf/cas_report_11_dec.pdf

2. Jentsch A, Beierkuhnlein C. Research frontiers in climate change: Effects of extreme meteorological events on ecosystems. Comptes Rendus Geosci. 1 de septiembre de 2008;340(9):621-8.

3. Vázquez DP, Gianoli E, Morris WF, Bozinovic F. Ecological and evolutionary impacts of changing climatic variability. Biol Rev. 2017;92(1):22-42.

4. ca2607en.pdf [Internet]. [citado 24 de marzo de 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/3/CA2607EN/ca2607en.pdf

5. 4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf [Internet]. [citado 24 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf

6. Cornelissen T. Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. Neotrop Entomol. abril de 2011;40(2):155-63.

7. Gitz V, Meybeck A. Climate change and food security: risks and responses. 2016;6.

8. Nicholas Talbot: «El cambio climático podría hacer desaparecer cultivos de trigo y arroz, necesitamos nuevas variedades» - vLex [Internet]. [citado 18 de marzo de 2020]. Disponible en: https://2019-vlex-com.biblioteca-uoc.idm.oclc.org/#vid/701816293

9. Parker L, Bourgoin C, Martinez-Valle A, Läderach P. Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making. PLOS ONE. 27 de marzo de 2019;14(3):e0213641.

10. Shiva DV. SEEDS OF HOPE, SEEDS OF RESILIENCE. :65.

11. roge_previniendose_2013.pdf [Internet]. [citado 25 de marzo de 2020]. Disponible en: https://cooperativenewschool.com/sites/default/files/publications/roge_previniendose_2013.pdf

12. Nicholls CI, Henao A, Altieri MA. Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. Agroecología. 2015;10(1):7-31.

13. Fanzo J. The role of farming and rural development as central to our diets. Physiol Behav. 1 de septiembre de 2018;193:291-7.

14. Peredo Parada S, Vela Campoy M, Jiménez Gómez A. Determinación de los niveles de resiliencia/vulnerabilidad en iniciativas de agroecología urbana en el suroeste andaluz. Idesia Arica. abril de 2016;34(2):5-13.

15. Choptiany JMH, Phillips S, Graeub BE, Colozza D, Settle W, Herren B, et al. SHARP: integrating a traditional survey with participatory self-evaluation and learning for climate change resilience assessment. Clim Dev. 19 de septiembre de 2017;9(6):505-17.

16. Adger WN. Social and ecological resilience: are they related?: Prog Hum Geogr [Internet]. 1 de julio de 2016 [citado 16 de abril de 2020]; Disponible en: https://journals.sagepub.com/doi/10.1191/030913200701540465

17. Folke C. Resilience: The Emergence of a Perspective for Socio-Ecological Systems Analyses. Glob Environ Change. 1 de agosto de 2006;16:253-67.

18. a-i5126s.pdf [Internet]. [citado 20 de abril de 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf

19. Fellmann T, Witzke P, Weiss F, Van Doorslaer B, Drabik D, Huck I, et al. Major challenges of integrating agriculture into climate change mitigation policy frameworks. Mitig Adapt Strateg Glob Change. 2018;23(3):451-68.

20. Lainez M, González JM, Aguilar A, Vela C. Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation. New Biotechnol. 25 de enero de 2018;40:87-95.

21. Global Forest Resource Assessment 2020 [Internet]. www.fao.org. [citado 7 de mayo de 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020

22. fao.org. SOFO 2018 - El estado de los bosques del mundo 2018 [Internet]. www.fao.org. [citado 4 de mayo de 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/state-of-forests/es/

23. INTA_CIPAF_Belloni_M_Resiliencia_de_los_Sistemas_Agroecológicos_ante_el_Cambio_Climático.pdf [Internet]. [citado 7 de mayo de 2020]. Disponible en: https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/4724/INTA_CIPAF_Belloni_M_Resiliencia_de_los_Sistemas_Agroecol%C3%B3gicos_ante_el_Cambio_Clim%C3%A1tico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

24. Ferreira CSS, Pereira P, Kalantari Z. Human impacts on soil. Sci Total Environ. 10 de diciembre de 2018;644:830-4.

25. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estado mundial del Recurso Suelo: resumen técnico. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 2016.

26. Altieri MA, Nicholls CI, Henao A, Lana MA. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. Agron Sustain Dev. 1 de julio de 2015;35(3):869-90.

27. Burns F, Eaton MA, Barlow KE, Beckmann BC, Brereton T, Brooks DR, et al. Agricultural Management and Climatic Change Are the Major Drivers of Biodiversity Change in the UK. PLoS ONE [Internet]. 23 de marzo de 2016 [citado 15 de abril de 2020];11(3). Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4805165/

28. Recanati F, Guariso G. An optimization model for the planning of agroecosystems: Trading off socio-economic feasibility and biodiversity. Ecol Eng. 1 de julio de 2018;117:194-204.

29. Dawson IK, Park SE, Attwood SJ, Jamnadass R, Powell W, Sunderland T, et al. Contributions of biodiversity to the sustainable intensification of food production. Glob Food Secur. 1 de junio de 2019;21:23-37.

30. Hufford MB, Berny Mier y Teran JC, Gepts P. Crop Biodiversity: An Unfinished Magnum Opus of Nature. Annu Rev Plant Biol. 2019;70(1):727-51.

31. Farah FT, Muylaert R de L, Ribeiro MC, Ribeiro JW, Mangueira JR de SA, Souza VC, et al. Integrating plant richness in forest patches can rescue overall biodiversity in human-modified landscapes. For Ecol Manag. 1 de agosto de 2017;397:78-88.

32. Pérez VG. Evidencias agroecologicas para la agricultura del futuro [Internet] [http://purl.org/dc/dcmitype/Text]. Universidad Miguel Hernández; 2017 [citado 6 de mayo de 2020]. p. 1. Disponible en: http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=134997

33. Beckmann M, Gerstner K, Akin-Fajiye M, Ceaușu S, Kambach S, Kinlock NL, et al. Conventional land-use intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis. Glob Change Biol. 2019;25(6):1941-56.

34. Gollany HT, Venterea RT. Measurements and Models to Identify Agroecosystem Practices That Enhance Soil Organic Carbon under Changing Climate. J Environ Qual. 2018;47(4):579-87.

35. Kazemi H, Klug H, Kamkar B. New services and roles of biodiversity in modern agroecosystems: A review. Ecol Indic. 1 de octubre de 2018;93:1126-35.

36. Kahiluoto H, Kaseva J, Olesen JE, Kersebaum KC, Ruiz-Ramos M, Gobin A, et al. Reply to Snowdon et al. and Piepho: Genetic response diversity to provide yield stability of cultivar groups deserves attention. Proc Natl Acad Sci. 28 de mayo de 2019;116(22):10627-9.

37. Nicholls CI, Henao A, Altieri MA. Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. Agroecología. 2015;10(1):7-31.

38. ISAAA-Brief-54-Executive-Summary_August232019.pdf [Internet]. [citado 7 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.agrobio.org/wp-content/uploads/2019/08/ISAAA-Brief-54-Executive-Summary_August232019.pdf

39. Bailey-Serres J, Parker JE, Ainsworth EA, Oldroyd GED, Schroeder JI. Genetic strategies for improving crop yields. Nature. noviembre de 2019;575(7781):109-18.

40. Mabhaudhi T, Chimonyo VGP, Hlahla S, Massawe F, Mayes S, Nhamo L, et al. Prospects of orphan crops in climate change. Planta. 2019;250(3):695-708.

41. Raman R. The impact of Genetically Modified (GM) crops in modern agriculture: A review. GM Crops Food. 2 de octubre de 2017;8(4):195-208.

42. Varshney RK, Singh VK, Kumar A, Powell W, Sorrells ME. Can genomics deliver climate-change ready crops? Curr Opin Plant Biol. 1 de octubre de 2018;45:205-11.

43. Dawson IK, Russell J, Powell W, Steffenson B, Thomas WTB, Waugh R. Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytol. mayo de 2015;206(3):913-31.

44. Asseng S, Martre P, Maiorano A, Rötter RP, O'Leary GJ, Fitzgerald GJ, et al. Climate change impact and adaptation for wheat protein. Glob Change Biol. 2019;25(1):155-73.

45. Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Zou X, Zhang X, Lv Y, et al. Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. Plants [Internet]. 30 de enero de 2019 [citado 11 de mayo de 2020];8(2). Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6409995/

46. Considine MJ, Siddique KHM, Foyer CH. Nature's pulse power: legumes, food security and climate change. J Exp Bot. 1 de abril de 2017;68(8):1815-8.

47. Ricroch A. Global developments of genome editing in agriculture. Transgenic Res. 1 de agosto de 2019;28(2):45-52.

48. Ahmar S, Gill RA, Jung K-H, Faheem A, Qasim MU, Mubeen M, et al. Conventional and Molecular Techniques from Simple Breeding to Speed Breeding in Crop Plants: Recent Advances and Future Outlook. Int J Mol Sci [Internet]. 8 de abril de 2020 [citado 11 de mayo de 2020];21(7). Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7177917/

49. Dwivedi SL, Siddique KHM, Farooq M, Thornton PK, Ortiz R. Using Biotechnology-Led Approaches to Uplift Cereal and Food Legume Yields in Dryland Environments. Front Plant Sci [Internet]. 27 de agosto de 2018 [citado 11 de mayo de 2020];9. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6120061/

50. Haque E, Taniguchi H, Hassan MdM, Bhowmik P, Karim MR, Śmiech M, et al. Application of CRISPR/Cas9 Genome Editing Technology for the Improvement of Crops Cultivated in Tropical Climates: Recent Progress, Prospects, and Challenges. Front Plant Sci [Internet]. 8 de mayo de 2018 [citado 11 de mayo de 2020];9. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5952327/

51. Li Q, Sapkota M, van der Knaap E. Perspectives of CRISPR/Cas-mediated cis-engineering in horticulture: unlocking the neglected potential for crop improvement. Hortic Res [Internet]. 15 de marzo de 2020 [citado 11 de mayo de 2020];7. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7072075/

52. Bertho L, Schmidt K, Schmidtke J, Brants I, Cantón RF, Novillo C, et al. Results from ten years of post-market environmental monitoring of genetically modified MON 810 maize in the European Union. PLoS ONE. 2020;15(4).

53. Cuéllar Saavedra JE. Agricultura transgénica. Una valoración bioética del caso colombiano. Transgenic Agric Bioethical Assess Colomb Case. julio de 2018;18(35-2):210-25.

54. Ortiz R. La adopción de la biotecnología moderna y su compatibilidad con una agricultura sustentable. Idesia Arica. diciembre de 2012;30(3):3-10.

55. Basso MF, Arraes FBM, Grossi-de-Sa M, Moreira VJV, Alves-Ferreira M, Grossi-de-Sa MF. Insights Into Genetic and Molecular Elements for Transgenic Crop Development. Front Plant Sci [Internet]. 2020 [citado 21 de junio de 2020];11. Disponible en: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00509/full

i **GEI**: gases efecto invernadero
ii **COS**: carbono orgánico del suelo

iii **COS**: carbono orgánico del suelo
iv **N**: nitrógeno

v **GS**: Selección genómica

vi **GE**: Edición del genoma

vii **DArt**: Diversity Array Tecnology.

viii **SNP**: Poliformismo de un solo nucleótido

ix **GBS**: Genotipado por secuenciación

x **GWAS**: Asociación amplia de genoma

xi **CRISP**: Técnicas de edición de genoma de repeticiones palindrómicas cortas agrupadas regularmente entrecruzadas

xii **CAS**: Proteína asociada a CRISP

xiii **MON 810**: Maíz modificado genéticamente.