



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL OLIVAR ANDALUZ

Alumno/a: Antonio José López Bueno

Tutor/a: Prof. D. Julio Antonio Calero González

Dpto: Geología

Septiembre, 2023



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

**Máster Universitario en Análisis, Conservación y Restauración de
Componentes Físicos y Bióticos de los Hábitats**

Trabajo Fin de Máster

ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL OLIVAR ANDALUZ

Fdo.: Antonio José López Bueno

(alumno/a)

Fdo.: Julio A. Calero González

(tutor/a)

Jaén, septiembre, 2023

RESUMEN

El cambio climático es uno de los problemas que más preocupa a la sociedad actualmente. Es tal su importancia que la ONU lo considera un objetivo de desarrollo sostenible por sí mismo (el número 13) que a su vez influye en otros de estos objetivos. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) desarrolla periódicamente informes con la información más actualizada sobre este tema. Para alcanzar un escenario climático favorable se deben reducir enormemente las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). Para cumplir esta tarea existen varios mecanismos de mitigación y adaptación al cambio climático, incluyendo técnicas de captura de carbono.

El olivar es el cultivo leñoso más importante en España, cobrando especial relevancia en Andalucía. El cambio climático puede provocar muchos efectos negativos sobre este cultivo; sin embargo, también tiene un gran potencial para crear ecosistemas que reduzcan la huella de carbono. Esta huella junto con los créditos de carbono conforman las mayores herramientas para alcanzar un futuro sostenible.

Palabras clave: cambio climático, carbono, olivar andaluz, mecanismos de captura de CO₂, modelos climáticos

ABSTRACT

Nowadays, climate change is one of the problems that worries the society the most. It is such important that the United Nations (UN) considers it a sustainable development goal itself (number 13), which also influences other of these goals. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) periodically develops reports with the most up-to-date information about this topic. To achieve a favorable climate scenario, greenhouse gas (GHG) emissions must be greatly reduced. To accomplish this task, there are several climate change mitigation and adaptation mechanisms, including carbon capture techniques.

Olives are the most important woody crop in Spain, having special relevance in Andalusia. Climate change can cause many negative effects on this crop; however, it also has great potential to create ecosystems that reduce the carbon footprint. This footprint along with carbon credits make up the greatest tools to achieve a sustainable future.

Keywords: Climate change, carbon, Andalusian olives, CO₂ capture mechanisms, climates models

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Marco conceptual	1
1.2. Antecedentes	6
1.3. Justificación	7
2. OBJETIVOS	21
3. METODOLOGÍA	22
4. RESULTADOS	23
4.1. Modelos del IPCC y escenarios planteados a corto (2030), medio (2050) y largo plazo (2100)	23
4.2. Mecanismos de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Tecnologías de captura de carbono	30
4.3. Predicciones a nivel regional (Andalucía) de los modelos del IPCC	34
4.4. Efectos previsibles del Cambio Climático en el olivar de Andalucía	38
4.5. Huella de carbono en el olivar de Andalucía: metodologías de cálculo	39
4.6. Posibilidades de negocio en relación con los créditos de carbono (offsets credits) en los mercados voluntarios de carbono	43
5. DISCUSIÓN	46
6. CONCLUSIÓN	50
7. BIBLIOGRAFÍA	51

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco conceptual

En este apartado se van a definir los cuatro conceptos principales de esta revisión bibliográfica, que conforman su base teórica. Estos son: el cambio climático, modelos de evolución climática, huella de carbono y créditos de carbono.

Cambio climático

El "cambio climático" se define como un cambio de la climatología que se atribuye a la actividad humana, ya sea de forma directa o indirecta, y que altera la composición de la atmósfera mundial, sumándose además a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (ACNUR, n.d.).

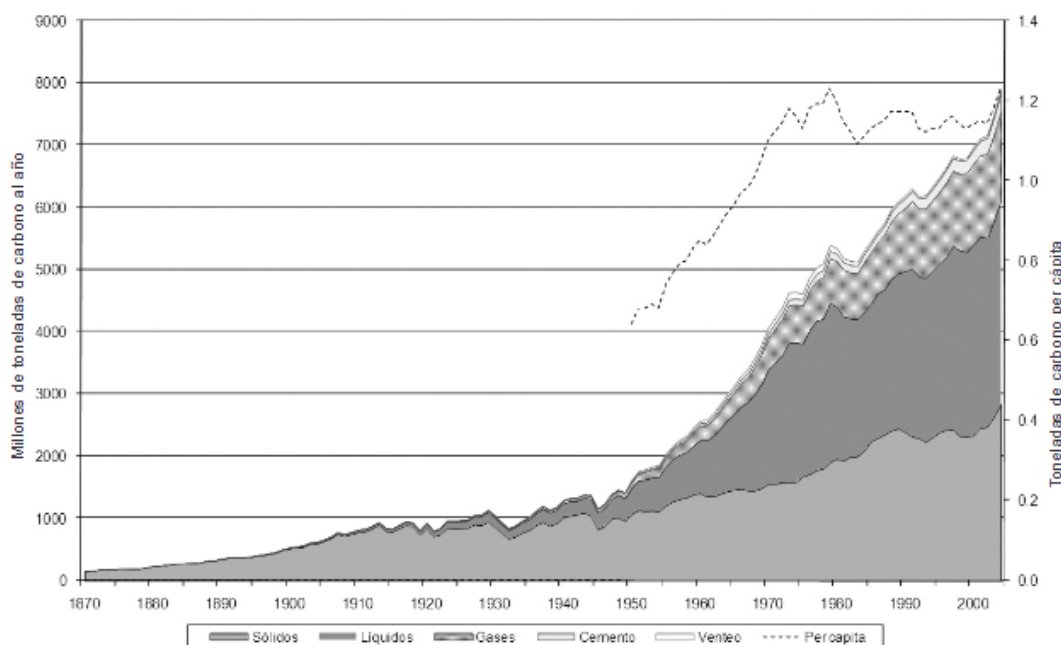


Figura 1. Emisiones de carbono de origen antrópico desde 1870 (Power-Porto, 2009).

En 1979, la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) organizó la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima. En esta expresaron la preocupación de que “la continua expansión de las actividades humanas en la tierra pueda causar cambios climáticos significantes en regiones extensas e incluso globalmente” (IPCC, 2004).

Esta declaración afirmaba una evidente influencia humana en el cambio climático. A pesar de que el clima no es algo estático, sino que ha experimentado cambios a lo largo de toda su historia (pasando de épocas glaciales a tropicales, y viceversa), siempre tardaban miles o millones de años en transcurrir dichos cambios.

No obstante, la Revolución Industrial comenzada en 1789 aumentaron significativamente la velocidad de este cambio climático. A esto le precedió un aumento de la población mundial que actuó de catalizador para este cambio. Asimismo, en la primera mitad del siglo XIX, muchos gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono y el óxido nitroso, se comenzaron a emitir en los nuevos procesos industriales desarrollados durante ese período. Esto último produjo un desequilibrio aún mayor en la atmósfera, incapaz de regular una cantidad tan alta de estos gases. Todos los gases acumulados provocaron el conocido efecto invernadero, aumentando la temperatura del planeta (véase la *Figura 3*).



Figura 2. Efecto invernadero representado visualmente. Se puede observar como los gases de efecto invernadero impiden que parte de la radiación reflejada se libere al espacio, lo que provoca un aumento de la temperatura del planeta (Fuente: https://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Efecto_invernadero.htm).

Este aumento de temperatura fue incrementando de manera exponencial a lo largo de los años, ya que cada vez se expulsaban a la atmósfera más gases de efecto invernadero (procedentes de varias actividades del ser humano como el uso de vehículos, la quema de combustibles, las actividades ganaderas y agrícolas, etc.).

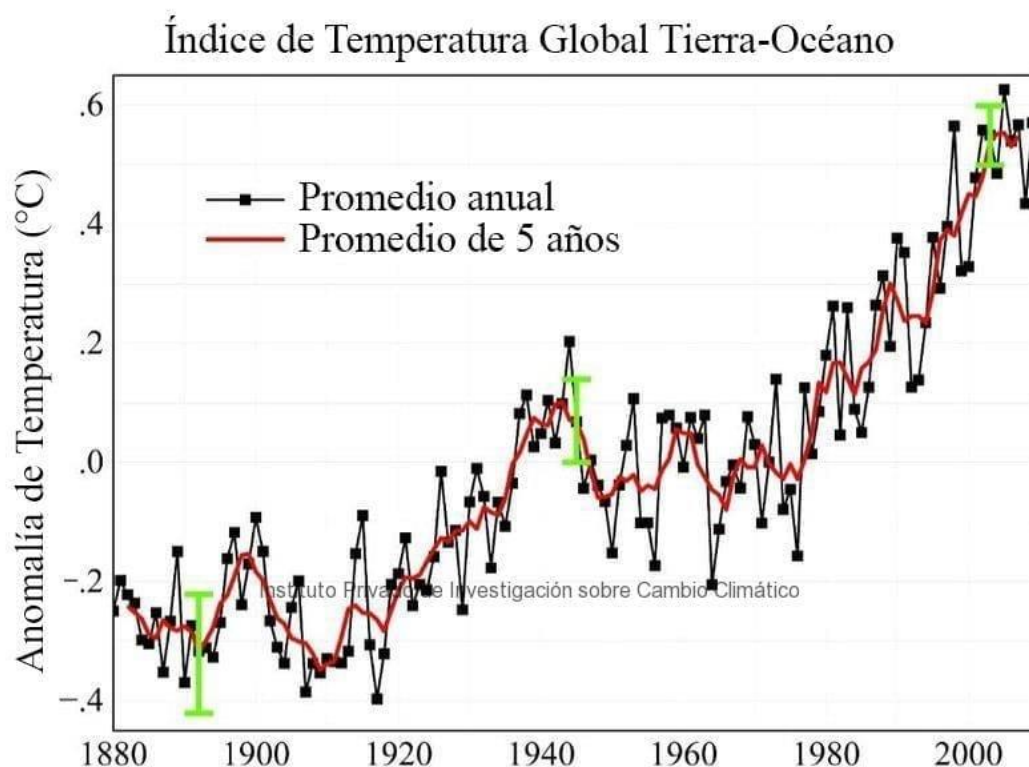


Figura 3. Evolución de la temperatura desde 1880 (ICC, 2018).

Sin embargo, no todos los países emiten por igual los gases de efecto invernadero, sino que los países más industrializados producen una cantidad mucho mayor que el resto (véase la Figura 4).

Puesto	País	MtCO ₂
1	China	10151
2	Estados Unidos de América	5312
3	India	2431
4	Rusia	1635
5	Japón	1209
6	Alemania	802
7	Irán	656
8	Arabia Saudita	634
9	Corea del Sur	595
10	Canadá	563
88	Guatemala	19

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

Figura 4. Listado de países emisores de gases de efecto invernadero del mundo (EPA, 2023).

Al ser responsables de la mayor parte de estas emisiones, los seres humanos debemos contribuir para intentar mitigar este cambio y adaptarse a él. Para ello, debemos reducir las actividades que emitan gases, evitar el uso de automóviles siempre

que sea posible, aumentar las restauraciones y conservaciones de los ecosistemas, etc. (ICC, 2018).

El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO_2), por ello muchas de las acciones para mitigar el cambio climático giran en torno a este gas, como se mostrará en posteriores apartados. El problema radica en que el ser humano altera el ciclo del natural del carbono, sumando más CO_2 a la atmósfera al mismo tiempo que dificulta la acción de los disipadores naturales, por ejemplo, con la tala excesiva de bosques (Miller et al., 2016).

Estas emisiones proceden principalmente de actividades como la combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) con fines energéticos y de transporte, aunque también existen ciertos procesos industriales y cambios en el uso de la tierra que emiten CO_2 . Por ejemplo, en Estados Unidos las principales emisiones de CO_2 son el transporte, la electricidad y las industrias. Sin embargo, esto se podría extrapolar al resto de países desarrollados.

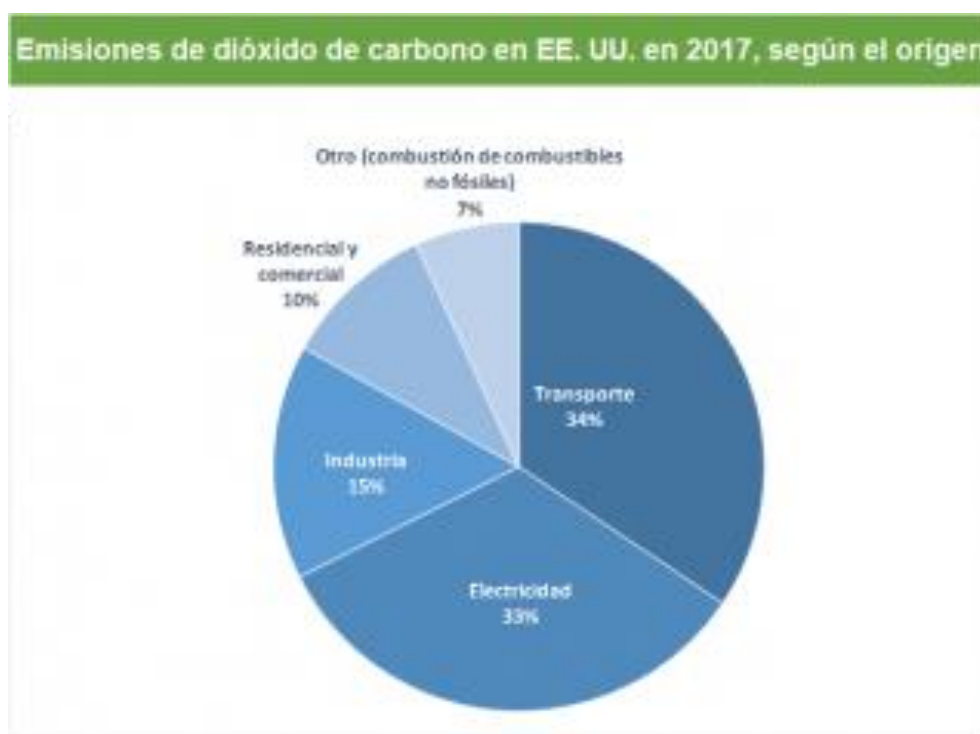


Figura 5. Origen de las emisiones de CO_2 en Estados Unidos en 2017 (EPA, 2023).

Modelos de evolución

Se tratan de unas herramientas desarrolladas por la comunidad científica con la finalidad de simular el sistema climático y replicar las alteraciones observadas. Estos se basan en modelos fisicomatemáticos sobre el clima que son capaces de reproducir la dinámica de los componentes de este, especialmente la atmósfera y el océano. A su vez, estos modelos confirman la influencia antrópica en el cambio climático, como comentamos previamente. Del mismo modo, son capaces de generar proyecciones sobre la evolución futura de dicho cambio. Actualmente, estos modelos conforman el único mecanismo disponible para intentar cuantificar el cambio climático en el futuro (Gutiérrez & Pons, 2006).

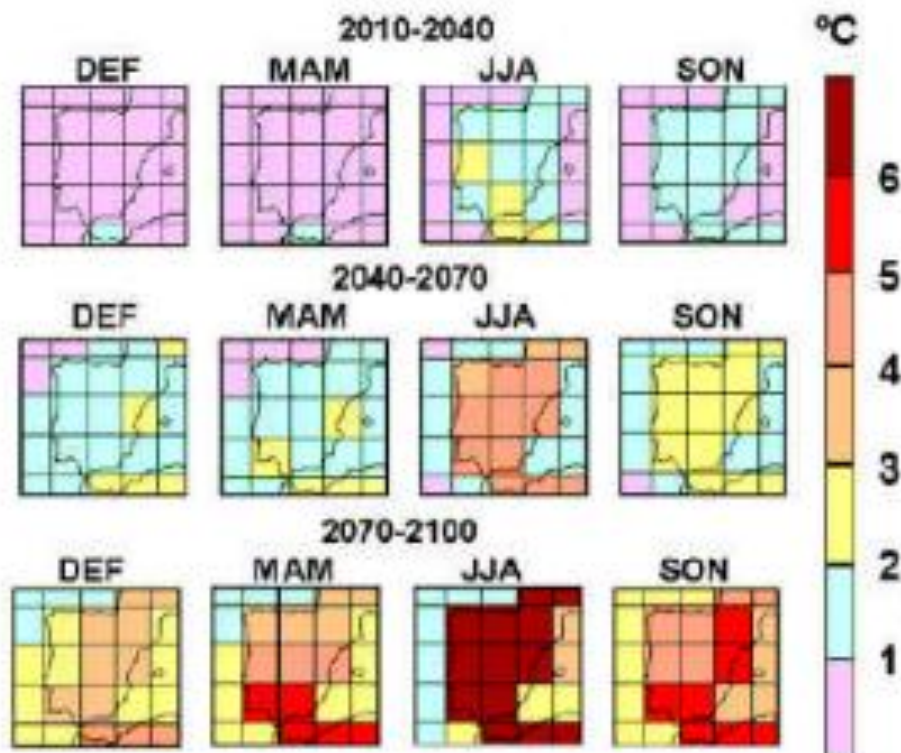


Figura 6. Representación del incremento de temperatura en la Península Ibérica durante diferentes períodos del siglo XXI, realizado por un modelo climático de predicción para un escenario específico (Gutiérrez & Pons, 2006).

Huella de carbono

La Huella de Carbono indica la cantidad de gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera como resultado de actividades relacionadas con la producción o consumo de bienes y servicios. Se considera una herramienta determinante en la medición de las emisiones de estos gases. En el protocolo de Kioto en 1997, se establecieron todos los gases de efecto invernadero, los cuales se acumulan en la atmósfera y retienen parte de la radiación solar reflejada por la Tierra, provocando un aumento de la temperatura en el planeta (Espíndola & Valderrama, 2012).

Créditos de carbono

Los créditos de carbono o *carbon* offsets se crearon como una nueva interfaz socioecológica en la gestión del medio ambiente y la economía. Estos créditos tienen el objetivo de actuar como herramientas de gestión del cambio climático, contribuyendo a su vez al desarrollo sostenible internacional. Lo ideal para tener un funcionamiento correcto de esta herramienta es promoverla como un canal de financiación para el desarrollo sostenible a nivel local en los países en desarrollo. Sin embargo, estos créditos pueden conllevar problemas éticos, ya que aquel con la solvencia económica suficiente para comprar más créditos puede permitirse seguir contaminando.

Su funcionamiento no es muy sencillo, ya que se centran en crear reducciones de emisiones de carbono, cuya equivalencia en toneladas de dióxido de carbono puede comercializarse. No deben confundirse con los derechos de emisión asignados por los gobiernos, ya que estos créditos emplean tecnologías específicas para que las emisiones producidas en proyectos específicos se vean reducidas. Las características de cada proyecto centrado en evitar emisiones son las que darán lugar a una mayor o menor producción de estos créditos de carbono (Bumpus, 2011).

1.2. Antecedentes

El cambio climático es un tema de gran relevancia y muy actual, por ello se pueden encontrar varias revisiones bibliográficas que recopilan información sobre este tema. Sin embargo, al ser un problema de magnitud global, acaba afectando a muchos sectores, desde lo socioeconómico hasta lo ecológico; por lo que cada revisión tiene un enfoque diferente en función de la finalidad que los autores querían darle a esta. En este apartado se van a comentar algunas de las revisiones más notables encontradas en materia de cambio climático.

Existe una revisión bibliográfica similar a la de este trabajo, desarrollada por unos autores peruanos, que expone la problemática del cambio climático, pero en lugar de enfocarse en el olivar lo hace en las fincas cafetaleras. En este caso, dieron este enfoque puesto que el café es el mayor producto de exportación de Perú. Además, menciona, aunque de manera muy breve, algunas prácticas para llevar a cabo que puedan contrarrestar estos efectos negativos del cambio climático (Rojas et al., 2021).

Asimismo, también se puede encontrar una revisión muy similar a la de este trabajo, donde habla de los impactos del cambio climático sobre el olivar y las posibles estrategias para adaptarse a este. Sin embargo, trata estas soluciones desde un punto de vista agrónomo, y no incluye apartados que hablen sobre la huella de carbono o el mercado de carbono (Fraga et al., 2020).

Por otro lado, Benevolenza y DeRigne (2019) realizaron una revisión bibliográfica sobre el cambio climático. En esta recopilaban diferentes estudios, tanto del propio cambio climático como de numerosos desastres naturales, que hablaban del impacto que estos tienen para la salud física y mental de los seres humanos. Pese a ser una revisión bibliográfica que se centra en el cambio climático, tal y como la de este TFM, está enfocada en otro punto de vista diferente, como es la salud pública.

1.3. Justificación

Como se ha podido observar en el apartado anterior, existen varias revisiones bibliográficas sobre el cambio climático, debido a que, como ya comentamos previamente, se trata de un tema de actualidad y que cada vez cobra mayor relevancia. No obstante, al ser un tema tan amplio y que afecta a diferentes ámbitos, cada una de estas revisiones tiene una perspectiva distinta.

Igualmente, no se han encontrado revisiones que abarquen tanto los efectos del cambio climático como sus posibles soluciones desde una perspectiva amplia (aquellas revisiones que incluyen soluciones, sólo las tienen en cuenta desde un punto de vista específico, como el del bienestar humano o el agrónomo enfocado en el manejo del cultivo). La revisión realizada en este TFM abarcará esos temas, además de otros muy relacionados con ellos, como la huella de carbono o los créditos de carbono, con la intención de crear un documento más completo.

Todo lo mencionado en el párrafo anterior hace que esta revisión bibliográfica sea única e innovadora, ya que recopila más información importante para el cambio climático que el resto.

A su vez, hay que recalcar que toda la información sobre el cambio climático se va a tratar en el contexto del olivar andaluz, lo cual no va a restarle trascendencia a este trabajo convirtiéndolo en uno específico sobre el olivar (ya que se podrá encontrar información general sobre los temas tratados y, además, la mayor parte de la información orientada al olivar será aplicable en cualquier tipo de cultivo, incluso pudiendo extrapolarse a otros ecosistemas), sino que más bien, va a aportarle la gran relevancia que tiene este cultivo en toda la cuenca mediterránea, más concretamente en Andalucía.

Habiendo dejado claro, las cualidades que hacen innovadora esta revisión bibliográfica, es el turno de profundizar en los temas elegidos para esta, como son el cambio climático y el olivar andaluz.

Cambio climático

En primera instancia, hay que recordar la gran importancia y el alcance que tiene el cambio climático. Para ello, se van a mostrar a continuación varias de las consecuencias que este produce, para entender que no se trata de un tema banal. Cabe destacar, que se van a comentar efectos en general, ya que posteriormente el apartado 4.4 se centrará en los efectos que el cambio climático produce sobre la agricultura, enfocándolo desde el punto de vista del olivar.

Estas adversidades afectan a todos los sectores de la sociedad, incluyendo los sectores de la economía. Como se acaba de comentar uno de los sectores más afectados es el de la agricultura; el IPCC (2019) elaboró un informe especial donde trata a fondo las consecuencias que afectan a este campo, como la sequía, la persistencia del calor o la degradación de la tierra. Por otro lado, Bahri et al. (2012) describieron cómo las consecuencias del cambio afectan a la pesca y la acuicultura; de igual modo, Sánchez et al. (2020) comentaron unos años más adelante los efectos negativos que esta problemática acarrea a la producción pecuaria y la salud de los animales.

En el último artículo mencionado, se puede encontrar una tabla que muestra una serie de enfermedades animales afectadas por el cambio climático. Lo interesante en este caso, es que incluye una columna que aporta información sobre el potencial zoonótico (la capacidad de una enfermedad de pasar de un animal al ser humano) de la enfermedad en cuestión. Dicho de otra forma, las consecuencias del cambio climático en este ámbito trascenderían una barrera, pasando de afectar a los animales a poder suponer un problema para la salud humana.

Clasificación	Enfermedad	Agente causal	Vector	Zoonosis
Enfermedades transmitidas por vectores	Lengua azul	Virus de la lengua azul (<i>Orbivirus</i>)	Jején del género <i>Culicoides</i>	No
	Peste equina	Virus de la peste equina (<i>Orbivirus</i>)	Jején del género <i>Culicoides</i> . También se ha reportado transmisión ocasional por mosquitos (<i>Culex</i> , <i>Anopheles</i> , <i>Aedes</i> spp.) y garrapatas (<i>Hyalomma</i> , <i>Rhipicephalus</i>).	No
	Fiebre del Valle de Rift	Virus de la fiebre del valle de Rift (<i>Phlebovirus</i>)	Mosquitos (<i>Aedes</i> spp.)	Sí
	Infección por el virus del Nilo Occidental	Virus del Nilo Occidental (<i>Flavivirus</i>)	Mosquitos (<i>Culex</i> spp.)	Sí
	Encefalitis equina venezolana	Virus de la encefalitis equina venezolana (<i>Alphavirus</i>)	Mosquitos (<i>Aedes</i> spp., <i>Culex</i> spp.)	Sí
	Enfermedad de Chagas	<i>Trypanosoma cruzi</i>	Chinches de la subfamilia Triatominae	Sí
	Leishmaniasis	Protozoo del género <i>Leishmania</i>	Flebótomo del género <i>Lutzomyia</i>	Sí

Figura 7. Fragmento de la tabla de las principales enfermedades animales afectadas por el cambio climático. En la parte derecha de esta tabla, se puede observar la columna denominada “Zoonosis”, ya comentada en el párrafo anterior (Sánchez et al., 2022).

La zoonosis es una consecuencia indirecta del cambio climático sobre la salud humana, ya que en primera instancia lo que sucede es un incremento o surgimiento de enfermedades con esta capacidad infectiva. Sin embargo, también existe consecuencias directas sobre nuestra salud. Estas consecuencias varían desde el incremento de enfermedades infecciosas, utilizando vectores como los mosquitos (Meléndez-Herrada et al. 2010); o el aumento de casos de cáncer y problemas dermatológicos debido al incremento de radiación ultravioleta (Veliz&Bianchetti, 2013),

debido a su vez a la reducción de la capa de ozono por culpa de los gases de efecto invernadero como los fluorocarbonos, más conocidos como CFC (Anwar et al., 2015); hasta incluso el impacto sobre la salud mental, pudiendo llegar a ocasionar trastornos mentales de diferente gravedad (Cianconi&Janiri, 2020).

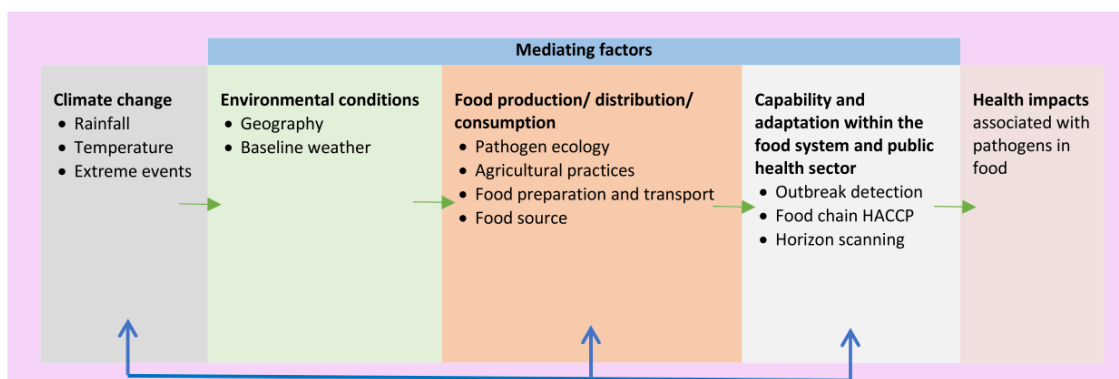


Figura 8. Vías por las cuales el cambio climático puede afectar a la salud humana. En este caso se centra en enfermedades alimentarias, pero el cambio climático puede afectar a otros tipos de enfermedades siguiendo otras vías (Lake & Barker, 2018).

El cambio climático también podría tener consecuencias sobre el sector terciario, llegando incluso a afectar al turismo de un país, como ya estudió Da Cruz (2009) para el caso de Brasil. Esto podría suponer una pérdida de ingresos bastante alta, ya que como concluyen Andrade et al. (2019) en su estudio, el turismo supone una variable muy importante para el impulso económico de un país.

Al igual que el cambio climático nos afecta a los humanos, también afecta al resto de seres vivos. De hecho, existen estudios que predicen la pérdida de biodiversidad que se producirá por culpa del cambio climático. Como se puede observar en la *Figura 9* la mayor parte de las extinciones de especies se producirán debido a esta problemática. Hay que tener en cuenta que hay varios factores que hacen que se extinga una especie, como la pérdida de hábitats o la extinción de una especie por la desaparición de otra (coextinción), y el cambio climático puede afectar negativamente a la mayoría de ellos, convirtiéndose en un problema crucial para la biodiversidad (Bellard et al., 2012). A su vez, esta pérdida de biodiversidad mermará los servicios ecosistémicos existentes en los hábitats donde se produzca, algo muy inoportuno para el ser humano. De hecho, estos sucesos irían en contra de los ya existentes esfuerzos que se producen en todo el mundo para conseguir el resultado opuesto, es decir, aumentar la biodiversidad para así potenciar dichos servicios ecosistémicos (Rey Benayas, 2012).

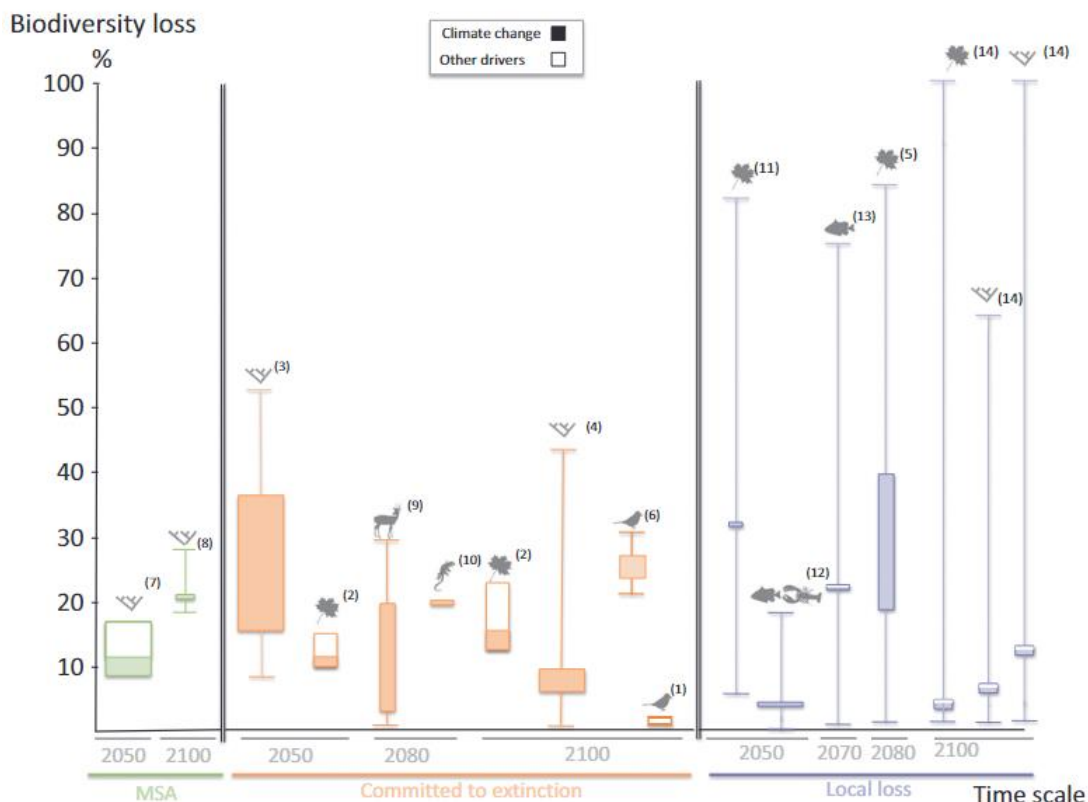


Figura 9. Proyecciones de la pérdida de biodiversidad asociada al cambio climático para diferentes taxones y escalas espaciales y temporales (Bellard et al., 2012).

A parte de las adversidades ya mencionadas que podríamos decir que conforman un problema en sí mismo, el cambio climático puede dar lugar a una serie de sucesos con el potencial de alterar el equilibrio de todo el planeta. En un artículo reciente, Ditlevsen & Ditlevsen (2023) hablan sobre el posible colapso de la circulación de vuelco meridional del Atlántico, con las subsecuentes secuelas que esto traería consigo. Además, una de las funciones de esta corriente es compensar el calentamiento global (véase la Figura 10), por lo que su colapso, entre otras consecuencias, daría lugar a una retroalimentación negativa que agravaría los problemas del cambio climático. Una de las causas que podrían hacer posible este colapso sería el calentamiento de la época fría del año, el invierno; lo cual acabaría produciendo el derretimiento del permafrost, es decir, las masas de agua que permanecen congeladas todo el año (Pascual & Johansson, 2022), las cuales acabarían llegando a los océanos alterado el equilibrio de sus corrientes, como se ha mencionado anteriormente.

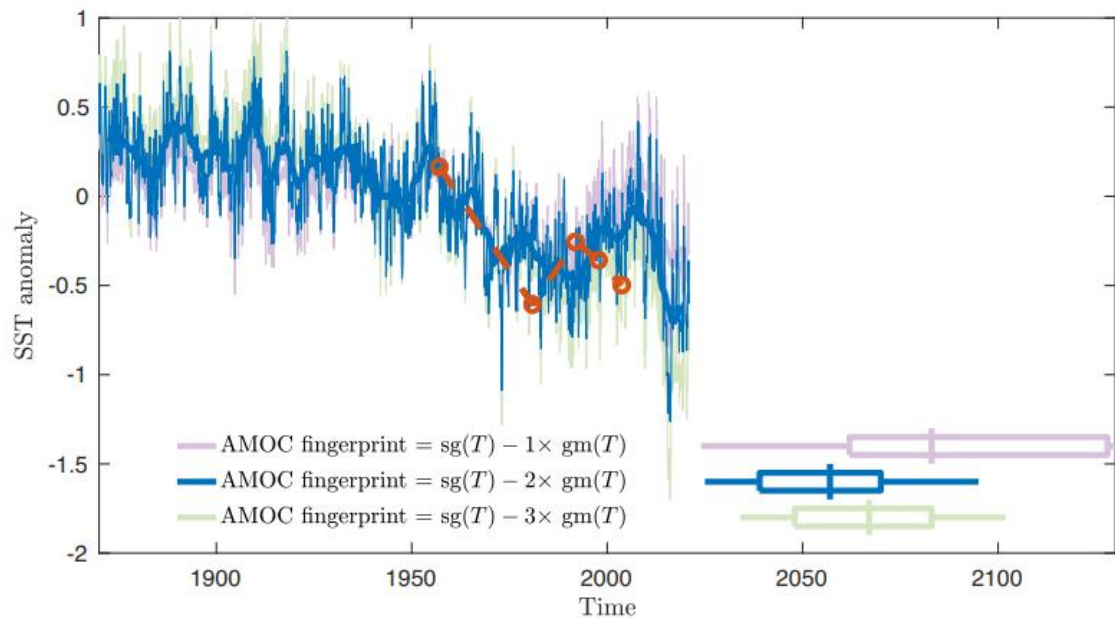


Figura 10. Compensación del calentamiento global producida gracias a la corriente de vuelco meridional Atlántica (Ditlevsen & Ditlevsen, 2023).

Todas estas consecuencias que acarrea el cambio climático provienen de los propios factores intrínsecos que definen a este. El más conocido, es el calentamiento global, caracterizado por el aumento excesivo de las temperaturas debido a la actividad humana (Need, n. d.). Una de las pruebas más fehacientes es el incremento del número y la duración de las olas de calor, que se ha hecho más acuciado durante los últimos años, como puede observar en la *Figura 11* y la *Figura 12*.

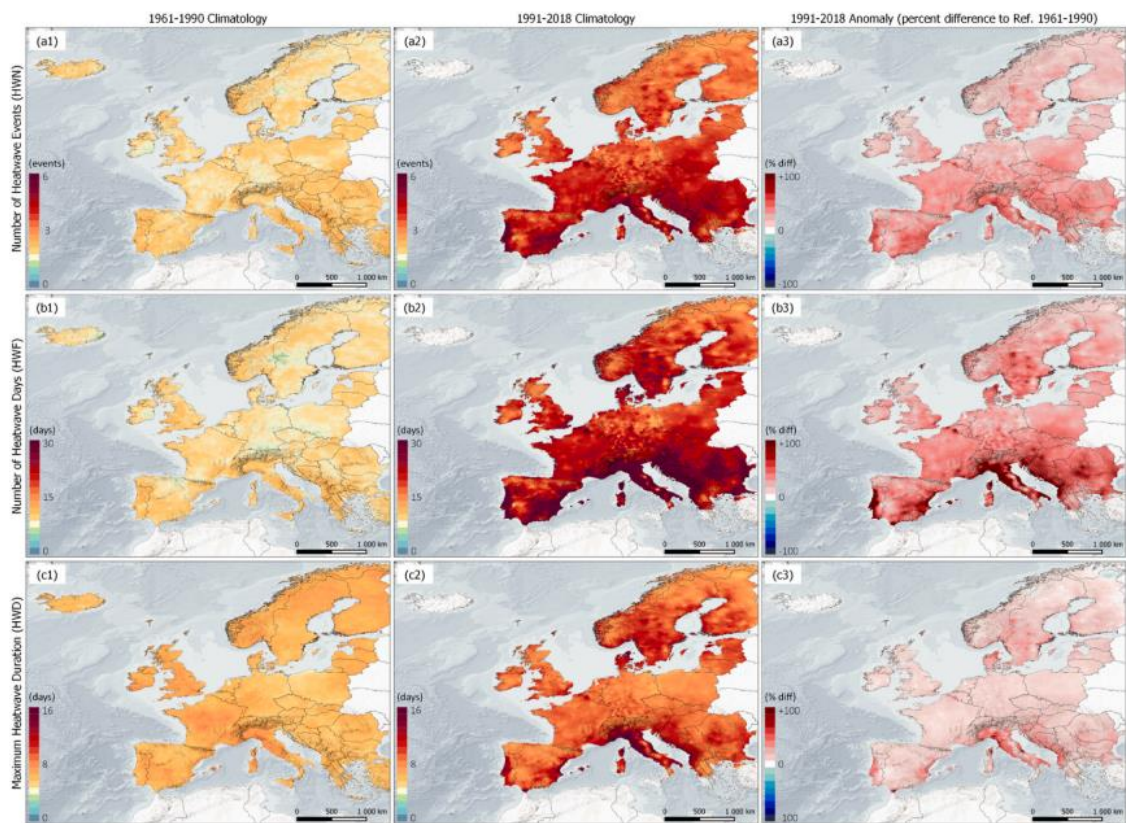


Figura 11. Evolución de la climatología en los últimos años. Incluye el porcentaje de diferencia (anomalía) de las variables observadas en los dos períodos estudiados (Oliveira et al., 2022).

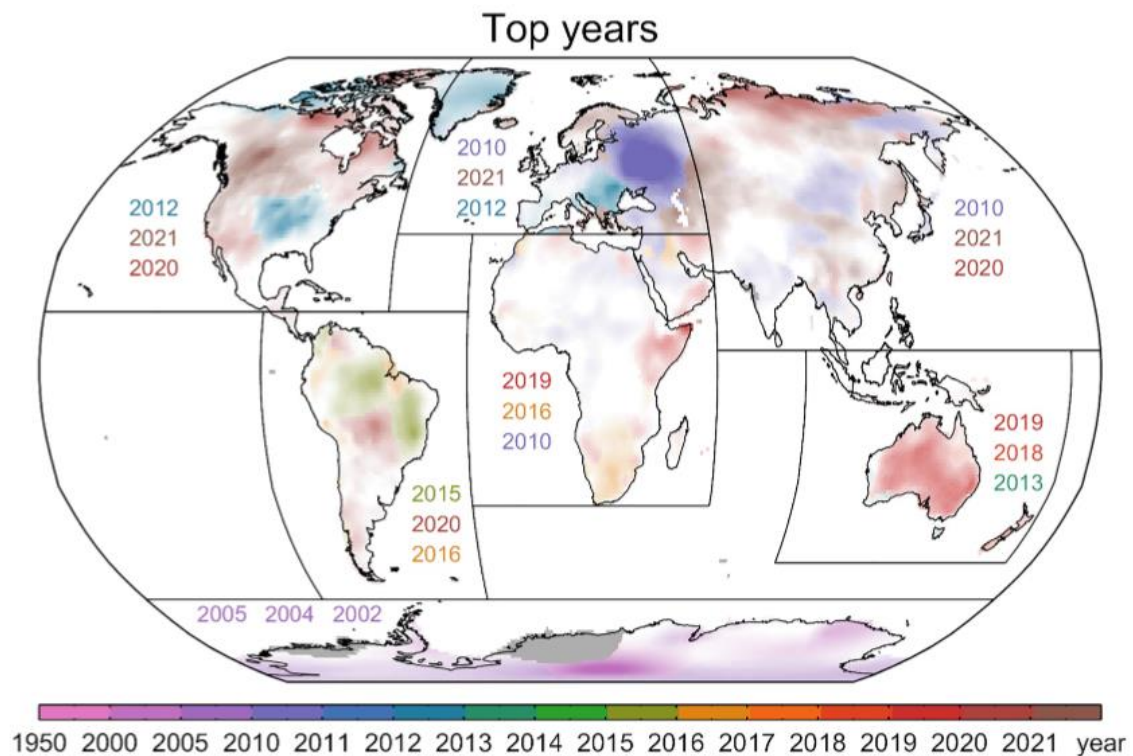


Figura 12. Mapa que representa la magnitud de las olas de calor ponderada por área durante el período 1950-2021. Al lado de cada continente (considerando América del Norte y del Sur por separado) aparecen los 3 años que durante ese período tuvieron las olas de calor de mayor intensidad (Barriopedro et al., 2023).

Se debe recalcar que todas estas consecuencias pueden llegar a agravarse si la situación empeora (lo que desgraciadamente es la tendencia actual), lo que acarrearía grandes problemas a niveles socioeconómicos y ecológicos (Carleton & Hsiang, 2016). Por ello, la evolución de este cambio se encuentra bajo estudio, y podemos encontrar varios modelos predictivos, como los descritos en el primer apartado de la introducción, los cuales aparecerán de forma más detallada en los resultados.

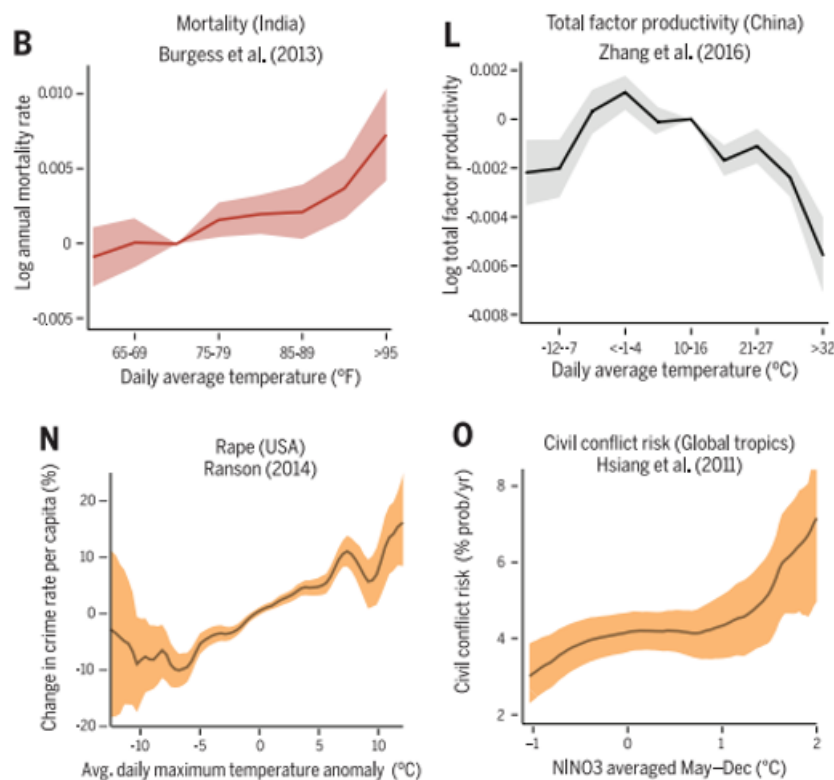


Figura 13. Gráficas que demuestran como las variables climáticas afectan a diferentes sectores socioeconómicos, desde la mortalidad, la tasa de crímenes o el riesgo de conflictos civiles hasta la productividad (Carleton & Hsiang, 2016).

Una vez comentadas estas consecuencias negativas, queda claro que el cambio climático no es para nada un tema trivial, y que cuantos más estudios en información haya sobre este, más fácil será poder seguir desarrollando soluciones para adaptarnos a este cambio o intentar mitigarlo en la medida de lo posible. La situación en la que nos encontramos es difícil, pero tiene margen de mejora, gracias a las diferentes técnicas que se pueden emplear para solventar estos problemas.

Olivar

En este trabajo se ha decidido enfocar el tema del cambio climático en el olivar. Más adelante se hablarán sobre los efectos que este produce específicamente en el olivar, así como de los modelos predictivos de su evolución en estos cultivos.

La elección del olivar se debe a que posee ciertas características que le hacen gozar de una gran importancia, sobre todo en la región mediterránea.

A continuación, se enumeran las cualidades que hacen tan valioso este cultivo.

- ❖ Amplia extensión. Según el Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (2020), el olivar comprende casi 3 millones de hectáreas (2,75 millones ha) en toda España y está presente en 15 de las 17 comunidades autónomas. Más del 60% de esta extensión se encuentra en Andalucía, concentrándose fundamentalmente en la provincia de Jaén.

En la *Figura 14* se puede observar la superficie geográfica ocupada por el olivar. Por contraparte, la *Figura 15* muestra la superficie cultivada de olivar con respecto a la superficie de tierra de cultivo total. Por otra parte, en la *Figura 16* se muestra la distribución de los cultivos en la provincia de Jaén. Todas estas figuras manifiestan claramente lo predominante que es el cultivo del olivar en todo el país, y más aún en la comunidad autónoma de Andalucía (de hecho, en la provincia de Jaén el olivar conforma prácticamente la totalidad de los cultivos, superando el 90% de la distribución de tierra cultivada).

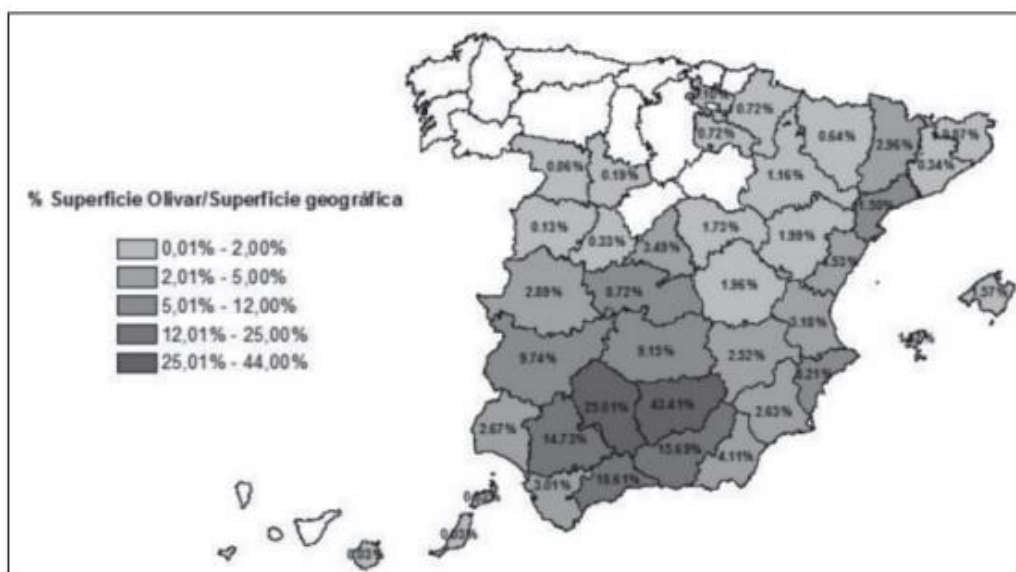


Figura 14. Superficie geográfica ocupada por olivares (Millán Vázquez de la Torre, 2015).

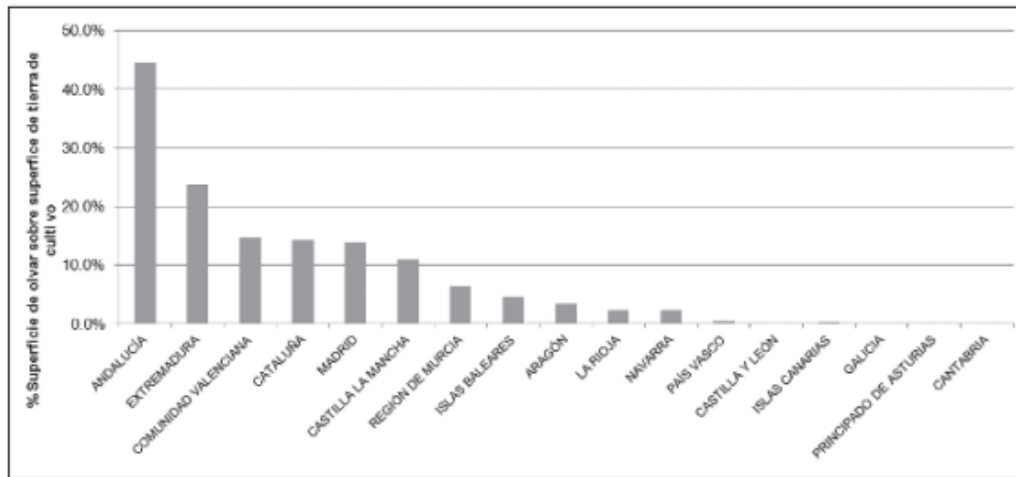


Figura 15. Porcentaje de superficie de olivar de la superficie cultivada total (Millán Vázquez de la Torre, 2015).

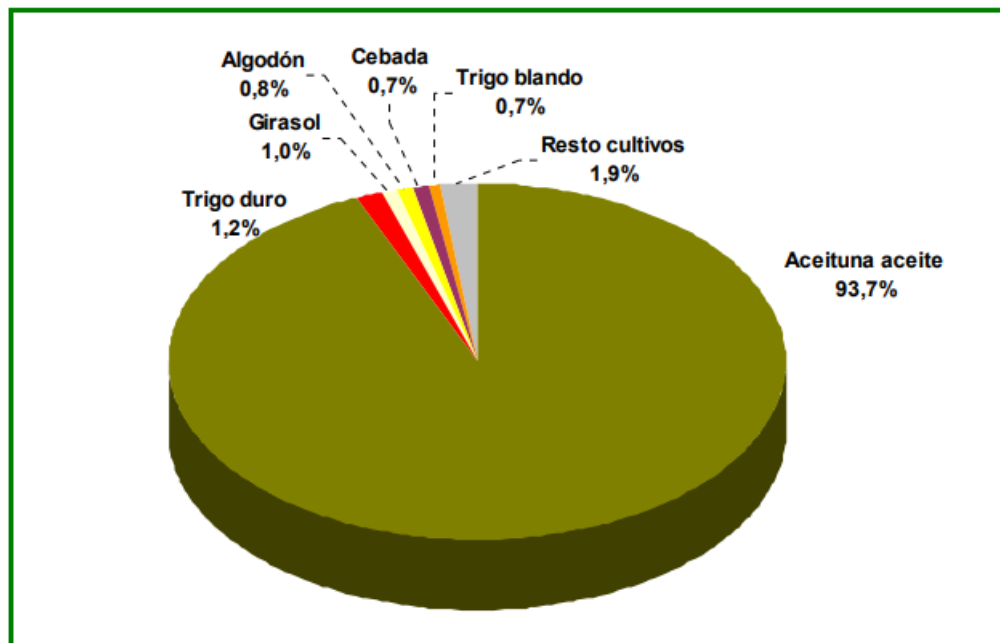


Figura 16. Porcentaje de la distribución de los diferentes cultivos de la OCA "Campiña de Jaén" (Junta de Andalucía, 2013).

- ❖ Gran aporte socioeconómico. España es el mayor productor de aceite a nivel mundial, y el 80% de su producción proviene de Andalucía. Esto, como se puede intuir, tiene un gran efecto sobre la economía del país, ya que supone un enorme beneficio para la esta (mejorando el PIB y la balanza de pagos). Asimismo, ayuda al empleo, llegando a crear muchos puestos de trabajo, en especial durante la época de recolecta de aceituna (Gallardo Nogales, 2018). Este beneficio económico irá en aumento, ya que, como demuestra Guedri (2023) en su trabajo de fin de grado sobre la evolución del sector del aceite de oliva en

España, estas exportaciones han ido en aumento en los últimos y se prevé que mantengan esa dinámica. En la *Figura 17* se puede observar esta tendencia positiva del número de exportaciones, acompañada de una subida del precio del aceite. A su vez, en la *Figura 18* se puede observar la gran diferencia que hay entre el cultivo del olivar y el resto de los cultivos de Jaén, tanto en número de explotaciones y superficie ocupada, como en puestos de empleo y dinero generado.

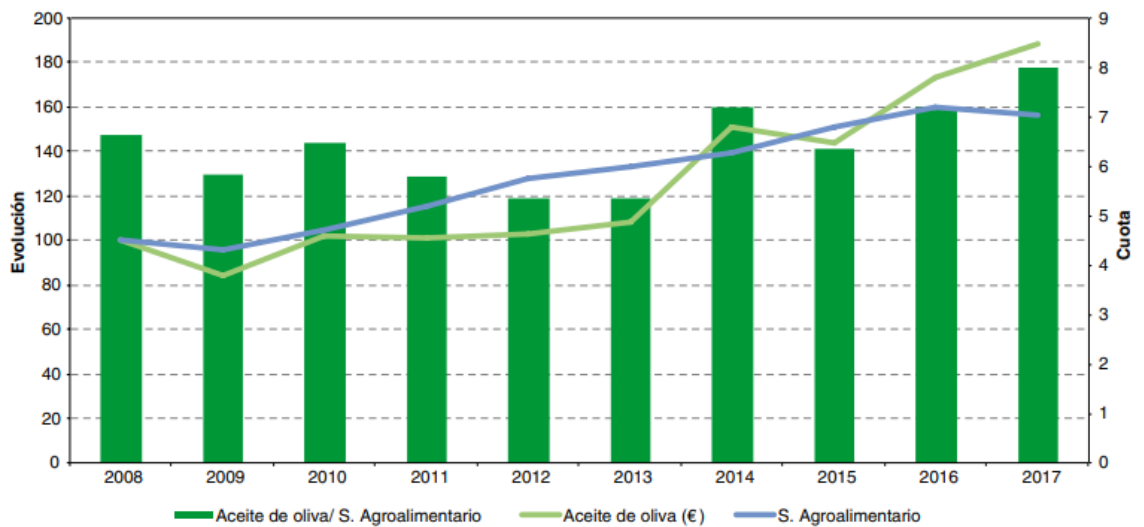


Figura 17. Evolución de las exportaciones españolas de aceite de oliva que incluye la evolución del precio del aceite (Moral et al., 2018).

OTE agrícola	Nº explotaciones	Superficie (ha)	Empleo total (UTA)	PET (mill €)
Olivar	11.892	98.163,6	7.662,1	149,61
Agricultura general y cultivos leñosos	102	3.319,9	108,6	2,85
Hortalizas frescas en terreno de labor	21	338,8	23,3	1,85
Cereales (excepto arroz), oleaginosas y leguminosas	95	3.133,5	41,7	1,40
Hortalizas al aire libre	16	97,5	10,0	0,91
Viveros	4	34,3	17,5	0,75
Cultivos leñosos diversos	17	103,0	8,2	0,31
Cultivos herbáceos combinados	28	1.093,1	18,8	0,22
Frutales y bayas (excepto cítricos)	15	31,7	6,5	0,19
Horticultura y cultivos leñosos	13	31,0	7,6	0,11
Cítricos	1	16,0	0,3	0,09
Algodón	46	150,0	11,8	0,06
Resto OTE agrícolas	21	170,7	15,1	0,30

Figura 18. Organizaciones agrícolas en la campiña de Jaén (Junta de Andalucía, 2013).

- ❖ Alto potencial como mitigador del cambio climático. Gracias a la longevidad de sus plantaciones, el cultivo del olivar tiene la capacidad de capturar grandes cantidades de carbono en sus estructuras permanentes. Asimismo, si se manejarán de manera ecológica y sostenible podrían convertirse en ecosistemas muy biodiversos. Todo esto contribuye positivamente a la mitigación del cambio climático (Tito Vargas, 2012).

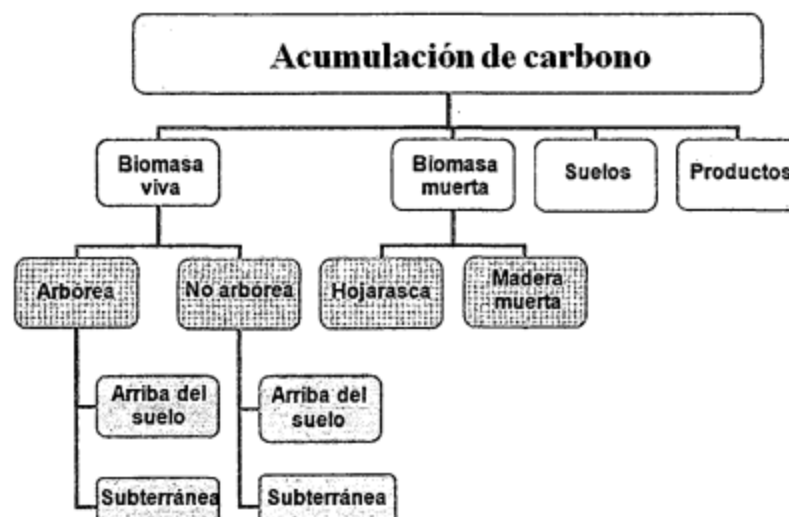


Figura 19. Acumulación de carbono en las diferentes estructuras del olivar, teniendo en cuenta las estructuras vivas que conforman la planta y las estructuras inertes que la rodean (Tito Vargas, 2012).

Tras comentar todo lo relativo al olivar, queda justificada la elección de este cultivo para esta revisión, más aún sabiendo que en nuestra provincia, Jaén, es el cultivo predominante por excelencia.

Para concluir con este apartado, hay que recalcar que no se ha encontrado ninguna revisión que hable del cambio climático aplicado en olivar. Aunque sí que las hay sobre otros cultivos importantes, como el café, en estas tampoco indagan mucho sobre los diferentes tipos de soluciones que se podrían aplicar para mitigar o adaptarse a este cambio.

De este modo, queda demostrada la importancia de los temas elegidos para este trabajo, el cual pretende conformar una revisión más completa con una temática más amplia que el resto, creando un documento innovador en este tema.

2. OBJETIVOS

Al tratarse de un trabajo bibliográfico, el objetivo principal de este es la recopilación, presentación y discusión de toda la información actualizada que pueda encontrarse con respecto al Cambio Climático y el Carbono. A su vez, se plantean una serie de objetivos específicos que encaucen esta búsqueda, y que proporcionen la información más útil para poder entender los efectos del Cambio Climático en el contexto del olivar andaluz.

Estos objetivos específicos se encuentran enumerados a continuación:

- Modelos del IPCC y escenarios planteados a corto (2030), medio (2050) y largo plazo (2100).
- Mecanismos de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Tecnologías de captura de carbono.
- Predicciones a nivel regional (Andalucía) de los modelos del IPCC.
- Efectos previsibles del Cambio Climático en el olivar de Andalucía.
- Huella de Carbono en el olivar de Andalucía: metodologías de cálculo.
- Posibilidades de negocio en relación con los créditos de carbono (offsets credits) en los mercados voluntarios de carbono.

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo es una revisión bibliográfica, por consiguiente, basa su metodología en la búsqueda de información a través de internet.

Esta búsqueda no se lleva a cabo de manera aleatoria, sino que antes de comenzar el trabajo se elaboró una lluvia de ideas sobre los temas de los que se quería encontrar información. Esta lluvia de ideas se basó en varias palabras clave, incluyendo las mencionadas junto al resumen, así como conjuntos de palabras que especificaran más; por ejemplo, huella de carbono, créditos de carbono, predicciones del IPCC a nivel andaluz, entre otras. A su vez, a partir de ese punto se formulaban preguntas de búsqueda, para encontrar publicaciones específicas sobre el tema deseado. En algunos casos necesarios se utilizaron filtros para excluir determinadas palabras que provocaban que aparecieran artículos no relacionados con el cambio climático.

Esto conformó la base de la búsqueda, la cual fue ampliándose de forma natural a medida que se realizaba el trabajo. Cabe destacar que esta recopilación de información se realizó mediante buscadores de contenido científico/académico como Google Académico (más conocido como Google Scholar), Scopus o ISI Web of Knowledge, o bien consultando directamente algunas revistas científicas, tales como *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Agronomy*, *Science* o *Nature* (entre ellas se pueden encontrar revistas centradas en los temas tratados en esta revisión, así como revistas más generales que recogen artículos científicos de cualquier índole). Todas las publicaciones encontradas incluían información a nivel nacional e internacional.

Una vez recopilada la mayoría de la información se fue presentando de forma ordenada, clara y sintetizada, de manera que se cree una revisión abierta y accesible a cualquier tipo de público. Asimismo, toda la información empleada viene referenciada con el título de sus autores y el año en el propio texto, de manera que se pueda consultar posteriormente la bibliografía al final de este trabajo por si alguien quisiera ampliar conocimientos sobre algún tema en específico mencionado en este trabajo, y al mismo tiempo se merita a los autores originales.

Una vez presentada esta información se procedió a discutirla, y posteriormente se crearon las conclusiones, donde se enuncian los aportes que proporciona esta revisión.

4. RESULTADOS

Este apartado abordará los objetivos específicos del trabajo. Estos se mostrarán por separado en diferentes subapartados, y luego se discutirán en conjunto en el apartado de “Discusión”.

4.1. Modelos del IPCC y escenarios planteados a corto (2030), medio (2050) y largo plazo (2100)

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) es el organismo encargado de evaluar todos los conocimientos científicos sobre el cambio climático. Una de sus funciones es el desarrollo de modelos de evolución climáticos. Con la información de estos modelos son capaces de predecir como irá evolucionando la información a lo largo de los años, creando así proyecciones de escenarios a distintos plazos.

Es importante destacar la fiabilidad de estas predicciones, que pese a no ser absolutamente precisas se han acercado bastante a la realidad. El mejor ejemplo podemos encontrarlo en el cuarto informe de evaluación del IPCC. En este se comparan las proyecciones creadas en los tres primeros informes de evaluación del IPCC con los datos reales observados transcurrido el plazo de tiempo proyectado en dichos informes. Estos informes son: FAR (First Assessment Report), desarrollado en 1990; SAR (Second Assessment Report), desarrollado en 1996; y TAR (Third Assessment Report), desarrollado en 2005. El primer informe de evaluación (FAR) predijo que la temperatura media mundial aumentaría aproximadamente entre 0,15°C y 0,3°C por decenio para el período de 1990 a 2005. Posteriormente, se observó que la temperatura media global aumentó en 0,2°C por decenio para ese período, lo cual aporta confianza a las evaluaciones a corto plazo del IPCC (IPCC, 2007).

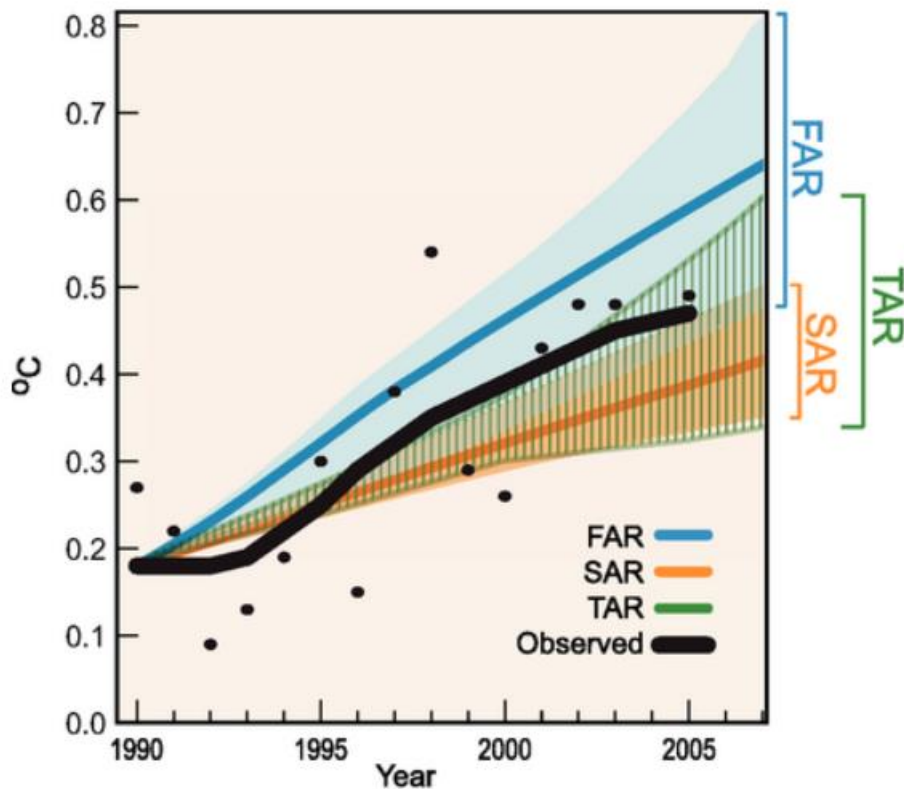


Figura 20. Gráfico del aumento de la temperatura media global predicho por los tres primeros informes de evaluación del IPCC frente a los datos observados transcurrido ese tiempo (IPCC, 2007).

A continuación, se van a comentar dos informes importantes para el contexto de este trabajo. El primero de ellos es el “Special Report 1.5”, creado en 2018, que habla sobre los impactos de sufrir un aumento de 1,5°C de la temperatura media global con respecto a los valores preindustriales; todo ello con un enfoque positivo, que tiene como finalidad fortalecer la respuesta global frente a este cambio. Por otro lado, el AR6 (Assessment Report 6) es el informe de evaluación más reciente realizado por el IPCC, en marzo de este 2023.

- SR1.5

Este reporte plantea como objetivo evitar que la temperatura media global aumente por encima de 2°C con respecto a niveles preindustriales. Se están planteando esfuerzos para limitar este incremento a 1,5°C, de ahí el nombre de este reporte.

Global total net CO₂ emissions

Billion tonnes of CO₂/yr

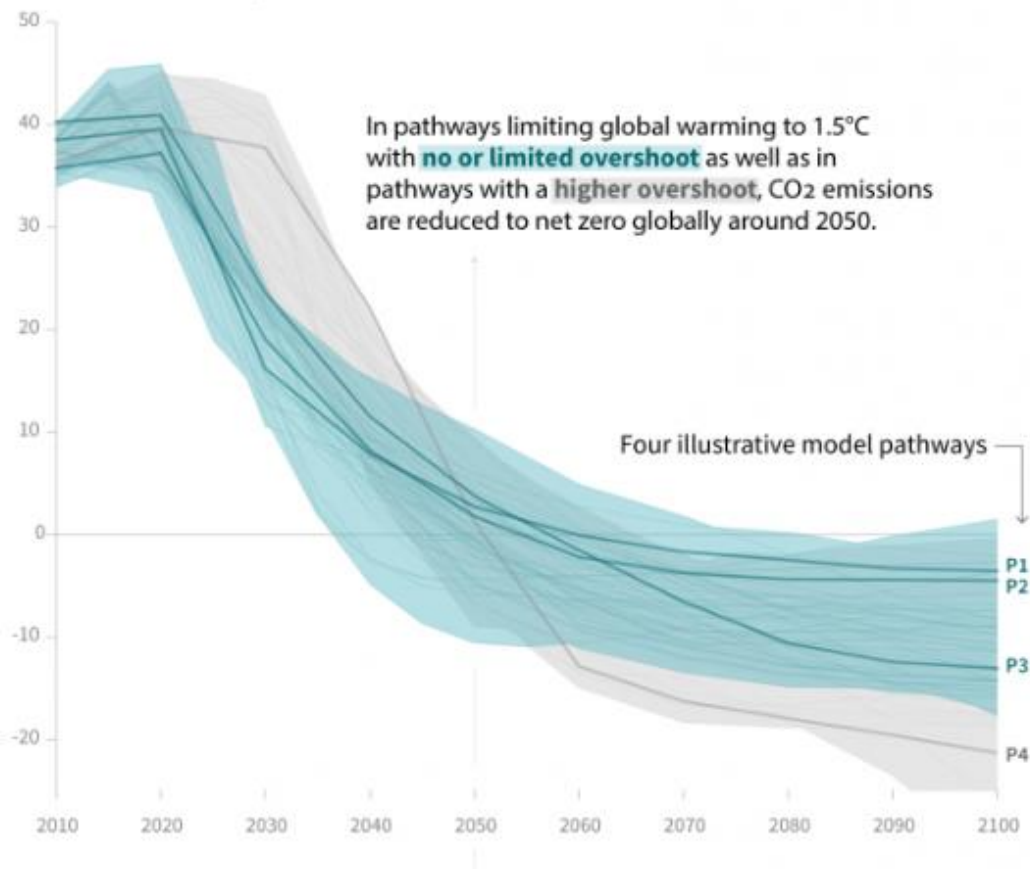


Figura 21. Reducciones en billones de toneladas de CO₂/año necesarias para alcanzar el objetivo de no superar el límite 1,5°C de aumento de temperatura (IPCC, 2018).

En la *Figura 21* se pueden observar varios escenarios previstos hasta 2100. Es importante recalcar que todos ellos coinciden en unas cero emisiones netas (esto no significa que no exista emisiones, sino que las emisiones sean compensadas por los mecanismos de captación de CO₂) para el año 2050, es decir, se pretende que a medio plazo las emisiones sean netas y que a largo plazo pasen a ser negativas, captando más CO₂ del que se emite.

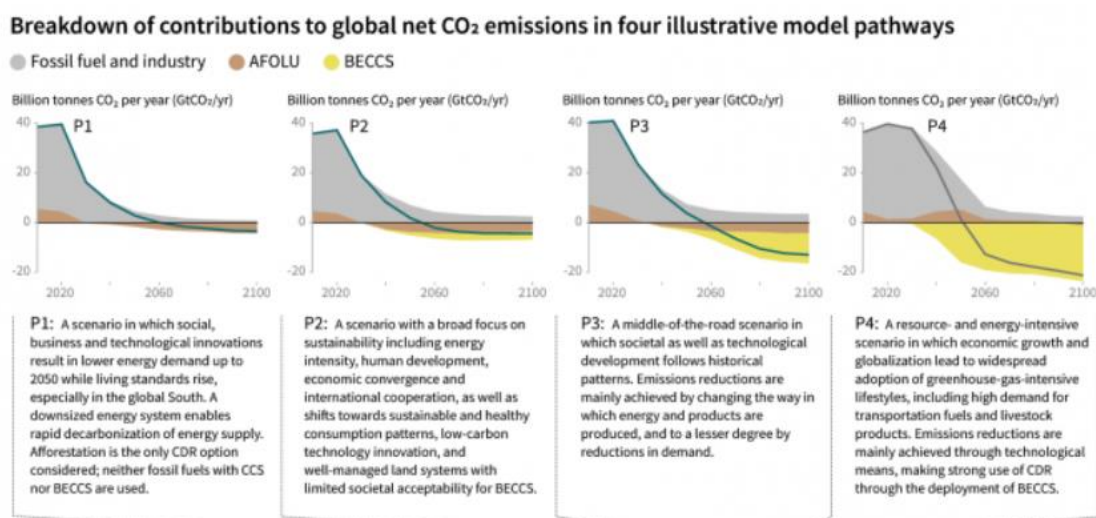


Figura 22. Diferentes escenarios para alcanzar las cero emisiones netas en 2050 (IPCC, 2018).

En las proyecciones del SR1.5 existen diferentes formas de reducir las emisiones. Estas contribuyen a alcanzar las emisiones netas y dan lugar a los cuatro escenarios ya mostrados, que se explican brevemente a continuación:

- ❖ P1: escenario con una reducción brusca de la demanda de energía debido a innovación tecnológica y/o social (poco probable).
- ❖ P2: escenario enfocado en la sostenibilidad: reducción de la demanda energética e intensa activación de los mecanismos de captura (tecnológicos y AFOLU).
- ❖ P3: escenario mixto, reducción de la demanda por cambios sociales y tecnológicos, aunque menor que el P1 y P2, y activación de tecnologías de captura, que deberán compensar la menor reducción de la demanda (en relación con P1 y P2).
- ❖ P4: escenario con una elevada demanda energética, con incremento del crecimiento económico y sin novedades tecnológicas destacables en eficiencia: para la neutralidad climática habría que intensificar al máximo los mecanismos de captura de CO₂, sobre todo AFOLU (amarillo).

En la Figura 22 se puede observar como la mayor contribución en todos los escenarios consiste en reducir las emisiones procedentes de los combustibles fósiles y de la industria. Por otro lado, están la agricultura y otros usos del suelo (en la gráfica aparece por las siglas en inglés de “Agriculture, Forestry and Other Land Use”, AFOLU) que no solo pueden reducir sus

emisiones sino convertirse en mecanismos de captación de carbono, pasando a contribuir positivamente en la reducción de estas emisiones. Por último, en un tono amarillo se puede apreciar la acción de la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono, la cual alcanza su mayor efecto en el escenario P4, ya que es la única manera en la que se puede compensar el excedente de emisiones de CO₂ que se produce al inicio de este escenario.

En este modelo, todos los escenarios coinciden en una tendencia general de lo que se prevé que ocurra a corto, medio y largo plazo. De cara a 2030 (corto plazo), se pretende acabar con el aumento exponencial de las emisiones de CO₂. Se planea alcanzar un desarrollo sostenible mediante la Agenda 2030 creada por Naciones Unidas. Gracias al impacto positivo que conllevaría alcanzar este desarrollo sostenible, se prevé que a medio plazo (2050) se logren alcanzar las cero emisiones netas de carbono. A partir de ese punto, las proyecciones a largo plazo (2100) apuntan a que, si se mantienen los mecanismos de captura de carbono naturales (como la agricultura o el resto de los usos del suelo) y artificiales (como las tecnologías de captación de carbono), se puedan conseguir unas emisiones netas negativas de carbono (Allen et al., 2018).

- AR6

El AR6 o “Sixth Assessment Report”, es el informe de evaluación más reciente desarrollado por el IPCC. Este recoge todos los conocimientos del cambio climático, incluyendo los riesgos e impactos, así como sus mitigaciones y adaptaciones.

Al igual que el SR1.5 este también recoge diferentes escenarios, pero al contrario que el anterior informe, estos varían en función de las políticas que se implementen a corto plazo (véase *Figura 23*).

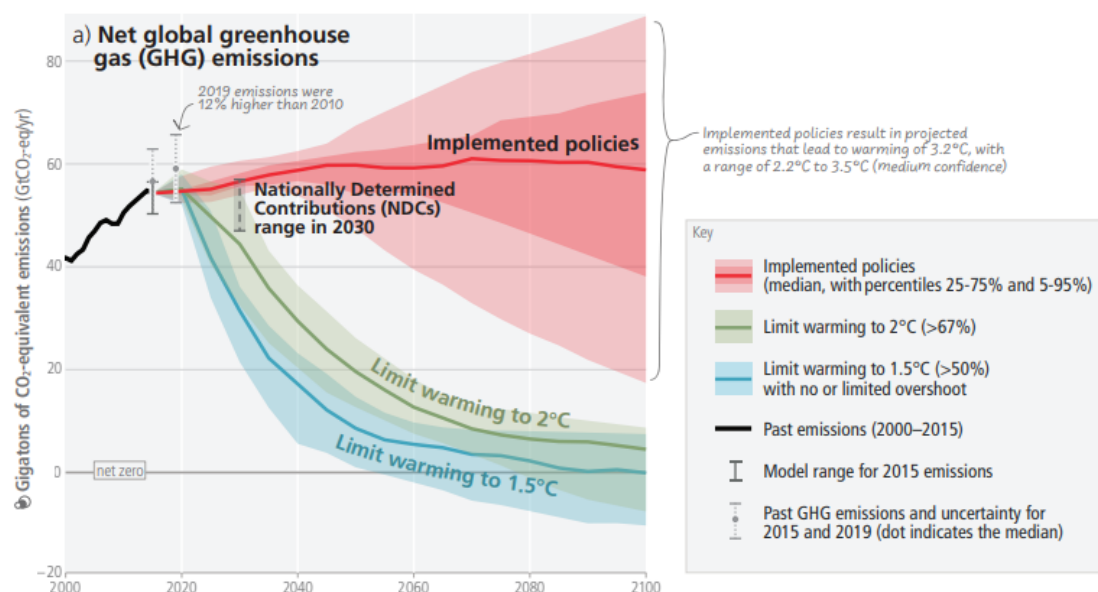


Figura 23. Diferentes escenarios planteados en función de las políticas implementadas a corto plazo (IPCC, 2023).

En este caso, se plantean dos escenarios muy similares: límite de calentamiento de 2°C y límite de calentamiento de 1,5°C. Estos se alcanzarían si se suman las tecnologías de captura de carbono a la implementación de políticas que limiten las emisiones de CO₂ evitando sobrepasar dichos límites. En ambos escenarios, se prevería reducir las emisiones a corto plazo (2030), acercarse considerablemente a las cero emisiones netas a medio plazo (2050) y haber alcanzado esas cero emisiones netas o incluso sobrepasar la barrera de las emisiones netas negativas a largo plazo (2100). Sin embargo, también se valora un futuro bastante catastrófico en comparación con los anteriores. La diferencia entre ambos radicaría en la falta de implementación de políticas sostenibles que limiten el aumento de temperatura, dando lugar a un escenario donde la temperatura seguiría aumentando, o en escenarios muy optimistas, se reduciría, pero manera muy poco significativa.

En este informe se subraya la importancia de actuar de manera rápida. Implementar acciones de adaptación y mitigación sólidas y mantenidas a lo largo del tiempo durante esta década reduciría los daños previstos, tanto a nivel ecosistémico como humano, a la par que generaría muchos beneficios secundarios (como podría ser una mejora de la calidad del aire y del agua que se traduciría en una mejora para la salud humana y de los ecosistemas). En caso de no hacerlo, las consecuencias serían muy negativas, aumentando los daños.

A pesar de los elevados costes que conllevaría implementar estas medidas a corto plazo, se estaría invirtiendo en acciones que en un período de tiempo más largo serían sumamente rentables a nivel económico.

Este informe también ha proyectado varios escenarios a largo plazo en los que no se aplican adaptaciones adicionales. En la *Figura 24* se puede observar cómo los diferentes escenarios planteados, en función de diversos aumentos de temperatura (2°C, 3°C, 4°C, etc.), afectan a muchos ámbitos. A medida que empeora el escenario, es decir, el aumento de la temperatura media global es mayor, incrementan los efectos negativos de manera proporcional. Se puede apreciar, que incluso en los mejores escenarios (dentro del contexto de este párrafo, donde todos los escenarios proceden de no emprender acciones sostenibles) se pueden encontrar zonas del mundo donde las condiciones ambientales suponen un riesgo para la salud (aumentando la tasa de mortalidad) durante prácticamente todos los días año (IPCC, 2023).

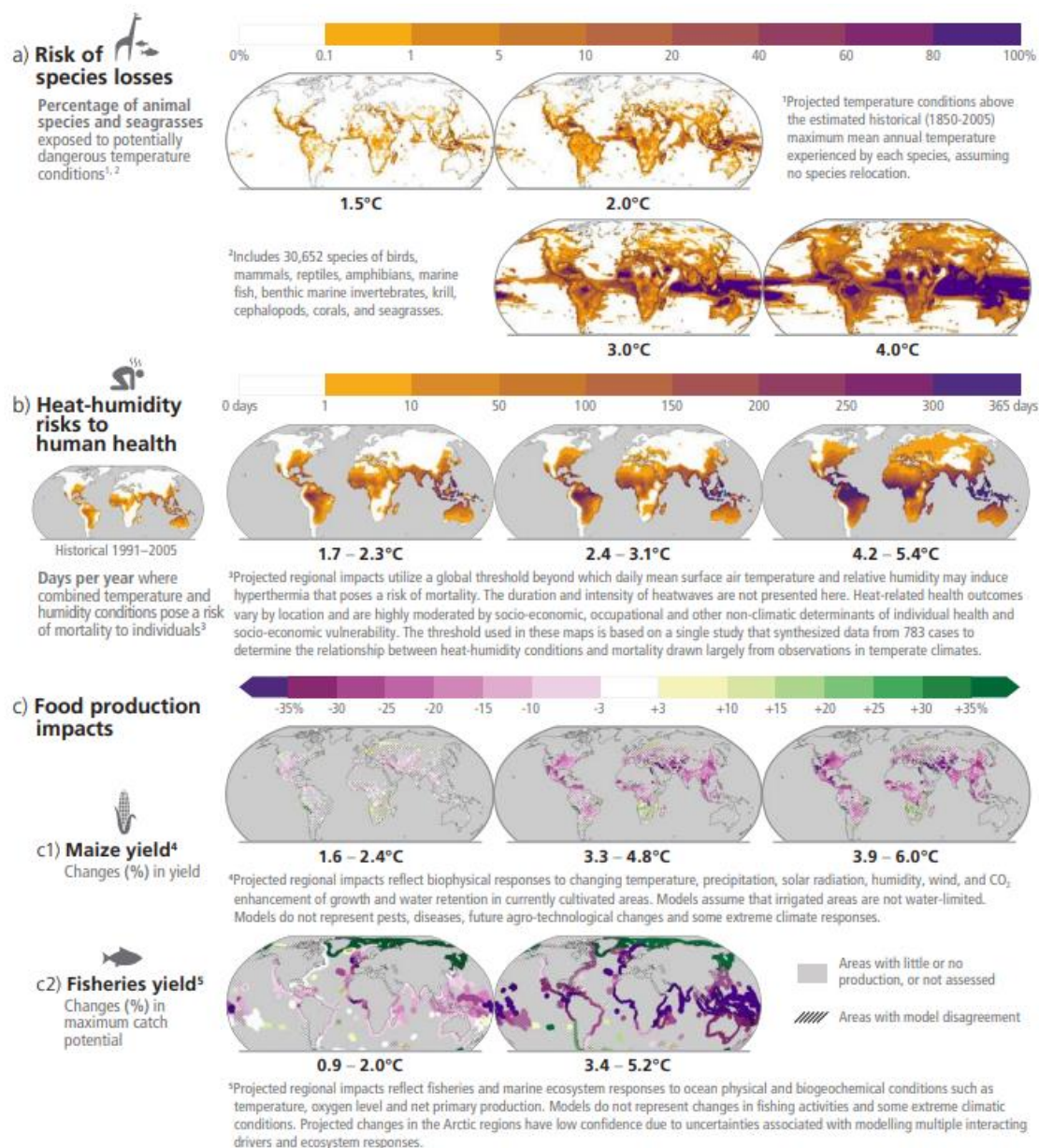


Figura 24. Escenarios planteados a largo plazo sin medidas de mitigación aplicadas (IPCC, 2023).

4.2. Mecanismos de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Tecnologías de captura de carbono

Existen diferentes estrategias para solucionar la gran problemática que supone el cambio climático. En este trabajo se van a dividir en dos grandes grupos:

- **Mecanismos de mitigación y adaptación al cambio climático.** En este grupo se van a incluir todas aquellas estrategias que reduzcan el exceso de dióxido de carbono de la atmósfera de manera indirecta.

- **Tecnologías de captura de carbono.** En este grupo, por contraposición al anterior, se van a incluir todas aquellas estrategias que reduzcan el exceso de dióxido de carbono atmosférico de manera directa, extrayendo lo directamente del aire.

Mecanismos de mitigación y adaptación al cambio climático

Las constantes emisiones antrópicas han desestabilizado el equilibrio natural, causando los problemas del cambio climático; por tanto, la mejor forma de mitigar y adaptarse a este cambio es tratar de recuperar el equilibrio natural. Para ello, se deben realizar cambios en los usos de los suelos, en el sector denominado como AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use).

Smith et al. (2014) hablan sobre la importancia del sector AFOLU y su relación con el cambio climático. En su trabajo, explican que este sector actualmente provoca menos de un cuarto de las emisiones antropogénicas totales, pero tiene el potencial de contribuir muy positivamente en la mitigación del cambio climático.

El cambio de este sector hacia la sostenibilidad supondría los siguientes efectos positivos:

- ❖ Reducción de emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O.
- ❖ Conservación de los reservorios naturales de carbono y aumento de estos gracias a la mejora de la capacidad de secuestro de carbono.
- ❖ Reducción de las pérdidas de carbono de la biota y el suelo.
- ❖ Capacidad de reemplazamiento de los productos con altas emisiones de gases de efecto invernadero por productos sostenibles con menos emisiones.

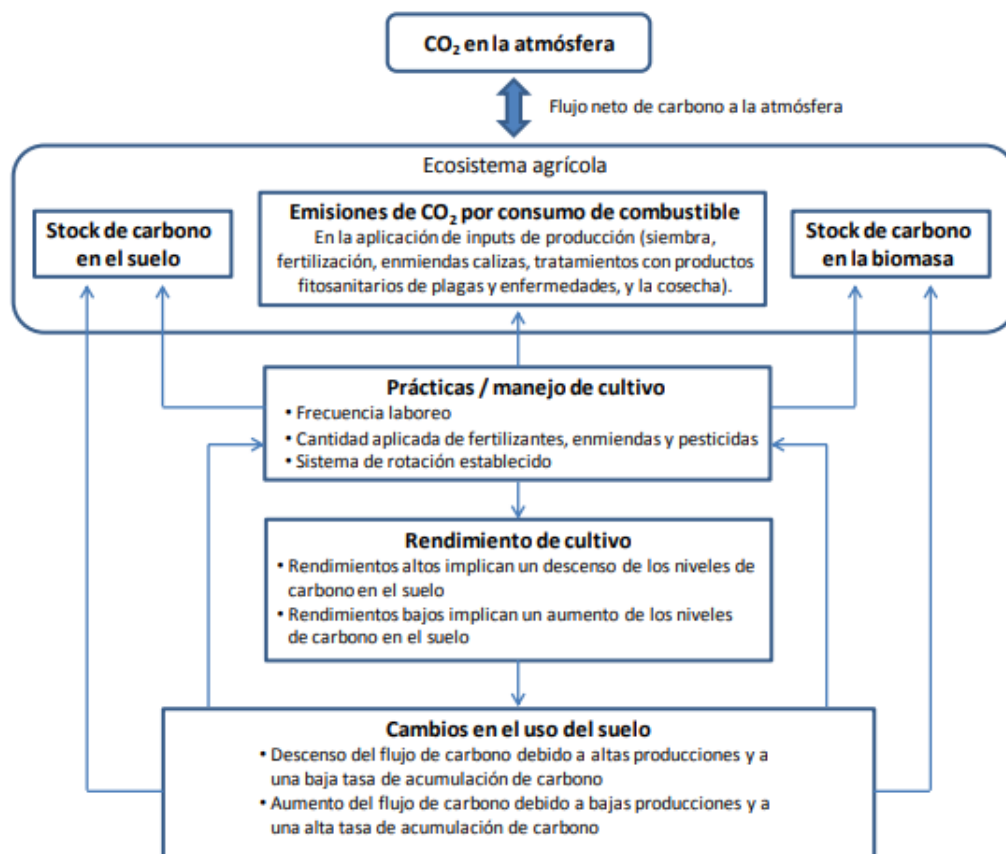


Figura 25. Esquema de las interacciones entre los diferentes factores del sector AFOLU (López-Bellido Garrido, 2017).

Para llevar a cabo estos cambios se deben aplicar técnicas de manejo sostenible en los suelos usados por el ser humano, como las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) o el uso de biomasa como fuente energética.

En su guía de restauración con SbN, la UICN (En prensa) define este concepto como: “todas las acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar los ecosistemas naturales o modificados, que abordan retos sociales tales como el cambio climático, la seguridad alimentaria, los riesgos de catástrofes, la seguridad del agua, el desarrollo social y económico y la salud humana, de forma eficaz y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad”. Esta definición es lo suficientemente explicativa por sí misma, y deja claro que todas estas acciones fomentarán los efectos positivos enumerados anteriormente. Se habla incluso de SbN destinadas específicamente a mitigar y adaptarse al cambio climático, las Soluciones Climáticas basadas en la Naturaleza, conocidas por sus siglas SCbN (Girardin et al., 2021).

Es importante recalcar, que los árboles o plantas son capaces de secuestrar carbono y almacenarlo como biomasa en sus estructuras permanentes. Esta es la razón por la que restaurar, conservar y reforestar ecosistemas es una buena medida para mitigar el cambio climático. Sin embargo, estos árboles o plantas comienzan a perder el carbono acumulado cuando alcanzan etapas avanzadas de madurez. Este problema puede solucionarse utilizando esta biomasa como fuente de energía antes de que comiencen a liberar el carbono (Zambrano et al., 2004).

Tecnologías de captura de carbono

En el párrafo anterior se mencionó la capacidad de secuestrar carbono de los árboles. Algunos, como el olivo, tienen un gran potencial para captar CO₂ por su gran longevidad (Galan-Martin et al., 2022).

Actualmente se están desarrollando tecnologías que sean capaces de intentar imitar estas acciones de los árboles. Algunos autores hablan de emisiones negativas, a las emisiones conseguidas tras usar estas técnicas (Fuss et al., 2018a). También se habla de los costes, el potencial y los efectos colaterales que producen (Fuss et al., 2018b).

A pesar de que la mayoría de estas técnicas todavía siguen bajo estudio, se pueden encontrar grandes avances en dos tipos de técnicas:

- ❖ **BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage).** Esta técnica parte de la idea antes mencionada de utilizar la biomasa como fuente de energía. Con la combustión de esta se genera energía eléctrica. El residuo de CO₂ generado no se libera a la atmosfera, sino que, se captura separándolo del resto de gases producidos por la combustión, para después comprimirlo y enfriarlo hasta su estado líquido. Este CO₂ se transporta y almacena en reservorios permanentes de carbono en los lechos de roca sedimentaria, donde acabará cristalizando con el tiempo (Frisk, 2021).
- ❖ **DAC (Direct Air Capture).** Como su nombre indica, esta técnica se basa en la captura de CO₂ directamente del aire. Al contrario que las BECCS, que capturaban el CO₂ en estado gaseoso que la propia instalación generaba, esta técnica captura el CO₂ libre de la atmósfera. Kumar et al. (2015) describen en su trabajo las propiedades de ciertos materiales capaces capturar el CO₂ mediante adsorción, para posteriormente poder retirarlo. Si el CO₂ retirado se transporta y almacena bajo tierra, estaríamos ante una variante de esta técnica, DACCS (Direct Air Capture with Carbon Storage), con un proceso final similar a la técnica anterior (Garza et al., 2023).

Todas estas técnicas son conocidas como CDR (Carbon Dioxide Removal), y son indispensables para la mitigación del cambio climático. De hecho, muchos escenarios climáticos expuestos en este trabajo las tienen en cuenta en sus proyecciones, conformando una gran baza para la reducción de las emisiones netas de CO₂.

4.3. Predicciones a nivel regional (Andalucía) de los modelos del IPCC

La Junta de Andalucía (n.d.) presentó en su página web información relativa a las predicciones de los modelos del IPCC. Esta información está actualizada al cuarto informe de evaluación del IPCC desarrollado en 2007.

En este se tienen en cuenta varios escenarios: el escenario A2, donde se mantienen las tendencias actuales de emisiones; el escenario B1, donde se opta por un desarrollo regional y sostenible; y un escenario intermedio, el A1B.

Entre las variables climáticas afectadas destaca la temperatura, la cual sufrirá un incremento en todos los escenarios, pero variando en su intensidad en función de las medidas de sostenibilidad implementadas. Las zonas más afectadas son las de montaña, así como las continentales.

Temperatura Media Anual CNCM3 A1b (°C)					
Periodo Climático					
PROVINCIAS	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia a finales de siglo
Córdoba	16,4	17,5	18,9	19,9	3,5
Jaén	15,3	16,3	17,7	18,6	3,3
Huelva	17,3	18,3	19,6	20,5	3,2
Sevilla	17,3	18,3	19,6	20,5	3,2
Granada	13,5	14,5	15,9	16,7	3,2
Almería	15,6	16,4	17,6	18,3	2,7
Málaga	15,9	16,9	18,1	18,9	3,0
Cádiz	17,4	18,3	19,5	20,3	2,9

Temperatura Media Anual CNCM3 A2 (°C)					
Periodo Climático					
PROVINCIAS	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia a finales de siglo
Córdoba	16,4	17,3	18,8	20,6	4,2
Jaén	15,3	16,1	17,5	19,4	4,1
Huelva	17,3	18,1	19,5	21,2	4,0
Sevilla	17,3	18,1	19,5	21,2	3,9
Granada	13,5	14,4	15,7	17,5	4,0
Almería	15,6	16,3	17,4	18,9	3,4
Málaga	15,9	16,7	18,0	19,5	3,6
Cádiz	17,4	18,1	19,4	21,0	3,6

Temperatura Media Anual CNCM3 B1 (°C)					
Periodo Climático					
PROVINCIAS	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia a finales de siglo
Córdoba	16,4	17,6	18,1	18,7	2,3
Jaén	15,3	16,4	16,9	17,5	2,2
Huelva	17,3	18,4	18,8	19,4	2,1
Sevilla	17,3	18,4	18,8	19,4	2,1
Granada	13,5	14,6	15,1	15,6	2,1
Almería	15,6	16,5	16,9	17,3	1,8
Málaga	15,9	17,0	17,3	17,9	1,9
Cádiz	17,4	18,4	18,8	19,3	1,9

Figura 26. Datos de temperatura proyectados hasta 2100 para los diferentes escenarios
(Fuente: [Evolución de las principales variables climáticas actualizadas al 4º Informe del IPCC - Portal Ambiental de Andalucía \(juntadeandalucia.es\)](#)).

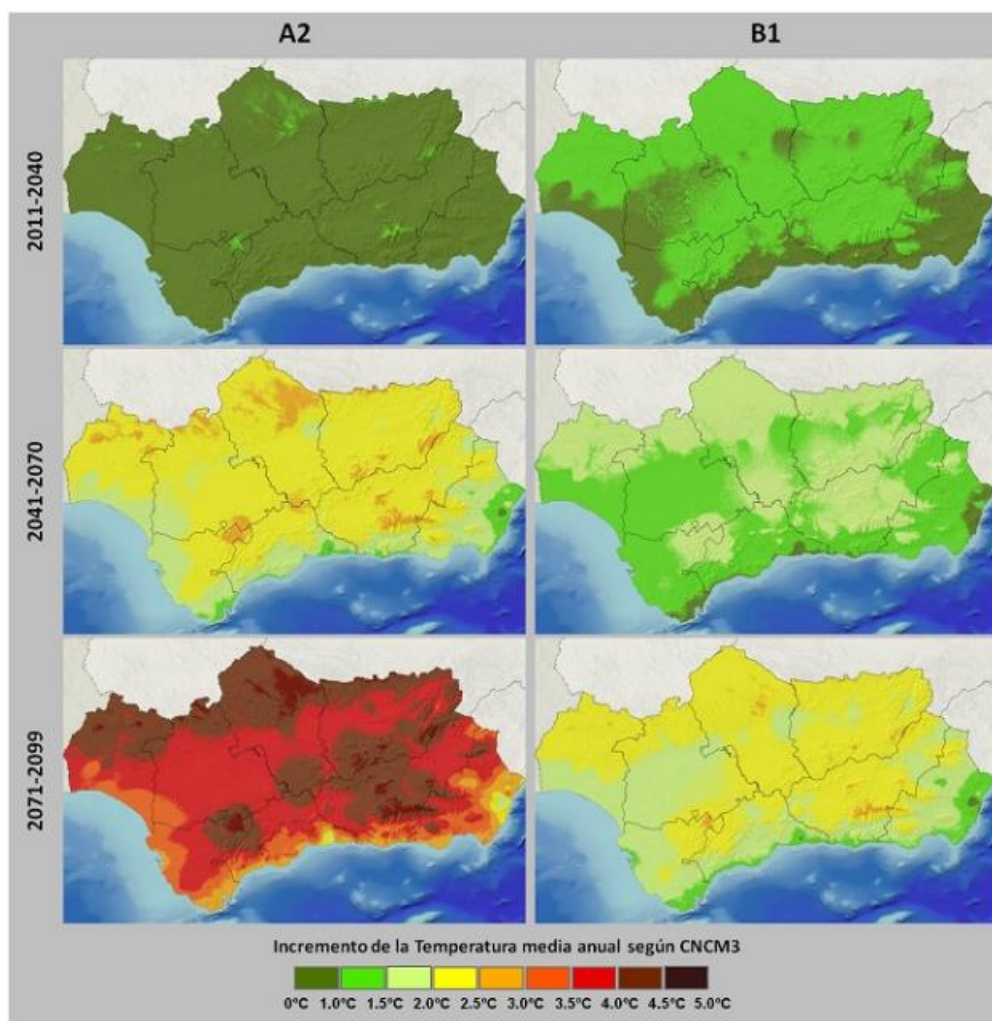


Figura 27. Representación gráfica del incremento de temperatura para los escenarios A2 y B1 (Junta de Andalucía, n.d.).

El régimen de precipitaciones se vería afectado, pero en menor medida que las temperaturas, como puede observarse en la *Figura 27*.

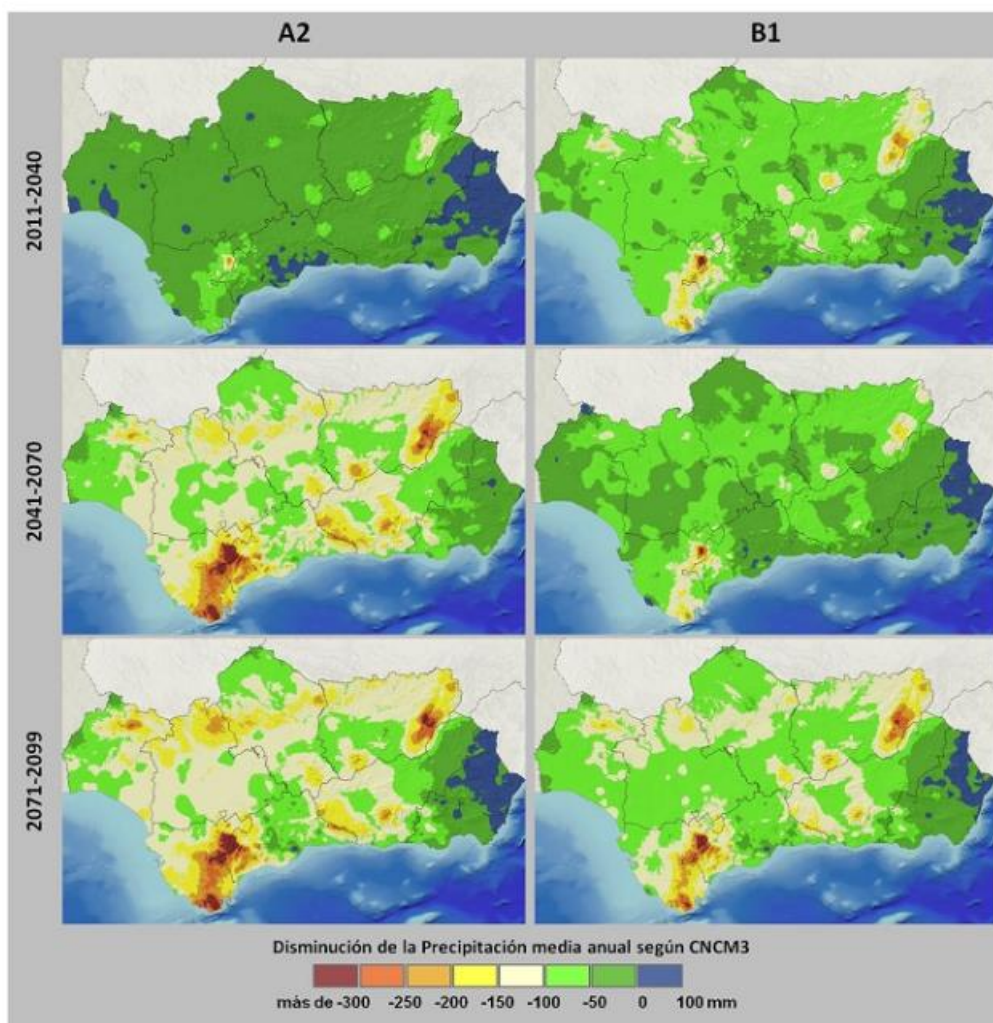


Figura 28. Representación gráfica del cambio de la precipitación anual para los escenarios A2 y B1 (Junta de Andalucía, n.d.).

También existen otras variables afectadas como el índice de aridez, con resultados esperados similares a los mostrados con la temperatura y la precipitación (aunque se acerca más al cambio sufrido en el régimen de las precipitaciones), es decir, un incremento general de este índice en toda la extensión de la comunidad. Asimismo, se prevé un descenso general en la tasa fotosintética y en la precipitación en forma de nieve.

hemípteros). Castiel (2018) expone el gran número de desplazamientos de plagas, enfermedades e insectos vectores de patógenos hacia los polos, los cuales pueden llegar a afectar a nuestros cultivos.

A su vez, muchos insectos defoliadores podrían ser capaces de adaptarse al cambio climático antes que los cultivos, por lo que podrían encontrar tejidos poco endurecidos y desarrollados en las fases iniciales del desarrollo de estos. Esto supondría un gran daño para las plantas (Hódar et al., 2012).

- **Efectos negativos en el suelo.** La calidad del suelo es un factor determinante para la supervivencia de todos los organismos de su entorno (Cruz et al., 2004). El suelo del olivar andaluz ya parte de una mala situación, debido al manejo intensivo y tradicional de este cultivo. Este suelo es de poca calidad, bajo en materia orgánica y presenta grandes problemas como la erosión, hasta el punto de formarse grandes cárcavas que traen consigo otros problemas y en muchos casos requieren ser restauradas, como explica Ana (2021). El cambio climático incrementa las precipitaciones torrenciales (Olmedo & Turiel, 2022), lo que a su vez agrava los problemas de erosión en estos suelos.

Asimismo, el estado de los suelos y el aumento de la erosión reducen la infiltración del agua en el suelo, lo que disminuye la humedad y provoca la aparición de suelos cada vez más secos. Esta falta de humedad, a su vez, afecta negativamente a la microbiota del suelo (Ramos & Zúñiga, 2008).

- **Cambios en la producción.** En su artículo, Cabezas et al. (2020) exponen como los diferentes escenarios climáticos afectarán a la producción del olivar. En un futuro cercano se espera un aumento del 17% en los olivares de Jaén, y del 32% en los olivares ubicados en zonas con inviernos más suaves. Los autores atribuyen esta mejora del rendimiento a la gran capacidad de adaptación del olivo a la sequía, pero insisten en que se deben aplicar medidas como la promoción del riego deficitario, las prácticas de manejo del suelo para reducir la escorrentía o la mejora de la eficiencia del riego.

4.5. Huella de carbono en el olivar de Andalucía: metodologías de cálculo

La huella de carbono es una herramienta muy valiosa para regular las acciones sostenibles ideadas para mitigar el cambio climático. Esta se calcula teniendo en cuenta las entradas y salidas de carbono a un sistema. En función del resultado obtenido podemos hablar de dos sistemas:

- Sistema emisor neto de carbono: se denomina así a aquel sistema, en este caso agrícola, cuyas emisiones/salidas de carbono superan a las captaciones/entradas.
- Sistema secuestrador neto de carbono: se trata cuando ocurre lo contrario al caso anterior, es decir, las captaciones/entradas de carbono superan a las emisiones/salidas.

Para tener un sistema sostenible y que ayude con los objetivos de reducción de las emisiones de dióxido de carbono, se debe hacer que el sistema se convierta en secuestrador neto de carbono. Por ello, es interesante calcular la huella de carbono, ya que aportará información sobre el balance de carbono; además, se podrá discernir en qué medida los diferentes factores emiten o secuestran carbono.

La mayoría de los autores coinciden en la misma fórmula global para calcular esta huella de carbono. López-Bellido Garrido (2017) la denomina flujo neto de C y expresa la fórmula como se puede ver en la *Figura 29*.

$$\text{Flujo neto de C} = \text{Emisiones de C} - \text{Secuestro}$$

Figura 30. Fórmula general para calcular la huella de carbono (López-Bellido Garrido, 2017).

A pesar de ser una fórmula sencilla, no es fácil calcularla debido a la complejidad de todas las variables que pueden influir en esta. Se deben tener en cuenta todas las entradas y salidas de CO₂ al sistema.

El uso de abonos, fitosanitarios y maquinaria, el transporte de la cosecha a la cooperativa de aceite, el proceso de producción del aceite e incluso el CO₂ desprendido por los humanos durante el laboreo cuentan como emisiones de carbono en este sistema. En la *Figura 30* se puede observar una gráfica que muestra los diferentes tipos de salida y en que proporción emiten carbono, porque hay determinadas actividades cuya emisión puede considerarse casi nula comparada con otras.

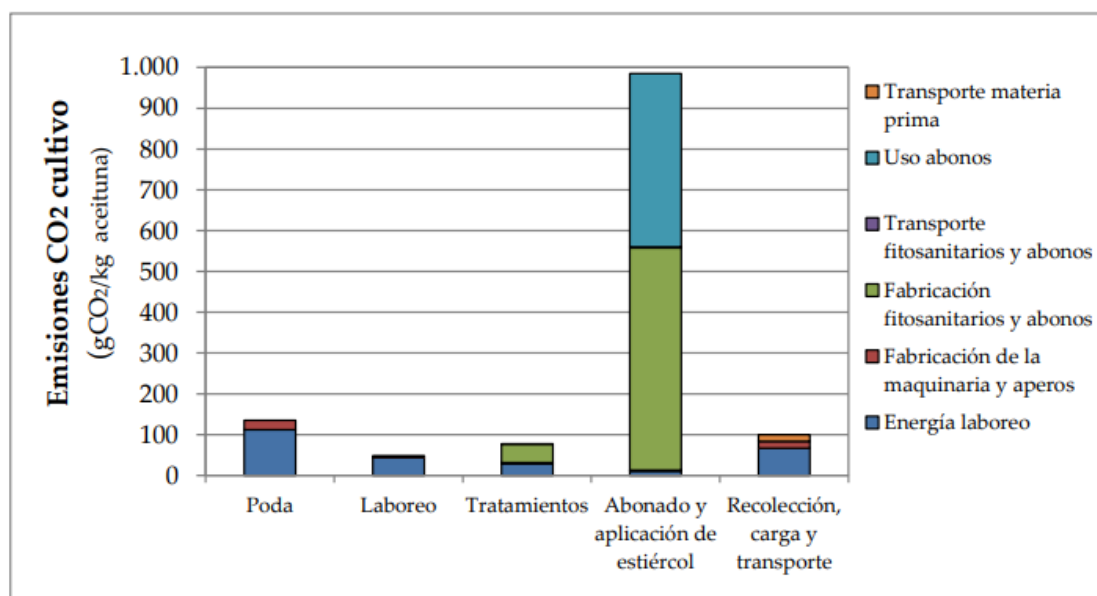


Figura 31. Salidas de carbono en olivares (Enguidanos Arroyo, 2019).

Del mismo modo, habría que considerar todas las entradas. La principal vía de entrada de carbono la producen los propios olivos al fijar CO_2 directamente de la atmósfera. Además, los restos de poda y el carbono almacenado en el suelo también ayudan a secuestrar carbono.

Una vez reconocidas todas las variables que conforman las entradas y las salidas, se puede calcular la huella de carbono.

En los olivares de manejo tradicional la huella de carbono suele ser positiva, es decir, son emisores netos de CO_2 . Para solventar este problema, los olivares con manejo sostenible mantienen una cobertura vegetal todo el año que ayude a fijar CO_2 , y también utilizan abonos que aumentan el secuestro de carbono. De hecho, ya se ha comprobado que el biofertilizante a base de alperujo (un subproducto de las almazaras durante la extracción del aceite) contribuye a reducir la huella de carbono y además es menos contaminante que otros abonos (Panettieri et al., 2022).

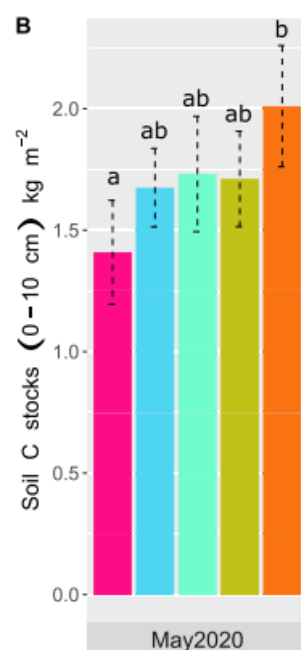


Figura 32. Carbono almacenado en el suelo tras el uso de diferentes abonos. La barra rosa, marcada con la letra a, representa el control, donde el olivo no fue abonado. El resto de las barras representan el uso de diferentes tipos y concentraciones de abonos (Panettieri et al., 2022).

Existen claras evidencias de que el tipo de manejo influye en la huella de carbono. En su tesis doctoral Torrús Castillo (2023) expone de manera muy completa las diferentes variables que tener en cuenta para calcular de la forma más precisa posible la huella de carbono del olivar. En la *Figura 33* se muestran los resultados de los cálculos mencionados, donde queda plasmada la diferencia entre el manejo convencional y el ecológico, siendo este último mucho más favorable en la acción contra el cambio climático.

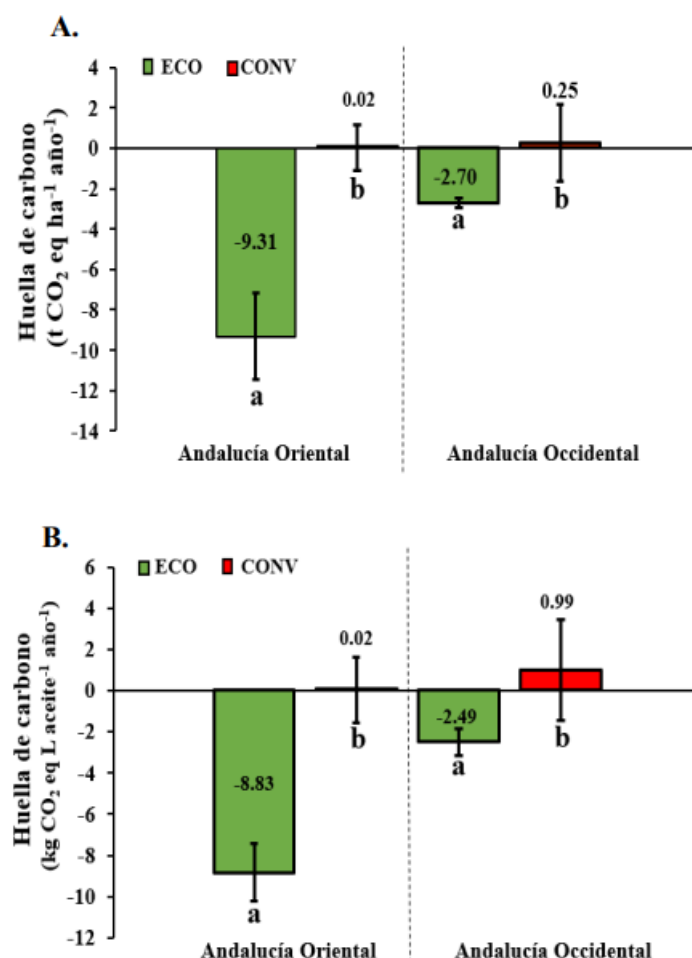


Figura 33. Huella de carbono en el olivar de Andalucía. En verde se representa el olivar con manejo ecológico y en rojo con manejo convencional (Torrús Castillo, 2023).

Torrús-Castillo et al. (2023) demuestran que, pese al manejo poco sostenible de los olivares, estos contribuyen positivamente a mitigar el cambio climático, pero tienen su potencial puede mejorarse enormemente mediante la implementación de prácticas de gestión que impulsen los procesos basados en la naturaleza.

4.6. Posibilidades de negocio en relación con los créditos de carbono (offsets credits) en los mercados voluntarios de carbono

El constante incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero está suscitando una acuciante necesidad de reducir la huella de carbono. Para fomentar esta reducción, y así mitigar los efectos del cambio climático, se han desarrollado ciertos mecanismos financieros. En enero de 2023 entró en vigor la Política Agraria Común (PAC) a nivel europeo. Esta reforma busca favorecer a los agricultores y fomenta el “Carbon Farming”, una metodología que consiste en secuestrar y almacenar carbono,

reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel agrícola. Como este tipo de agricultura baja en carbono está ligada a los mercados de carbono y a los créditos de carbono, acaba generando beneficios económicos para todos los agricultores, que logren reducir sus emisiones de CO₂ (McDonald et al., 2021).

Una de las herramientas financieras para mitigar el cambio climático es el conocido como “bono verde”, el cuál actúa más bien como un instrumento de deuda. Dicho de otro modo, aquel que recibe este bono se compromete a reducir sus emisiones de CO₂ o bien a destinar su presupuesto en proyectos comprometidos con el medioambiente (Fernández Hinojosa, 2018).

Otra herramienta son los créditos de carbono. A diferencia de la anterior, esta no depende de ningún tipo de compromiso, sino que aporta un beneficio económico en función de la reducción de la huella de carbono, como ya se explicó en el apartado “Introducción”.

Estos créditos de carbono poseen un gran potencial en el ámbito financiero, ya que, como mencionan Alonso y Marqués (2019), hoy en día, en cualquier proyecto que se desarrolle se habla de sostenibilidad.

Además, para optar por la obtención de estos créditos, el proyecto debe alcanzar ciertos estándares (Mancilla Méndez&Méndez, n.d.), lo que a su vez fomenta la calidad de las propuestas de los diferentes proyectos. Existen diversos estándares que garantizan la calidad de los proyectos, pero los principales son: Verified Carbon Standard (VCS), Gold Standard (GS) y Climate Action Reserve (CAR).

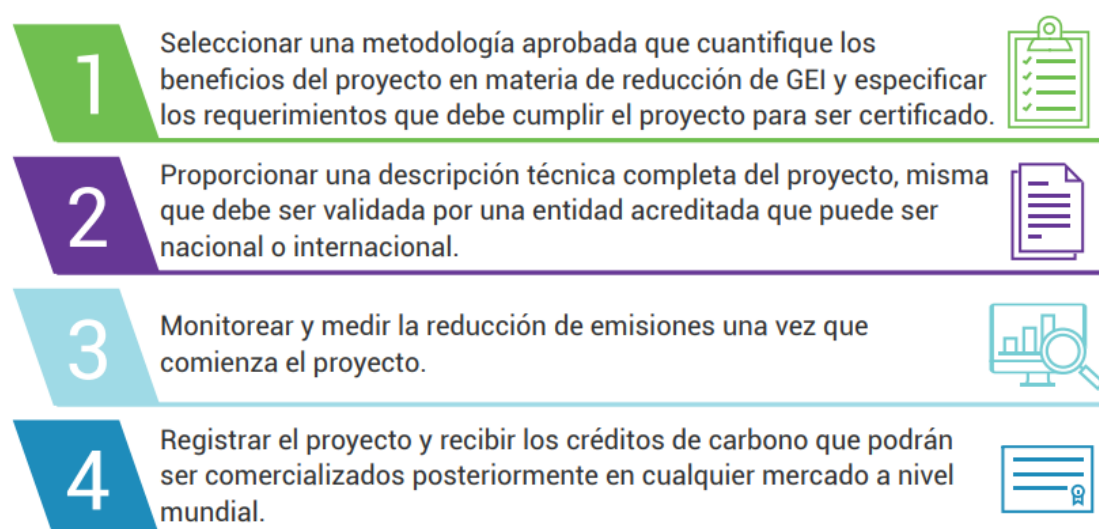


Figura 34. Procedimiento para que un proyecto reciba los créditos de carbono.

Los beneficios de utilizar esta herramienta ya se están pueden comprobar en varios proyectos en todo el mundo. Es importante recalcar, que esto va a aportar un beneficio especial en aquellos países menos desarrollados con fuentes de financiación más escasas, contribuyendo así al Objetivo de Desarrollo Sostenible 10 (ODS 10), que promueve la reducción de desigualdades en y entre los países. Esto queda demostrado en el estudio llevado a cabo por Paiva et al. (2015) donde analizan los beneficios del mercado voluntario de carbono en Brasil.

Hay incluso autores que creen que los créditos de carbono tienen aún más potencial del que se cree, con la capacidad de cambiar el modelo del mundo del mercado (Huff, 2021).

5. DISCUSIÓN

Como se comenta en el apartado anterior, el IPCC es una fuente fiable de información. Esto se ve reflejado en la precisión de sus predicciones. Sin embargo, al tratarse de una organización relativamente reciente (en comparación con la escala de sus predicciones) solo se han podido contrastar las previsiones a corto plazo. La fiabilidad de las previsiones a largo plazo no podrá ser evaluadas hasta dentro de unas décadas, aunque antes se sabrá si las de medio plazo son también precisas o no. En caso afirmativo, aportará una solidez aún más fuerte a las predicciones desarrolladas por el IPCC.

El informe SR1.5 valora cuatro escenarios. A medida que se acerca al P4 aumentan los excesos de contaminación. A pesar de que en la gráfica 21 parezca que a largo plazo (2100) el mejor escenario es el P4, ya que es el que posee las emisiones más negativas, es justo lo contrario. Esto se debe a que los esfuerzos para reducir las emisiones en este escenario han sido mucho mayores que en el resto.

Por otro lado, el informe AR6 prevé más dificultades para alcanzar las cero emisiones netas en 2050, aunque se quedarían muy próximas. Esto da a entender que, en el lapso entre la elaboración de ambos informes, la situación ha empeorado. Esto podría acercarnos al ya mencionado escenario P4, donde dependeríamos más de las tecnologías de captación de carbono.

Es importante destacar el carácter retroalimentador del cambio climático. Esto implicaría que si se llegasen a implementar acciones rápidas y efectivas se producirían una serie de consecuencias que a su vez aportarían beneficios al ser humano. Sin embargo, este carácter también podría actuar en contra, fomentando una retroalimentación negativa en caso de no aplicar las medidas necesarias. En el peor de los casos, la situación podría empeorar hasta tal punto de transformar zonas ahora habitables en no habitables, tanto para el ser humano como muchas otras especies de este planeta.

Las técnicas de mitigación y adaptación al cambio climático son clave para evitar alcanzar un mal escenario. Cabe recalcar que los cambios de AFOLU, así como la utilización de las SbN, pueden contribuir a varios ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible). Partiendo del ODS 13 (acción por el clima), al que también contribuyen el resto de las técnicas expuestas en este trabajo; indirectamente ayuda a otros como el 2 (hambre cero), ya que pueden aumentar la producción de comida de forma sostenible, o el 15 (vida de ecosistemas terrestres) al aumentar la biodiversidad del ecosistema ya que mejora la calidad de este con las prácticas sostenibles.

A su vez, entre todos los efectos positivos que aportan los cambios en AFOLU, es muy importante el que trata sobre la reducción de las pérdidas de carbono de la biota y el suelo. Para entender su relevancia, se debe saber que muchas de las actividades de mitigación del cambio climático tienen un efecto permanente; sin embargo, el carbono acumulado en las plantas y el suelo se puede volver a emitir. Así lo expone Smith (2005), que categoriza a esta acumulación en biota y suelos como no permanente. Esta característica puede revertir los beneficios conseguidos, por ello, aplicar técnicas que reduzcan estas pérdidas de carbono es muy importante.

Por otro lado, utilizar la biomasa como fuente de energía, no solo aporta beneficios económicos provenientes de la generación de electricidad, sino que además los cultivos de biomasa son permanentes y producen más beneficios ambientales que los cultivos anuales, como la conservación del suelo y la protección de la biodiversidad. Además, genera puestos de trabajo en comunidades rurales, lo que contribuye positivamente a nivel social.

Este uso de la biomasa como fuente energética y la aplicación de SbN se pueden compaginar con las BECCS y DAC, de manera que se optimicen el secuestro de carbono. El uso de la biomasa y las BECCS deben ir juntas para evitar las emisiones del uso de la biomasa como fuente de energía. De hecho, las BECCS en sí misma carece de sentido sin aplicarse a la biomasa, ya que es una medida diseñada expresamente para convertirla en una fuente de energía no contaminante.

Como se vio en los informes del IPCC, el desarrollo de estas técnicas CDR es indispensable para asegurar un futuro menos catastrófico. Es importante destacar que ya se sobrepasó cierto umbral en el calentamiento global, lo cual conlleva consecuencias negativas. La finalidad de estas técnicas es evitar que estas se agraven aún más.

En el apartado 4.3 se ha podido observar que las predicciones de los informes globales del IPCC son muy similares a las que podemos encontrar a nivel regional en Andalucía. En caso de discernir alguna diferencia, sabiendo que esta comunidad se encuentra en una región cálida, sería la acentuación de ciertas consecuencias como el incremento de temperatura con respecto a la media global.

Los efectos en la parte más continental serán más notorios que en las zonas costeras, debido a que el mar suaviza las temperaturas.

Todas las variables climatológicas expuestas a nivel andaluz están relacionadas entre sí, lo que significa que si una se altera las demás también. Por ejemplo, si aumenta

la temperatura, aumentará el índice de aridez. Una variable que tener muy en cuenta en esta región es la tasa fotosintética, cuya disminución afectaría negativamente a la producción de los cultivos.

La variable comentada justo en el párrafo anterior, puede afectar a los cultivos, en especial al olivar, que ocupa la mayor parte de superficie cultivada en Andalucía. Pero esta no es el único factor que les influye. El desplazamiento de plagas de cultivo se debe tener muy en cuenta en Andalucía, debido a su ubicación limítrofe con África, lo que la convierte en un área muy susceptible a dichas invasiones.

El cultivo del olivar, en especial su suelo, se encuentra en una situación muy degradada. Esto debido principalmente a la falta de cobertura vegetal, lo que a su vez provoca erosión, que conlleva el lavado de nutrientes como la materia orgánica, componente fundamental para un suelo de calidad. Esto perjudica a la microbiota del suelo, que no solo afecta a la salud del olivo, sino que tiene un importante papel como secuestrador de carbono.

Todos estos problemas acaban afectando negativamente al olivo y a todo su ecosistema. Esto genera problemas graves a niveles ecológicos a la par que socioeconómicos (ya que disminuye la producción y, por ejemplo, los agricultores deben gastar muchos recursos en fertilizantes y otros productos que compensen la falta de calidad del suelo).

Queda claro, que la materia orgánica para el suelo es muy importante, de hecho, se ha mencionado que indirectamente afecta a secuestrar carbono por medio de la microbiota. A raíz de esto, se creó la iniciativa “4perMille” que explica que aumentando el contenido de carbono orgánico del suelo un 0,4% (el equivalente a un cuatro por mil, de ahí el nombre de la iniciativa) se compensarían todas las emisiones de carbono provenientes de los combustibles fósiles (Minasny et al., 2017).

Cambiar el uso del olivar del convencional al ecológico conllevaría acciones que aumentarían el porcentaje de materia orgánica en suelos. Esto ayudaría a disminuir la huella de carbono del ecosistema, como explica Torrús Castillo (2023) en su tesis. Asimismo, para conseguir una disminución de esta huella es muy importante calcularla, ya que puede arrojar información sobre que variable emite más carbono, lo que podría ayudar a regularlo o eliminarlo. Del mismo modo se puede potenciar aquel que secuestre más carbono, o bien, si es una medida que no está presente en otros cultivos se puede comenzar a usar en esos.

En lo respectivo al apartado 4.6, se debe enfatizar la diferencia entre bono verde y crédito de carbono. González Lara (2014) expone que un bono verde es un instrumento financiero de deuda, mientras que un crédito de carbono es un certificado que registra una reducción de la huella de carbono.

Los créditos de carbono no solo mitigan el cambio climático, sino que pueden ayudar a financiar algunos proyectos, esto es realmente importante sobre todo para las empresas más pequeñas. Asimismo, la agricultura baja en carbono necesaria para generar dichos créditos, también genera beneficios a nivel ecosistémico, como el aumento de la biodiversidad.

Por último, cabe recalcar que los estándares que estos créditos poseen se pueden ir modificando con el tiempo, de manera que se vaya adaptando a la situación, pudiendo exigir medidas de mayor calidad y con emisiones netas negativas, para alcanzar un buen escenario climático a futuro (como los descritos previamente en este trabajo). Esto convierte a los créditos de carbono en una herramienta muy valiosa capaz de afectar positivamente al ámbito ecológico y al socioeconómico.

6. CONCLUSIÓN

Con toda la información expuesta en este trabajo se obtienen las siguientes conclusiones:

- El cambio climático es un problema real, de causa antrópica cuyos efectos se harán cada vez más visibles. Cuanto antes comiencen a reducirse las emisiones de carbono a nivel global más problemas serán evitados.
- Los modelos de predicción del cambio climático existentes son bastante precisos y nos aportan información útil sobre cuál es la forma más eficiente de actuar.
- Las técnicas de mitigación y adaptación al cambio climático, basadas principalmente en el secuestro de carbono, tanto de forma directa como indirecta, suponen la mejor baza del ser humano para evitar los peores escenarios climáticos.
- Andalucía, así como sus olivares, pueden convertirse en una de las zonas más afectadas por los efectos negativos del cambio climático.
- La metodología de la huella de carbono supone una herramienta muy útil para ayudar a crear sistemas secuestradores neto de carbono.
- Los créditos de carbono podrán ayudar a crear proyectos más sostenibles, y acercarán las ayudas económicas a los sectores más desfavorecidos de la sociedad, promoviendo un desarrollo socioeconómico a la par que el beneficio medioambiental que conlleva fomentar las reducciones de emisiones de carbono.

7. BIBLIOGRAFÍA

2307 OCA Campiña de Jaén - Junta de Andalucía. (2013). https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-12/2307_OCA_Campi%C3%B1a%20de%20Jaen.pdf

Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld, 2018: Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 49-92, doi:[10.1017/9781009157940.003](https://doi.org/10.1017/9781009157940.003).

Alonso, A., & Marqués, J. M. (2019). Innovación financiera para una economía sostenible (Financial Innovation for a Sustainable Economy). *Banco de España Occasional Paper*, (1916).

Andrade, J. M. M., Martínez, S. V. H., Niño, L. G. M., & Torres, N. E. G. (2019). El Turismo como contribución al crecimiento del PIB, para el desarrollo de la economía del país. *Clío América*, 13(25), 324-325.

Anwar, F., Chaudhry, F. N., Nazeer, S., Zaman, N., & Azam, S. (2015). Causes of ozone layer depletion and its effects on human. *Atmospheric and Climate Sciences*, 6(1), 129-134.

Bahri, T., De Young, C., Cochrane, K., & Soto, D. (2012). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO.

Barriopedro, D., García-Herrera, R., Ordóñez, C., Miralles, D. G., & Salcedo-Sanz, S. (2023). Heat waves: Physical understanding and scientific challenges. *Reviews of Geophysics*, e2022RG000780.

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15(4), 365-377.

Benevolenza, M. A., & DeRigne, L. (2019). The impact of climate change and natural disasters on vulnerable populations: A systematic review of literature. *Journal of Human Behavior in the Social Environment*, 29(2), 266-281.

Bumpus, A. G. (2011). The matter of carbon: understanding the materiality of tCO₂e in carbon offsets. *Antipode*, 43(3), 612-638.

Carleton, T. A., & Hsiang, S. M. (2016). Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304), aad9837.

Castiel, A. F. (2018). Impacto del cambio climático sobre los insectos vectores de patógenos de plantas. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (300), 105-109.

Cianconi, P., Betrò, S., & Janiri, L. (2020). The impact of climate change on mental health: a systematic descriptive review. *Frontiers in psychiatry*, 11, 74.

Convención Marco De Las Naciones Unidas sobre el cambio climático - ACNUR. (n.d.). <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/6907.pdf>

Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).

Ditlevsen, P., & Ditlevsen, S. (2023). Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. *Nature Communications*, 14(1), 4254.

Domínguez Carmona, A. (2021). Prevención y restauración de cárcavas asociadas a infraestructuras viarias en la provincia de Jaén mediante actuaciones de soft-engineering [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Jaén]

Efecto Invernadero. (n.d.). https://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Efecto_invernadero.htm

Enguidanos Arroyo, E. (2019). Estimación de la huella de carbono en el sector del aceite de oliva en la provincia de Toledo.

EPA (2023). Emisiones de dióxido de carbono. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información tecnológica*, 23(1), 163-176.

Fernández Hinojosa, J. C. (2018). Los bonos verdes: el caso de Iberdrola.

Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L., & Santos, J. A. (2020). Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies. *Agronomy*, 11(1), 56.

Frisk, D. (2021). Integration of Heat Recovery from BECCS in a Multi-source Heat and Power Plant: Case Study of Stockholm Exergi.

Fuss, S., Minx, J. C., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., ... & Dominguez, M. D. M. Z. (2018a). Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis. *Environmental Research Letters*, 13(6), 063001.

Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., ... & Minx, J. C. (2018b). Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental research letters*, 13(6), 063002.

Galan-Martin, A., del Mar Contreras, M., Romero, I., Ruiz, E., Bueno-Rodríguez, S., Eliche-Quesada, D., & Castro-Galiano, E. (2022). The potential role of olive groves to deliver carbon dioxide removal in a carbon-neutral Europe: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, 112609.

Gallardo Nogales, L. (2018). Importancia económica y perspectivas empresariales del sector oleícola andaluz: el caso de Oleoestepa.

Garza, D., Dargusch, P., & Wadley, D. (2023). A Technological Review of Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS): Global Standing and Potential Application in Australia. *Energies*, 16(10), 4090.

Girardin, C. A., Jenkins, S., Seddon, N., Allen, M., Lewis, S. L., Wheeler, C. E., ... & Malhi, Y. (2021). Nature-based solutions can help cool the planet—if we act now. *Nature*, 593(7858), 191-194.

González Lara, M. (2014). Bonos Verdes. Blogs del Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/voices/bonos-verdes>

Guedri Prados, Fátima (2023). Evolución del sector del aceite de oliva en España.

Hódar, J. A., Zamora, R., & Cayuela, L. (2012). Cambio climático y plagas: algo más que el clima. *Ecosistemas*, 21(3), 73-78.

Huff, A. (2021). Frictitious commodities: Virtuality, virtue and value in the carbon economy of repair. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 25148486211015056.

Intergovernmental Panel on Climate Change. “16 Years of scientific assesment in support of the climate convention”, 2004.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press,

Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, doi:10.1017/9781009157940.001.

IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

Junta de Andalucía (n.d.). Evolución de las principales variables climáticas actualizadas al 4º Informe del IPCC – Portal Ambiental de Andalucía. <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/areas-tematicas/cambio-climatico-y-clima/escenarios-locales-de-cambio-climatico/escenarios-locales-de-cambio-climatico-actualizados-4-informe-ipcc/evolucion-principales-variables-climaticas>

Kumar, A., Madden, D.G., Lusi, M., Chen, K.-J., Daniels, E.A., Curtin, T., Perry, J.J., IV and Zaworotko, M.J. (2015), Direct Air Capture of CO₂ by Physisorbent Materials. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 54: 14372-14377.

La Influencia del Ser Humano en el cambio climático. ICC. (2018) <https://icc.org.gt/es/la-influencia-del-ser-humano-en-el-cambio-climatico/>

Lake, I. R., & Barker, G. C. (2018). Climate change, foodborne pathogens and illness in higher-income countries. *Current environmental health reports*, 5, 187-196.

Lesaga, A. F. (2022) Efectos del cambio climático en la fenología del olivo (*Olea europaea* L.). Historia, biología y economía.

Lopes, E., Mondragão-Rodrigues, F., Vivas, P., de Carvalho, G. P., Alcino, L., Peixe, A., ... & Salguero, J. (2019). Fenología floral del olivo en tres variedades tradicionales portuguesas y su relación con las variables ambientales. *Comunicaciones Científicas Symposium Expoliva*.

López-Bellido Garrido, P. J. (2017). Balance y huella de carbono en plantaciones de olivar en el sur de España.

Lucas, R. S. (2019). Estudio del efecto del aumento de la temperatura asociado a las condiciones del cambio climático sobre el olivo (*Olea europaea* L.) mediante el uso integrado de técnicas de fisiología y bioquímica clásica, proteómica y metabolómica y transcriptómica (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba (ESP)).

McDonald, H., Frelih-Larsen, A., Keenleyside, C., Lóránt, A., Duin, L., Andersen, S. P., ... & Hiller, N. (2021). Carbon farming, Making agriculture fit for 2030.

Mancilla Méndez, Y., & Méndez, Y. M. (n.d.) Estándares de los mercados voluntarios de carbono.

Millán Vásquez de la Torre, M. G., Hidalgo, L. A., & Arjona Fuentes, J. M. (2015). El oleoturismo: una alternativa para preservar los paisajes del olivar y promover el desarrollo rural y regional de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande*, (60), 195-214.

Miller, A. D., Dietze, M. C., DeLucia, E. H., & Anderson-Teixeira, K. J. (2016). Alteration of forest succession and carbon cycling under elevated CO₂. *Global Change Biology*, 22(1), 351-363.

Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., ... & Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86.

Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2020. *Aceite de oliva*. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx#:~:text=El%20olivar%20abarca%20%2C75,y%20este%20de%20la%20pen%C3%ADnsula>.

Moral, F. G., Alcalá, C. M., & Pajares, E. M. (2018). Evolución de las exportaciones españolas de aceite de oliva y composición geográfica de su crecimiento (2008-2017). *Boletín Económico de ICE*, (3101), 19-30.

Need, P. I. (n. d.). *What is climate change*. People in Need. https://climate.peopleinneed.net/climate-change?qclid=EAlalQobChMluOuUqsingQMV_IBQBh1tGQv6EAAYAiAAEgKhb_D_BwE#degrees-of-global-warming

Oliveira, A., Lopes, A., & Soares, A. (2022). Excess heat factor climatology, trends, and exposure across European functional urban areas. *Weather and Climate Extremes*, 36, 100455.

Olmedo, E., & Turiel, A. (2022). Tormentas y sequías a la vista: el cambio climático está acelerando el ciclo del agua.

Paiva, D. S., Fernandez, L. G., Ventura, A. C., Alvarez, G., & Andrade, J. C. S. (2015). Mercado voluntário de carbono: análises de cobenefícios de projetos brasileiros. *Revista de Administração Contemporânea*, 19, 45-64.

Panettieri, M., Moreno, B., de Sosa, L. L., Benítez, E., & Madejón, E. (2022). Soil management and compost amendment are the main drivers of carbon sequestration in rainfed olive trees agroecosystems: An evaluation of chemical and biological markers. *Catena*, 214, 106258.

Pascual, D., & Johansson, M. (2022). Increasing impacts of extreme winter warming events on permafrost. *Weather and Climate Extremes*, 36, 100450.

Power-Porto, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Ingeniería Industrial*, 27(027), 101-122.

Ramos Vásquez, E., & Zúñiga Dávila, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 123-130.

Rey Benayas, J. M. (2012). Restauración de campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra para aumentar su biodiversidad y servicios ecosistémicos.

Rojas, E. M., Quintana, S. C., Guevara, J. V., Ortiz, E. D., Santillan, T. S., & Rosero, M. G. (2021). Efectos del cambio climático en fincas cafetaleras: una revisión bibliográfica con énfasis en Perú. *Apuntes Universitarios*, 11(1), 55-71.

Sánchez Mendoza, B., Flores Villalva, S., Rodríguez Hernández, E., Anaya Escalera, A. M., & Contreras Contreras, E. A. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11, 126-145.

Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C. W., Abad, C. R., Romanovskaya, A., Sperling, F., Tubiello, F. N., & Bolwig, S. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 811-922). Cambridge University Press.

Smith P. (2005). An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: Influence of direct human-induced, indirect and natural effects. *European Journal of Soil Science* 56, 673–680.

Tito Vargas, C. F. (2012). Estimación cuantitativa de la capacidad de captura del CO₂ en plantaciones de olivo en el distrito de Tacna, 2010.

Torrús Castillo, M. (2023). Balance y huella de carbono en olivares andaluces bajo distintas prácticas de manejo.

Torrús-Castillo, M., Calero, J., & García-Ruiz, R. (2023). Does olive cultivation sequester carbon?: Carbon balance along a C input gradient. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 358, 108707.

UICN. En prensa. Guía para el diseño de proyectos de restauración en cumplimiento con el estándar global de las soluciones basadas en la naturaleza de la UICN. Centro de Cooperación para el Mediterráneo de la UICN.

Veliz Rojas, L. H., & Bianchetti Saavedra, A. F. (2013). Cambio climático y salud pública: acciones desde la institucionalidad en el escenario sociocultural actual. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 22(2), 163-168.

Vicentin, I. G., Heinz, R. A., Ghione, C. E., Cuatrin, A., & Gilli, J. R. (2020). Diferencias e importancia de la duración del periodo a floración y del periodo reproductivo en sojas con similar longitud de ciclo.

Zambrano, A., Franquis, F., & Infante, A. (2004). Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Revista Forestal Latinoamericana*, 35, 11-20.