



El curso de “BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA LA REDUCCIÓN DE GEI” ha sido elaborado dentro del proyecto “AUMENTO DE FIJACIÓN DE CO2 EN LA AGRICULTURA CON PRÁCTICAS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN HUERTOS ECOLÓGICOS” concedido a INEA en la convocatoria de subvenciones para proyectos de fomento de Economía Circular, Ecoinnovación y Ecodiseño en el municipio de Valladolid en el año 2021 concedidas por parte de la Agencia de Innovación y Desarrollo Económico del Ayuntamiento de Valladolid.

Contenido

1. El cambio climático.....	4
1.1. ¿Qué es el cambio climático?.....	4
1.2. IPCC.....	6
1.3. El cambio de clima es una realidad observable	8
1.4. ¿A quién afecta el cambio climático?	10
1.5. ¿Cuáles son los objetivos de reducción de emisiones de los países?	12
1.6. ¿Cuáles son los Objetivos Climáticos en Valladolid?.....	13
1.7. ¿Qué podemos hacer?	16
1.7.1. Reduce tu huella de carbono	16
1.7.2. Cuida del agua	16
1.7.3. Aliméntate de forma sostenible.....	16
1.7.4. Apoya el uso de energías alternativas.....	17
1.7.5. Muévete con menos emisiones	17
2. Gases de efecto invernadero	17
2.1. El Albedo.....	20
3. La agricultura y el cambio climático.....	23
3.1. La implicación de la agricultura en las emisiones de GEI	25
3.2. La implicación de la Agricultura en el secuestro de GEI.....	26
3.3. ¿Por qué absorben CO ₂ las plantas?	32
4. Buenas prácticas agrícolas.....	36
5. Compostaje	44
5.1. ¿Qué es el compost?.....	44
5.2. La importancia de los microorganismos.....	46
5.3. El control de parámetros en el proceso de compostaje	47
5.3.1. La temperatura como mejor indicador del proceso	48
5.3.2. La aireación en el compostaje.....	49
5.3.3. La humedad en el compostaje	51
5.3.4. El pH en el proceso de compostaje	51

5.4. ¿Qué podemos compostar?	52
5.4.1. Elaboración de mezclas para el compostaje: ajuste de la relación C/N y otros aspectos nutricionales.....	54
5.4.2. El tamaño de la partícula	55
5.5. ¿Cómo podemos compostar?	56
5.6. Beneficios del compostaje	56
5.7. Criterios de calidad del compost.....	57
5.8. Uso de compost	58
5.9. Aplicación de compost en la agricultura ecológica.....	59
6. Bibliografía y material complementario	62

1. El cambio climático

1.1. ¿Qué es el cambio climático?

Se denomina clima al conjunto de situaciones que determinan el estado medio atmosférico en una determinada zona durante un período de tiempo preestablecido. Por ello, cuando oímos hablar de un determinado tipo de clima (por ejemplo el mediterráneo) se hace referencia a unas características particulares que se han observado a lo largo de un periodo de tiempo mínimo que ronda los 30 años. Son muchos los factores que inciden en la caracterización de un determinado tipo climático tales como la latitud, altitud, orografía y orientación del relieve, masas de agua, distancia al mar, insolación, dirección de los vientos y corrientes oceánicas, etc.

El clima de la Tierra ha variado continuamente desde la formación del planeta y la atmósfera hace unos 4.500 millones de años.

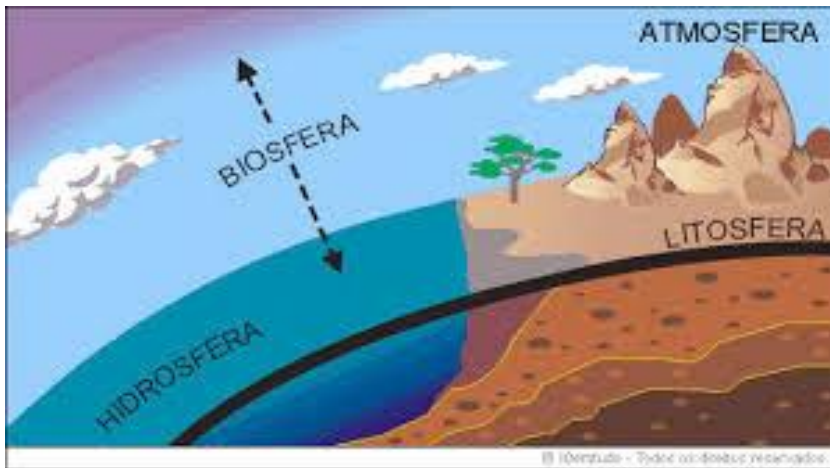
El clima de la Tierra ha pasado por diversas fases de glaciaciones y períodos interglaciares, con espacios temporales de cientos de miles de años de duración.

A lo largo de estas fases la temperatura media del planeta ha ido variando, subiendo y bajando. Las variaciones de la temperatura media terrestre, que han provocado la sucesión de estos períodos glaciares e interglaciares, se han establecido en un rango que ha ido entre los 5° a 7° C ascendentes o descendentes (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]). En la actualidad nos encontramos en un periodo interglaciar tras la última glaciación acontecida, la de Würm, finalizada hace unos 12.000 años y que duró unos 100.000 años.

Los cambios experimentados por el clima a lo largo de la historia del planeta, considerados de origen natural, se deben a modificaciones en el balance entre la energía solar absorbida y la emitida por la Tierra. El Sol activa el clima de la Tierra, irradiando energía sobre el planeta, de esa energía, una tercera parte alcanza la zona superior de la atmósfera terrestre y se refleja directamente de nuevo al espacio.

Las dos terceras partes restantes son absorbidas, en su mayoría, por la superficie de la Tierra y algo por la atmósfera. Para equilibrar la energía absorbida, la Tierra debe irradiar la misma cantidad de energía al espacio. Este balance se puede ver modificado y generar cambios climáticos por tres causas principales:

1. La cantidad de energía que emite el Sol (y que recibe la Tierra) no es constante, está sometida a los ciclos de actividad solar, a veces más intensos y otras menos.
2. Los cambios en la posición de la órbita y en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, que provocan que se reciba una mayor o menor cantidad de energía desde el Sol.
3. Las propias modificaciones e interacciones entre los elementos que constituyen el denominado sistema climático, y que son:
 - La atmósfera
 - La hidrosfera
 - La litosfera
 - La criosfera
 - La biosfera



Un buen ejemplo de estas interacciones y de cómo los cambios en alguno de los elementos del sistema climático provocan modificaciones climáticas es el provocado por una intensa actividad volcánica. El 5 de abril de 1815, una descomunal erupción del volcán Tambora en Indonesia, inyectó tanta ceniza en la capa superior de la atmósfera que produjo una disminución de la cantidad de luz solar que llegaba a la Tierra. Esto provocó una importante bajada de las temperaturas que hizo que 1816 se conociera como «el año sin verano».

También la llamada «Pequeña edad del hielo», acontecida aproximadamente entre los siglos XV y XIX tiene relación con una mayor actividad volcánica.

En definitiva, se le denomina cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Esta variación se debe a causas naturales y a la acción humana, y se produce sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad..., a muy diversas escalas de tiempo.

El cambio climático que estamos viviendo en la actualidad, tiene las siguientes características:

Es rápido, muy rápido, y por ello es muy difícil, si no imposible, la adaptación de los ecosistemas y sistemas socioeconómicos.

Es más agresivo por causas antropogénicas. En la actualidad existe un consenso científico, casi generalizado, en torno a la idea de que nuestro modo de producción y consumo energético es el que está generando una mayor alteración climática global debido a las altas emisiones de “gases de efecto invernadero” (GEI).

1.2.IPCC

El IPCC es el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y lleva realizando informes sobre estas modificaciones en el clima desde 1990. Este primer informe, confirmó cuales eran los elementos científicos que suscitaban preocupación.

El 2º informe "Cambio climático 1995", se publicó con el fin de evaluar la información conocida con respecto al cambio climático desde los puntos de vista científico, técnico y socioeconómico, sus efectos potenciales, y las alternativas de mitigación y adaptación.

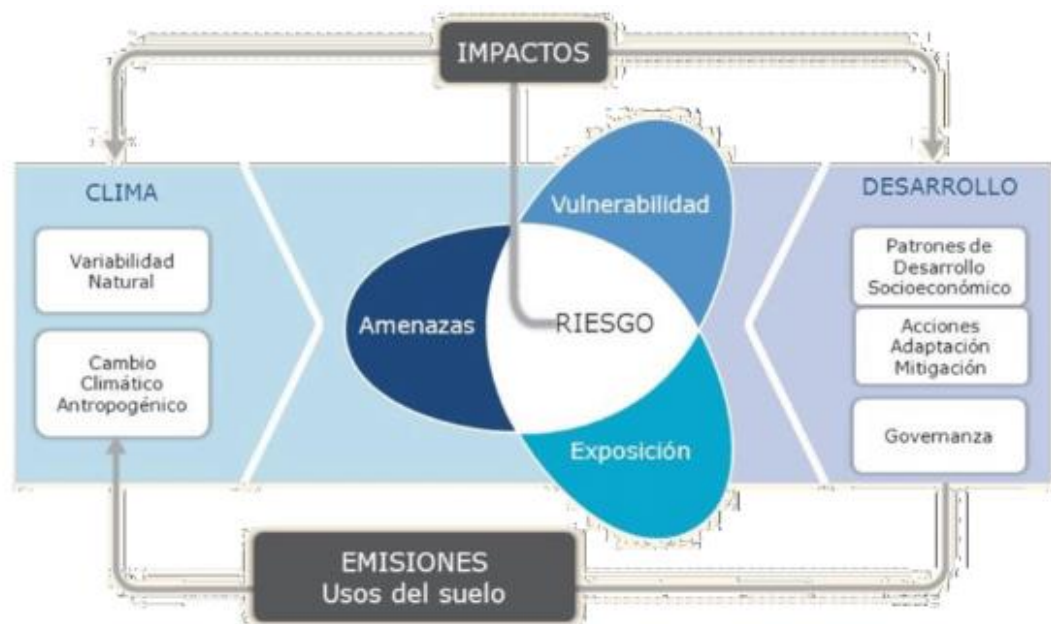
En 2001 el 3º Informe de Evaluación del IPCC se exponen las observaciones y los cambios del sistema climático debido a las emisiones de gases de efecto invernadero y de aerosoles debidas a actividades humanas que modifican la atmósfera ocasionando que las T° promedio de superficie se hayan incrementado en el siglo XX 0,6°C; las temperaturas habrían aumentado durante las últimas cuatro décadas en los 8 km inferiores de la atmósfera; la cubierta de nieve y la extensión del hielo habrían disminuido.

El 4º informe de noviembre de 2007, el grupo de trabajo señaló una tendencia creciente en los eventos extremos observados en los pasados cincuenta años y considera probable que las altas temperaturas, olas de calor y fuertes precipitaciones continuarán siendo más frecuentes en el futuro.

El Informe de Síntesis del 5º Informe de Evaluación del IPCC (2014) concluyó que “La influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas. Sin

embargo, existen opciones para la adaptación al cambio climático y, con actividades de mitigación rigurosas, se puede conseguir que los impactos del cambio climático permanezcan en un nivel controlable, creando un futuro más claro y sostenible”.

Y el Informe de Síntesis del 6º Informe de Evaluación del IPCC (2022) ofrece una evaluación detallada de los impactos, riesgos y adaptación al cambio climático en las ciudades, donde vive más de la mitad de la población mundial.



Factores antropogénicos de cambio: aquellos derivados de la actividad humana que originan cambios en el sistema costero como son el desarrollo socioeconómico, el desvío de caudales de agua dulce o la retención de sedimentos (Losada et al., 2014).

Impacto: (consecuencias, resultados) (impacts (consequences, outcomes) Consecuencias de los riesgos materializados en los sistemas humanos y naturales, donde los riesgos provienen de las interacciones entre los peligros relacionados con el clima (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la exposición y la vulnerabilidad. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) e infraestructuras. También pueden denominarse consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos (IPCC, 2018)

Riesgo: Potencial de que se produzcan consecuencias adversas por las cuales algo de valor está en peligro y en las cuales un desenlace o la magnitud del desenlace son inciertos. En el marco de la evaluación de los impactos del clima, el término riesgo suele utilizarse para hacer referencia al potencial de consecuencias adversas de un peligro relacionado con el clima, o de las respuestas de adaptación o mitigación a dicho peligro, en la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos), y la infraestructura. Los riesgos se derivan de la interacción de la vulnerabilidad (del sistema afectado), la exposición a lo largo del tiempo (al peligro), así como el peligro (relacionado con el clima) y la probabilidad de que ocurra (IPCC, 2018).

Vulnerabilidad: estado de susceptibilidad del ecosistema o sistema socio-ecológico de estudio a las perturbaciones del cambio climático. Está compuesto de tres elementos generales: exposición al impacto, sensibilidad al impacto y capacidad adaptativa al impacto (Cinner et al., 2013).

En este informe se ofrecen nuevas estimaciones sobre las probabilidades de sobrepasar el nivel de calentamiento global de 1,5 °C en las próximas décadas, y se concluye que, a menos que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, limitar el calentamiento a cerca de 1,5 °C o incluso a 2 °C será un objetivo inalcanzable.

Según este informe, las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las actividades humanas son responsables de un

calentamiento de aproximadamente 1,1 °C desde 1850-1900, y se prevé que la temperatura mundial promediada durante los próximos 20 años alcanzará o superará un calentamiento de 1,5 °C. Este dato es fruto de la mejora de los conjuntos de datos de observación para evaluar el calentamiento histórico, así como de los progresos en el conocimiento científico de la respuesta del sistema climático a las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el ser humano.



1.3.El cambio de clima es una realidad observable

El cambio climático ya es una realidad que se expresa en todo el planeta a través del ascenso de las temperaturas medias, la subida del nivel del mar, el deshielo en el Ártico o el aumento del número de eventos extremos.

El cambio del clima adquiere rasgos específicos en diferentes zonas del planeta. En el territorio español se ha observado:

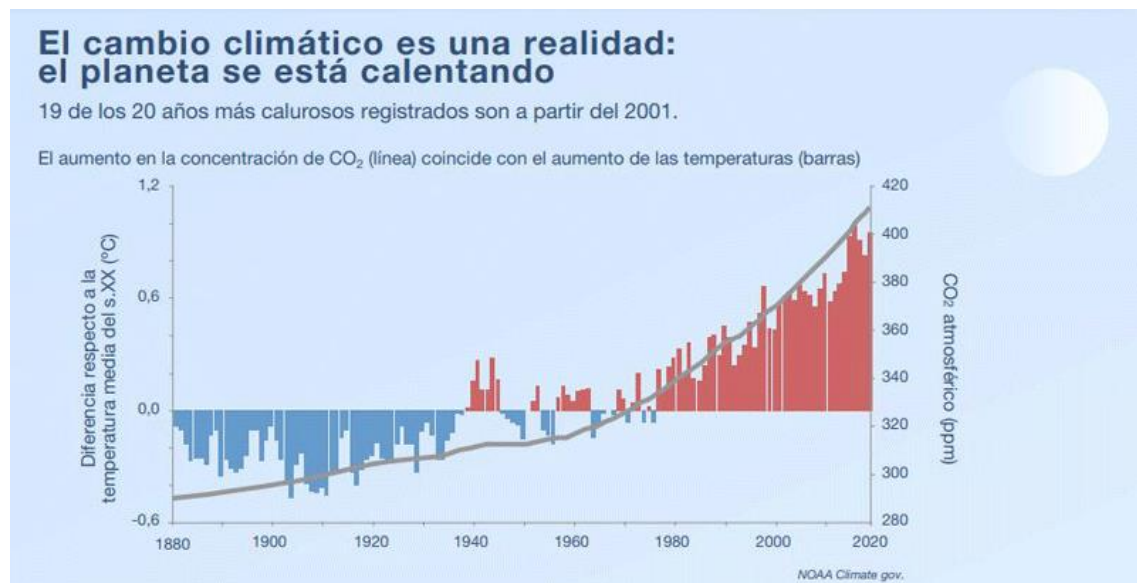
Según la *AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) el alargamiento de los veranos es de casi cinco semanas más desde los años 70 del siglo pasado.

La disminución de los caudales medios de los ríos, en algunos casos más del 20% en las últimas décadas.

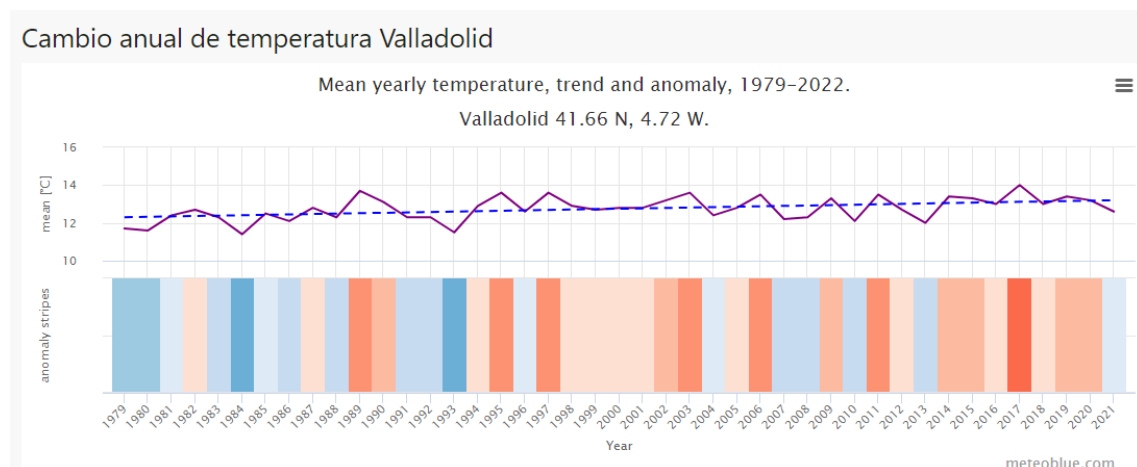
La expansión del clima de tipo semiárido, con más de 30.000 Km² de nuevos territorios semiáridos en unas pocas décadas.

El incremento de las olas de calor, cada vez más frecuentes, largas y más intensas.

*AEMET es la Agencia Estatal de Meteorología y entre sus numerosas funciones tiene la de elaborar y actualizar los escenarios de cambio climático en España.



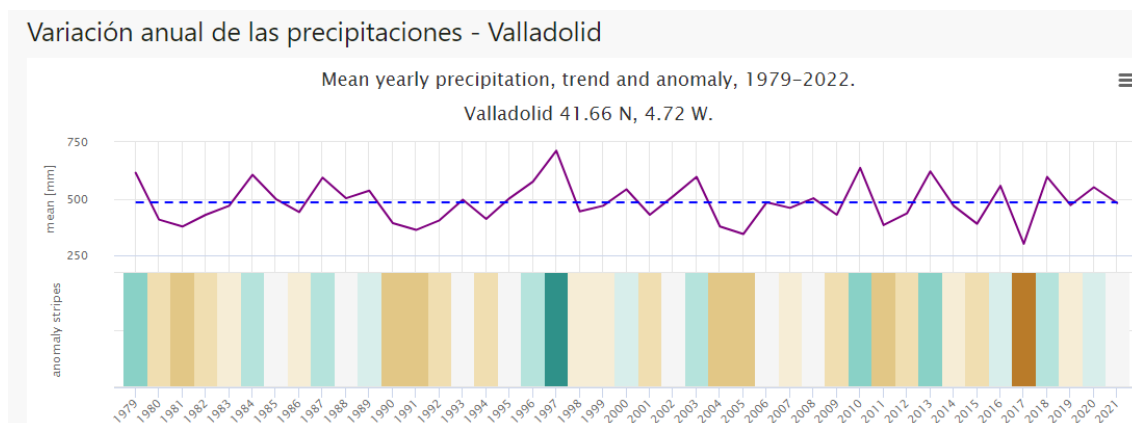
En Valladolid, el cambio de temperatura media anual también ha aumentado. Este aumento puede verse en el siguiente gráfico.



La línea azul discontinua es la tendencia linear del cambio climático. Si la línea de tendencia sube de izquierda a derecha, la tendencia de la temperatura es positiva. Si es horizontal, no se ve ninguna tendencia clara, y si va hacia abajo, las condiciones en Valladolid se están refrescando con el tiempo.

En la parte inferior, el gráfico muestra las denominadas "franjas de calentamiento". Cada franja de color representa la temperatura media de un año: azul para los años más fríos y rojo para los más cálidos

El siguiente gráfico muestra una estimación de la precipitación total media para la región de Valladolid.



La línea azul discontinua es la tendencia lineal del cambio climático. Si la línea de tendencia sube de izquierda a derecha, la tendencia de la precipitación es positiva y las condiciones en Valladolid se están tornando más húmedas debido al cambio climático. Si es horizontal, no se observa ninguna tendencia clara y si va hacia abajo, las condiciones en Valladolid son cada vez más secas con el paso del tiempo.

En la parte inferior, el gráfico muestra las denominadas "fajas de precipitación". Cada faja de color representa la precipitación total de un año: verde para los años más húmedos y marrón para los más secos.

1.4.¿A quién afecta el cambio climático?

El cambio climático nos afecta a todos. El impacto potencial es enorme, con predicciones de falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor.

El Informe de Síntesis del 6º informe del IPCC antes mencionado confirma que:

“El cambio climático se constata en todo el mundo y que el calentamiento del sistema climático es inequívoco. Desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios y los impactos del cambio climático ya se han sentido en los últimos decenios en todos los continentes y océanos”.

El cambio climático no es un fenómeno solo ambiental sino de profundas consecuencias económicas y sociales. Los países más pobres, que están peor preparados para enfrentar cambios rápidos, serán los que sufrirán las peores consecuencias.

El mismo Informe de Síntesis sostiene con claridad estos dos argumentos:

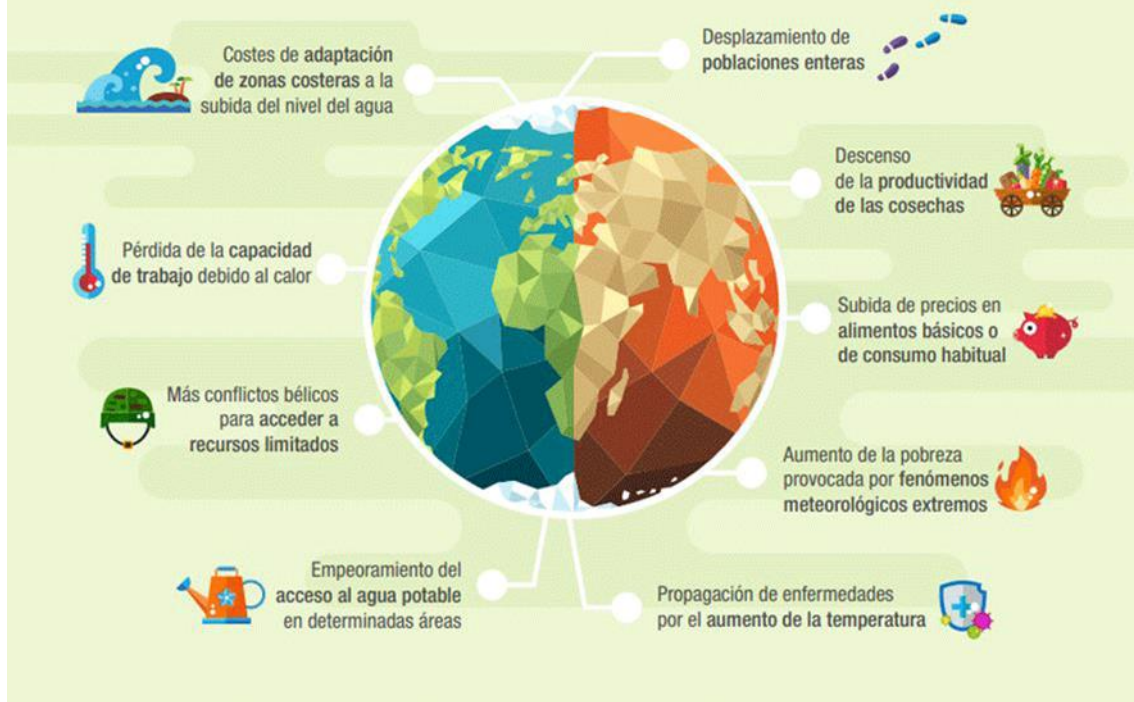
“Muchos riesgos son particularmente problemáticos para los países menos adelantados y las comunidades vulnerables, dada su limitada capacidad para afrontarlos. Las personas marginadas en los ámbitos social, económico, cultural, político, institucional u otro son especialmente vulnerables al cambio climático”.

“Para limitar realmente los riesgos del cambio climático, es necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero. Y en la medida en que la mitigación reduce la tasa y la magnitud del calentamiento, también dilata el tiempo de que disponemos para la adaptación a un nivel determinado del cambio climático, potencialmente en varios decenios”.

En consecuencia, aunque existen incertidumbres que no permiten cuantificar con la suficiente precisión los cambios del clima previstos, la información validada hasta ahora es suficiente para tomar medidas de forma inmediata.

Afecta en gran medida al bienestar humano y a todos los sectores de actividad

Influye, de forma directa e indirecta, a través de sus impactos en los sistemas naturales y socioeconómicos.



1.5. ¿Cuáles son los objetivos de reducción de emisiones de los países?

Cada 5 años, todos los países deben comunicar y mantener sus objetivos nacionales de reducción de emisiones (sus planes de desarrollo para la reducción de emisiones). Además, todos los países deben poner en marcha políticas y medidas nacionales para alcanzar dichos objetivos. Así, se han presentado 190 planes de lucha contra el cambio climático.

El Acuerdo de París reconoce la importancia de ir incrementando la ambición de los compromisos con objetivos cada vez más ambiciosos, es decir, cada 5 años los compromisos de los países serán cada vez mayores.

Asimismo, el Acuerdo reconoce la importancia de los ecosistemas como sumideros de carbono, en particular, los bosques, que se incluyen explícitamente en el Acuerdo, y reconoce la posibilidad de utilizar mecanismos de mercado para cumplir con los objetivos que se marquen los países, si éstos así lo deciden en sus contribuciones.

1.6. ¿Cuáles son los Objetivos Climáticos en Valladolid?

La Estrategia, que fue aprobada en la última Junta de Gobierno, da respuesta al compromiso adquirido en el ámbito del proyecto europeo "Ciudades Verdes Cencyl", una iniciativa de cooperación España-Portugal que gestiona la Concejalía de Innovación, Desarrollo Económico, Empleo y Comercio, a través de la Agencia de Innovación, en la que el Ayuntamiento de Valladolid comparte consorcio con otras ciudades como Salamanca, Ciudad Rodrigo, Aveiro, Figueira da Foz y Guarda.

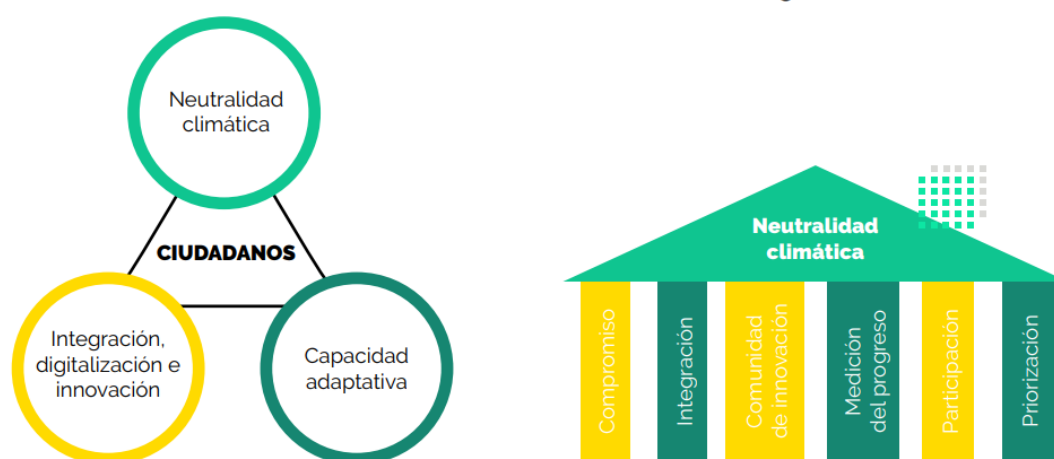
Valladolid, por tanto, aborda con todas ellas una visión común, holística e integrada a la hora de afrontar las medidas necesarias para adaptarse al cambio climático. Todo ello para la consecución del objetivo de neutralidad climática en el año 2030, de tal modo que la Acción por el Clima del Ayuntamiento de Valladolid se posicione y esté en línea con las diferentes políticas nacionales y europeas en este ámbito para facilitar el acceso a fondos europeos.

El documento integra también la visión y aportaciones de otras áreas municipales, especialmente la de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y aborda los retos clave del siglo XXI que recogen distintos planes internacionales, nacionales y autonómicos como el Pacto Verde europeo, el Acuerdo de París de 2015 y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.



Objetivos de desarrollo sostenibles

La Estrategia de Cambio Climático de Valladolid supone una aportación esencial en la adhesión de la Misión 100 Ciudades Inteligentes y Climáticamente Neutras, del programa Horizonte Europa, a la que Valladolid aspira y recoge además las principales líneas de adaptación y mitigación ya existentes en otros planes municipales. De este modo, plasma una acción colectiva para hacer frente a los impactos inevitables del cambio climático en pro de la salud y bienestar de las personas en todos sus aspectos (medición, transparencia, prevención, mitigación, participación activa y gobernanza). Contempla medidas en distintos ámbitos de la gestión municipal, desde el urbanismo, el medio ambiente, la salud, la educación y la participación ciudadana hasta la movilidad o la eficiencia energética, que permitan hacer frente a los impactos asociados al cambio climático de una manera efectiva.



Pilares y ámbitos para alcanzar la neutralidad climática y un Valladolid resiliente (Estrategia de cambio climático Valladolid)
http://www.valladolidadelante.es/sites/default/files/Climate_Plan.pdf

El objetivo de la estrategia es la reducción del 100% de los efectos de los gases invernadero en el año 2030, así como aumentar la resiliencia de la ciudad frente al cambio climático, a través de la digitalización, la gestión de datos e integración de la información y la innovación, que se utilizan como base y palancas para alcanzar la neutralidad climática y para afrontar de un modo más eficiente los riesgos asociados a los impactos del cambio climático, contando con la ciudadanía como elemento clave de este proceso.

Contempla 9 clústeres: clima, recursos hídricos y riesgos; sistemas naturales, biodiversidad, agricultura y ganadería; ciudad: urbanismo y edificación e infraestructuras; salud pública; movilidad y transporte; energía; industria, servicios, sistema financiero y actividad aseguradora; turismo y patrimonio cultural; educación, I+D+I y sociedad, y 150 líneas de acción de adaptación y mitigación.

Clúster	Ámbito institucional	Fuente	Línea de acción	Impacto en la neutralidad climática	Tipo
SISTEMAS NATURALES, BIODIVERSIDAD, AGRICULTURA Y GANADERÍA	A: Europa	Misión Europea: ciudades inteligentes y climáticamente neutras	Redistribución de los excedentes de alimentos y los restos de alimentos	Alto	Mitigación
	A: Europa	Misión Europea: ciudades inteligentes y climáticamente neutras	Reutilización de lodos en aguas residuales para aprovechamiento agrícola, aportando materia orgánica y nutrientes.	Alto	Mitigación
	C: Local	AUVA2030	Garantizar la calidad y la accesibilidad universal de los espacios públicos.	N/A	Adaptación
	C: Local	Agenda Local (2016-2020)	Mantener los parques municipales y arbolado como pulmón de la ciudad y zona de esparcimiento de la ciudadanía. Fomentar la biodiversidad en los mismos.	Medio	Adaptación/ Mitigación
	C: Local	AUVA2030; INNOLID (2020)	Redefinición urbana, de infraestructuras y servicios de acuerdo con los principios de sostenibilidad ambiental, incluyendo la mejora del medio ambiente urbano y reducción de contaminación.	Alto	Mitigación
	C: Local	Agenda Local (2016-2020)	Mejorar y restaurar los entornos fluviales de Valladolid, creando corredores verdes que permitan el paseo y la creación de corredores de conectividad ecológica.	Medio	Adaptación/ Mitigación
	C: Local	Estrategia Alimentaria Vallarín (2018)	Protección y revitalización del potencial productivo de los suelos agrarios de Valladolid y su alfoz, con perspectiva de sostenibilidad	Alto	Adaptación/ Mitigación
	C: Local	AUVA2030	Ordenar el suelo de manera compatible con su entorno territorial	Alto	Adaptación/ Mitigación
	C: Local	AUVA 2030	Conservar y mejorar el patrimonio natural y cultural, y proteger el paisaje	Alto	Adaptación/ Mitigación
	D: Co-diseño	EMACC	Renaturalización urbana y puesta en valor de parques urbanos y zonas verdes	Alto	Adaptación/ Mitigación
	D: Co-diseño	EMACC	Proteger la huerta como sector vulnerable ante el cambio climático y poniendo en valor los beneficios que aporta	Alto	Adaptación/ Mitigación
	D: Co-diseño	EMACC	Fomentar la relación rural urbana a través de las zonas de enlace en equilibrio con la relación de los ecosistemas naturales	Bajo	Adaptación
	D: Co-diseño	EMACC	Fomentar la conservación de la biodiversidad y gestión de las masas forestales en el municipio	Alto	Adaptación/ Mitigación

Dentro de las líneas de acción destacan la transformación digital como palanca para generar soluciones inteligentes que protejan a la ciudad y su ciudadanía de riesgos asociados al cambio climático, como desastres o deficiente gestión de los recursos hídricos; soluciones basadas en la naturaleza para reducir la contaminación; rehabilitación de edificios para ahorrar energía y lograr distritos de energía positiva; protección de la biodiversidad; mejora de la calidad del aire; impulso de la movilidad limpia y sostenible para peatones, ciclistas y usuarios de transporte público y vehículos no contaminantes; incremento del uso de las renovables; medidas fiscales que favorezcan la sostenibilidad; fomento del empleo "verde" así como la participación de la ciudadanía, la cocreación de proyectos innovadores bajo un modelo de colaboración público-privada y favorecer el conocimiento de la población sobre los impactos del cambio climático y las medidas necesarias para su adaptación.

Esta estrategia de Cambio Climático propone un análisis del marco actual y nuevo modelo de gobernanza que requiere una intensa colaboración entre todas las partes interesadas a través de un proceso participativo a todos los niveles y con el ciudadano como punto de mira esencial.

La ciudadanía es un elemento clave de acción por el clima.

1.7.¿Qué podemos hacer?

Existe un marco institucional, cuyo hito es el Acuerdo de París (2015), que determina los compromisos políticos internacionales de acción por el clima.

El objetivo es mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2°C con respecto a niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitarlo a 1,5°grados centígrados.

Para conseguir cumplir este objetivo, es necesario reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto pasa por **cambiar el modelo de consumo actual** y mejorar algunas acciones cotidianas que todos podemos llevar a cabo en favor de la sostenibilidad.

1.7.1. Reduce tu huella de carbono

Al hacerte consciente de que todas las acciones que realizas generan emisiones, opta por tener prácticas que te ayuden a reducir tu huella de carbono. También puedes compensar tu huella de carbono con buenas prácticas como la reforestación o el aumento del secuestro de CO2 mediante buenas prácticas agrícolas.

1.7.2. Cuida del agua

Proteger este valioso recurso. Puedes hacerlo con acciones sencillas como evitar su desperdicio durante el lavado, instalando un riego por goteo o reciclando el agua de lluvia.

1.7.3. Aliméntate de forma sostenible

Algunas acciones concretas que conectan la alimentación con un modelo de sostenibilidad pueden ser comprar productos locales o de temporada que generen menos emisiones; elegir productos de origen orgánico, cultivar tus propios productos y preferir un mayor consumo de alimentos de origen vegetal para reducir los efectos de la ganadería intensiva y ayudar en la mitigación del cambio climático.

1.7.4. Apoya el uso de energías alternativas

Mantenernos informados acerca de las acciones a gran escala que tendrían un impacto considerable en la recuperación del Planeta es nuestra responsabilidad, por eso, es importante el apoyo y promoción de la transición global hacia el uso de energías alternativas como la energía solar o la energía eólica.

1.7.5. Muévete con menos emisiones

Mientras sea posible, prioriza el uso de medios de transporte sostenibles, como la bicicleta o caminar, que además traen muchos beneficios para la salud mientras hacen frente al cambio climático al reducir las emisiones. Asimismo, puedes utilizar el transporte público o compartir el vehículo privado con otras personas.

El cambio es una fuente de **oportunidades** para todos. Aunque este proceso está lleno de riesgos, también es una oportunidad para conseguir mejorar nuestro modelo de consumo obteniendo ciudades y pueblos más limpios y con mayor calidad de vida para sus habitantes.

Para conseguir llegar a los objetivos marcados, tenemos que hacerlo **entre todos**.

2. Gases de efecto invernadero

De toda la energía que recibe la Tierra, la energía que irradia para equilibrar el balance energético no se pierde en su mayor parte en la inmensidad del espacio, ya que si fuese así, la temperatura de la Tierra estaría en torno a los -18°C , (4º Informe IPCC) dando lugar a unas circunstancias muy

diferentes a las que han permitido que la vida se haya desarrollado en el planeta.

Para que esto no ocurra, algunos gases que se encuentran en la atmósfera crean una situación similar a la de un invernadero, de modo que estos gases dejan pasar la radiación solar que incide sobre la Tierra, pero atrapan parte de la radiación reflejada, devolviéndola hacia la superficie, generando así una mayor temperatura media terrestre. Estos son los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), y a este fenómeno se le conoce como Efecto Invernadero, y es el causante de que la temperatura media de la Tierra actualmente ronde los 15° C.



BBVA (<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-efecto-invernadero-respuestas-para-frenar-el-cambio-climatico/>)

Cada uno de los gases de efecto invernadero afecta a la atmósfera en distinto grado y permanece allí durante un periodo de tiempo diferente. La medida en la que un GEI (gas de efecto invernadero) determinado

contribuye al calentamiento global se define como su Potencial de Calentamiento Global (PCG). Para hacer comparables los efectos de los diferentes gases, el PCG expresa el potencial de calentamiento de un determinado gas en comparación con el que posee el mismo volumen de CO₂ durante el mismo periodo de tiempo, por ello se hace referencia a emisiones CO₂ (equivalente CO₂eq). Algunos gases provocan mucho más calentamiento que el CO₂ pero desaparecen de la atmósfera más rápidamente que este, por el contrario existen otros que tienen una persistencia mayor y plantean más problemas durante un largo período de tiempo.

El **principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO₂)**. No es el más potente pero sí el más abundante, por lo que se le considera referencia para los demás, y se considera que su PCG es siempre 1. Su concentración en la atmósfera ha crecido exponencialmente desde las 200 partes por millón (ppm) que presentaba al final de la última glaciación (hace unos 12.000 años), a las 270 ppm en la era preindustrial (segunda mitad del siglo XVIII), hasta alcanzar las más de 410 ppm que ya se registran en la actualidad, concentración considerada elevada en la historia de la Tierra, afirmación basada en los informes del IPCC.

El **segundo gas de efecto invernadero** en orden de importancia, en cuanto a la cantidad presente en la atmósfera, es el **metano (CH₄)**. Es emitido desde el tracto digestivo anóxico de diversos organismos vivos, y en la descomposición, en ambientes carentes de oxígeno, de la materia orgánica, sobre todo en zonas húmedas y pantanos, arrozales, vertederos, etc.

Su origen no solo es natural, también responde a las modificaciones que los seres humanos han introducido en la actividad agropecuaria, como la ganadería intensiva, principalmente de tipo vacuno.

Cerca del 40% del CH₄ que se emite a la atmósfera procede de fuentes naturales (humedales y termitas), mientras que aproximadamente el 60% proviene de fuentes antropógenas (cría de ganado, cultivo de arroz, combustibles fósiles, vertederos y combustión de biomasa).

Su potencial como gas invernadero es unas **20 veces mayor que el del dióxido de carbono**, y presenta una persistencia en la atmósfera de unos 12 años. Los procesos de descongelación del permafrost están liberando importantes cantidades de metano a la atmósfera que estaban atrapadas en estos estratos de suelo congelado.

Le sigue **el óxido nitroso** (N₂O), cuyas dos terceras partes son de origen natural pero, al igual que con el metano, la intervención intensiva del hombre en la agricultura con el empleo de **fertilizantes agrícolas** ha incrementado sus emisiones, además los procesos de combustión industriales y el tráfico también contribuyen al incremento de sus emisiones de una forma muy destacable. Es un gas invernadero unas **300 veces más potente que el dióxido de carbono** y tiene una persistencia en la atmósfera de unos 114 años.

Los otros gases invernadero importantes serían los **gases fluorados**, algunos como el Hexafluoruro de azufre con un potencial de calentamiento 22.000 veces mayor que el CO₂ y con una persistencia en la atmósfera de unos 3200 años (en general los diversos gases fluorados presentan altísimos PCG y persistencias en la atmósfera muy elevadas, pero presentan concentraciones atmosféricas ínfimas); el ozono troposférico (O₃), generado en reacciones químicas que aparecen en la quema de combustibles (no hay que confundir este tipo de ozono con el que aparece en la llamada «capa de ozono», ubicada entre los 15 y los 50 km de altitud y que reduce el paso de los rayos ultravioleta); y el vapor de agua, uno de los más potentes para contribuir al efecto invernadero, aunque no suele considerarse debido a su variabilidad y a su escaso tiempo de permanencia en la atmósfera (unos pocos días).

Estas emisiones asociadas a la actividad humana han crecido desde la época preindustrial hasta la actualidad, pero muy especialmente y de una forma muy importante durante las últimas décadas, así lo revelan las muestras de hielo extraídas en los casquetes polares y analizadas (que abarcan miles de años de registros) y los datos directos que se recogen desde hace ya muchas décadas.

2.1. El Albedo

El albedo se define como la cantidad de luz solar que refleja la Tierra hacia el espacio.

El albedo de la Tierra es un parámetro atmosférico que tiene profundas implicaciones en la temperatura y el cambio climático.

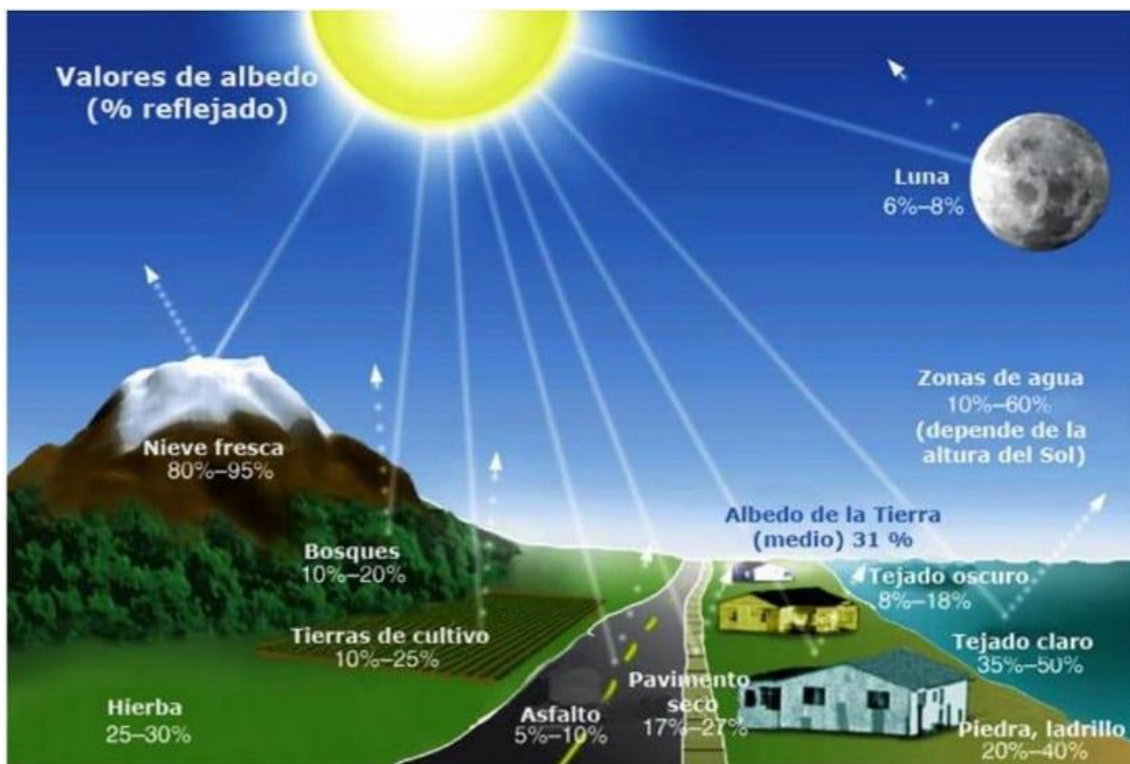
Este albedo es del 30 al 35% en el caso de la Tierra. El albedo depende en gran medida de la cobertura vegetal.

Si bien la Tierra en su conjunto está en equilibrio térmico, existen diferencias locales del albedo. Por ejemplo, suelos descubiertos de vegetación tienen mayor albedo que los cubiertos. Los sistemas con menos albedo acumulan más calor con lo que suavizan las fluctuaciones de las temperaturas, por ejemplo, en mares y océanos. No obstante, un incremento del albedo, ligado a la presencia de numerosas nubes, de polvo en suspensión o de hielo y nieve, llevaría a un enfriamiento progresivo de la atmósfera.

La radiación incidente absorbida por el suelo provoca su calentamiento y en consecuencia la emisión de radiación (radiación infrarroja), la cual es absorbida por algunos gases atmosféricos (entre otros, CO₂ y vapor de agua), provocando su calentamiento, que es conocido con el nombre de efecto invernadero. La radiación infrarroja emitida por la superficie del planeta que alcanza las nubes es reflejada en parte hacia abajo (radiación atmosférica), incrementándose así el efecto invernadero.

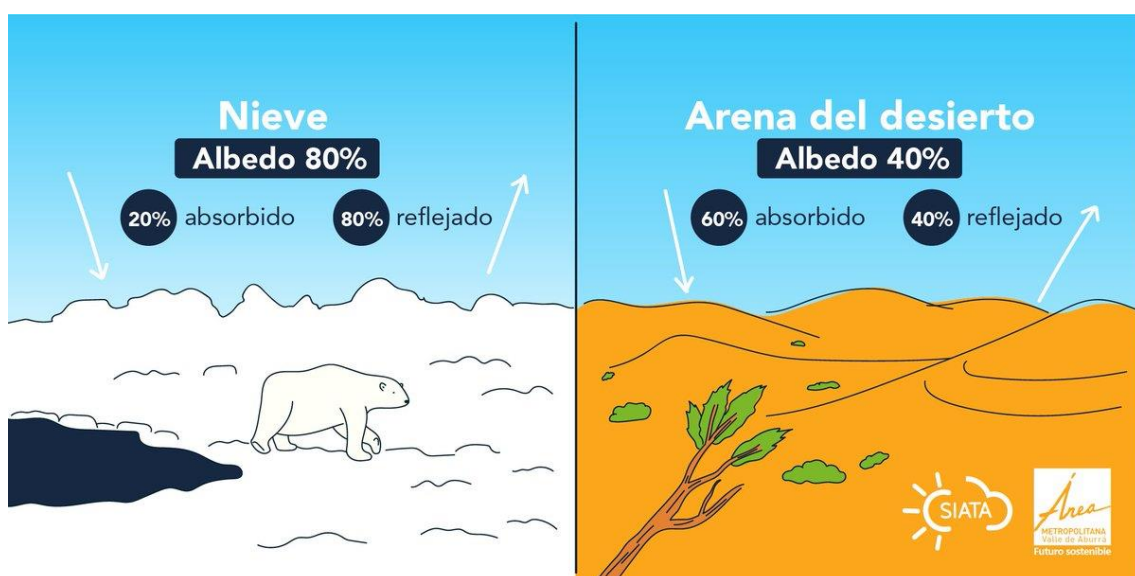
Cuando existen cielos despejados y con bajos niveles de humedad, gran parte de la radiación terrestre escapa al exterior, produciéndose por las noches una importante bajada de las temperaturas, como ocurre, por ejemplo, en los desiertos.

El balance global entre la energía recibida y la energía radiada al exterior ha permanecido equilibrado a lo largo de la historia de la Tierra, con algunas desviaciones transitorias que se han traducido en cambios climáticos (glaciaciones).



<https://www.meteorologiaenred.com/albedo-de-la-tierra.html> (albedo)

El color, es el elemento más importante que condiciona ese balance energético entre el planeta tierra y el sol. Los colores oscuros tienen un efecto albedo muy bajo, es decir, poca capacidad de reflexión de la energía solar incidente y por lo cual, mucho potencial para absorber ese calor. De ahí, que los glaciares sean un elemento fundamental para el balance global de la energía recibida e irradiada.



En los glaciares sucede el siguiente proceso. Las temperaturas más calientes derriten la nieve, exponiendo el hielo del mar. Del hielo se forman piscinas de agua derretida y las grietas llamadas surcos, rompen el hielo en pedazos como un rompecabezas. El hielo expuesto es más oscuro en color que la nieve. Las piscinas y las grietas son también más oscuras. Y donde el hielo se ha derretido, se expone el agua oscura del océano. Debido a que todos estos cambios hacen más oscura la superficie del océano, el albedo es más bajo, se absorbe más cantidad de energía solar y se refleja menos cantidad de energía solar. La absorción de más energía solar hace que se derrita más hielo, y que a cambio, baje el albedo, lo que hace que se absorba mayor cantidad de energía y haya más calor.

Esto es un proceso estacional normal, llamado una retroalimentación positiva. Sin embargo, está cambiando a medida que el clima de la tierra cambia.

Debido a que la temperatura de la Tierra está ascendiendo mientras mayor cantidad de gases de invernadero se liberan hacia la atmósfera, la nieve que cubre el hielo se derrite más temprano en la primavera, y no es hasta más tarde en el otoño que las temperaturas descienden hasta niveles en los que el hielo marino se puede formar nuevamente. Hay más tiempo durante el verano para el ciclo de derretimiento del hielo, disminución del albedo, absorción de más energía solar, y más hielo a derretir. Y hay menos tiempo en invierno para que el hielo se vuelva a formar.

Este proceso de un poco de calentamiento causando más calentamiento es conocido como retroalimentación hielo-albedo. La retroalimentación hielo-albedo puede convertir un pequeño cambio climático en un gran cambio climático. En el océano Ártico el hielo se está derritiendo rápidamente. De acuerdo con los modelos de clima, ese ritmo de derretimiento del hielo se acelerará todavía más, tanto que es probable que en las próximas dos décadas ya no haya hielo marino durante el verano.

3. La agricultura y el cambio climático

Desde la Revolución Industrial (final del S. XVIII y principios del S.XIX), pero especialmente durante el último siglo, las actividades humanas han provocado, directa e indirectamente, que aumente de una forma muy importante la concentración de GEI en la atmósfera. El uso cada vez mayor

de fuentes energéticas de origen fósil (carbón petróleo y gas natural) y la imparable deforestación, en especial en las últimas décadas, ha provocado que pasemos de unos niveles de CO₂, antes del comienzo de la Revolución Industrial, de unas 270 partes por millón (ppm), a alcanzar en la actualidad valores que superan ampliamente las 410 ppm (a final de marzo de 2020 superaba las 415 ppm. FUENTE: The Keeling Curve). En el caso del metano se ha pasado de una concentración preindustrial de 0,7 ppm a tener en la actualidad una concentración de alrededor de 2 ppm. (FUENTE: IPCC). También se han producido incrementos en la concentración del óxido nítrico o de los gases fluorados, pero en menor cantidad absoluta.

Desde 1958 se han llevado a cabo mediciones detalladas. Estas mediciones realizadas han puesto de manifiesto el incremento anual de la concentración de CO₂ en el aire, que ha sido por término medio de 1,5 ppm, es decir un 0,5 % por año. (FUENTE: IPCC).

El comercio de derechos de emisión (ETS) es una pieza fundamental de las políticas de mitigación de la Unión Europea.

Para las grandes instalaciones emisoras, la Unión Europea aprobó el **“régimen de comercio de derechos de emisión”**. En España este régimen obligatorio, solo afecta a determinados sectores industriales, fundamentalmente generación de energía eléctrica, cemento, cerámica y plantas de cogeneración de más de 20 megavatios. A partir del 2013 quedo incluida también la aviación. Estos sectores, se conocen como sectores regulados. En la actualidad están obligados al comercio de derechos de emisión unos ochocientos centros productivos a nivel nacional y unos 11.000 a nivel europeo. El resto de los sectores no obligados al comercio de derechos de emisión son conocidos como **sectores difusos**.

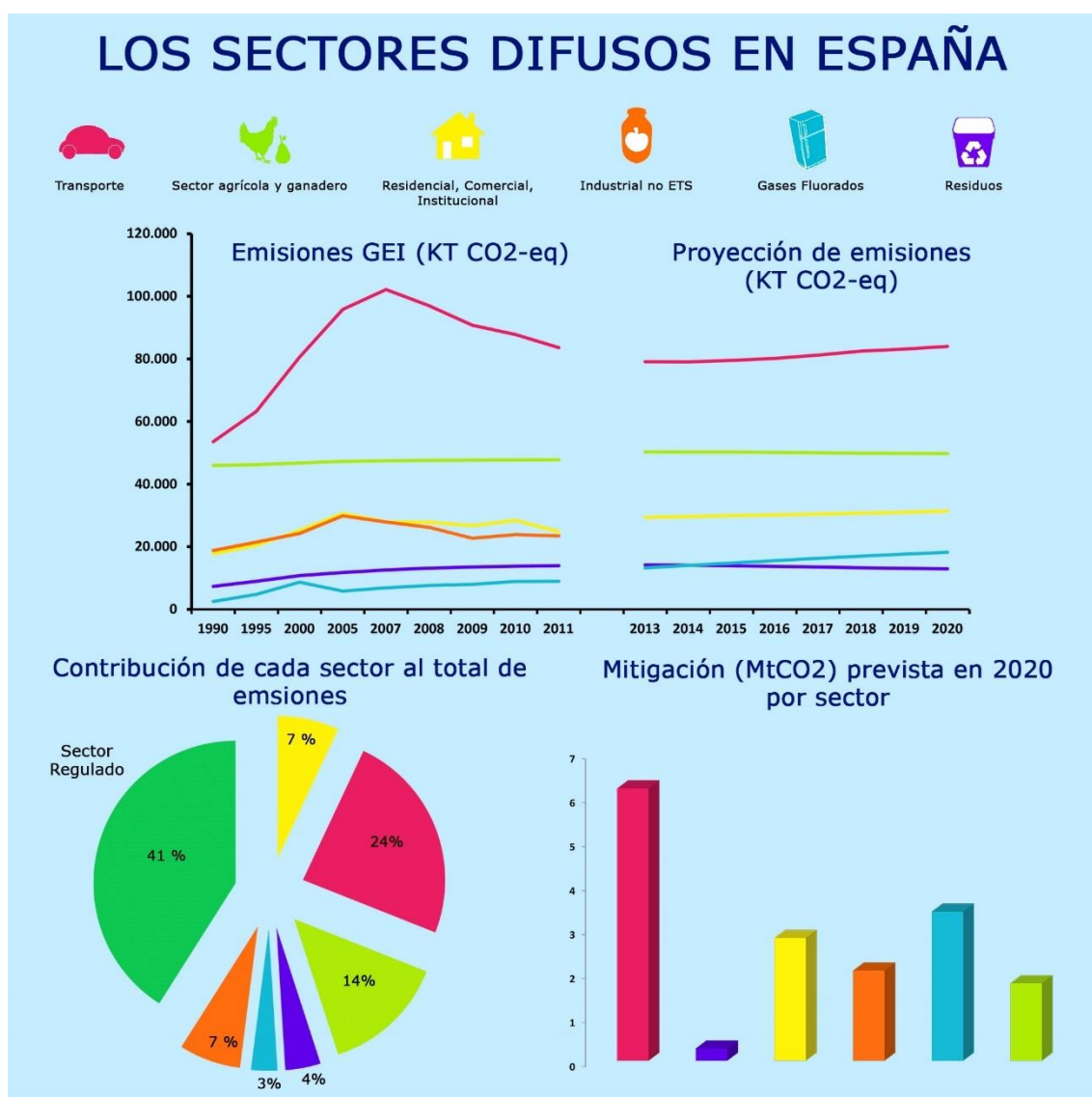
Los sectores difusos abarcan las actividades no sujetas al comercio de derechos de emisión. Representan por tanto, aquellos sectores menos intensivos en el uso de la energía. Forman parte de esta categoría los sectores: transporte, agrícola y ganadero, gestión de residuos, gases fluorados, industria no sujeta al comercio de emisiones.

Las emisiones realizadas por instalaciones obligadas o bajo el régimen de comercio de derechos de emisión suponen, en nuestro país, **un 40%** (más 1% de la aviación) de las emisiones, mientras que los **sectores difusos** son responsables de más o menos el **60%** de las emisiones del Inventario.

3.1. La implicación de la agricultura en las emisiones de GEI

El **sector agrario** es dentro del conjunto de sectores difusos, el **segundo sector emisor** de gases de efecto invernadero, detrás del sector transporte.

El cambio climático plantea importantes retos para la seguridad alimentaria global. Los cambios a largo plazo que afectan a la temperatura, la humedad, las pautas de precipitaciones y la frecuencia con la que se producen los fenómenos meteorológicos extremos afectan ya a las prácticas de explotación agrícola, las cosechas y la calidad nutritiva de los cultivos destinados a la alimentación.



El **sector agrícola** tiene la particularidad que ser el único sector capaz de **producir emisiones** (derivadas del uso de los combustibles fósiles, de la

gestión de los suelos y del uso de fertilizantes, de la quema de residuos agrícolas, de la ganadería, de los arrozales, el encalado de los suelos y el uso de urea) pero también es capaz **de ejercer de sumidero de CO₂** a través de la capacidad que tiene el suelo y los cultivos leñosos de captar CO₂.

Prácticamente **la mitad de las emisiones** de este sector están generadas por el uso de **fertilizantes y la gestión de los suelos**, mientras que la otra mitad está provocada por la **ganadería** (fermentación entérica y gestión de estiércoles).

La deforestación en zonas tropicales para extraer madera y abrir zonas de cultivo, es una gran causa de emisión de GEI a escala mundial. La deforestación contribuye a una mayor concentración de CO₂ porque:

- Se reduce la absorción del CO₂ en la atmósfera. Baja el balance frente al oxígeno.
- Se abandonan árboles talados o se queman, con emisión directa de CO₂.

Los incendios forestales, además de provocar deforestación y pérdida de hábitats, son responsables del 20% de las emisiones de CO₂ que se producen como consecuencia de las actividades humanas.

En cuanto al metano (CH₄), el segundo gas de efecto invernadero más importante, por detrás del CO₂ las fuentes humanas más problemáticas identificadas son:

- Los escapes en la producción de gas natural, las minas de carbón y los vertederos.
- El ganado y el estiércol.

Las **actividades de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)** representaron alrededor del **13 % del CO₂ , el 44 % del metano (CH₄) y el 81 %** de las emisiones de **óxido nítrico (N₂O)** de las actividades humanas a nivel mundial durante 2007 -2016, representando el 23% (12,0 ± 2,9 GtCO₂ eq año⁻¹) del total de emisiones antropógenas netas de GEI.

3.2.La implicación de la Agricultura en el secuestro de GEI

Desde 1960, aproximadamente, los bosques, suelos y océanos (sumideros de carbono) han absorbido el 56% de todo el CO₂ que la humanidad ha expulsado a la atmósfera, pese a que esas emisiones hayan aumentado un 50%.

Sin la ayuda de la naturaleza, la Tierra sería un lugar mucho más caliente e inhóspito.

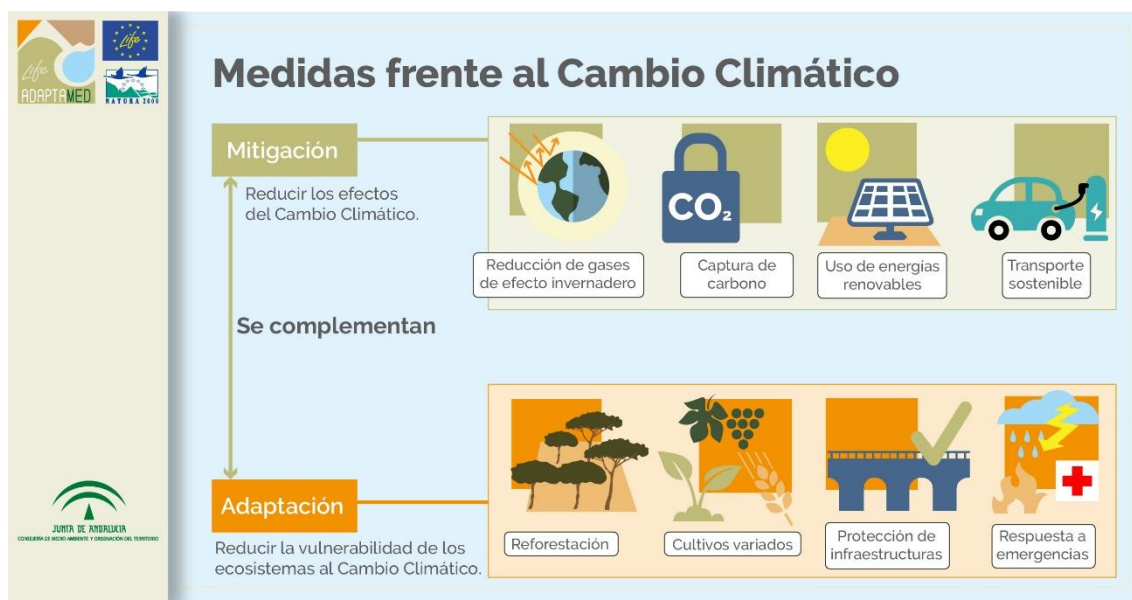
Pero esos sumideros están dando indicios de saturación y absorberán menor cantidad según vaya pasando el tiempo.

Para limitar los riesgos hay que limitar las emisiones acumuladas de CO₂.

Se precisa una reducción de las emisiones en las próximas décadas.

En la búsqueda de soluciones ya en el IE5 (5º informe del IPCC) se apuntaban dos estrategias complementarias:

- La **mitigación**, intervención para reducir las fuentes o incrementar los sumideros de GEI.
- La **adaptación**, es decir, el reajuste de procesos al clima real o proyectado y sus efectos para tratar de moderar los daños o aprovechar las oportunidades existentes.
-



La tasa de acumulación de CO₂ en la atmósfera puede reducirse aprovechando el hecho de que el CO₂ atmosférico puede acumularse como carbono en la vegetación y los suelos de los ecosistemas terrestres. Según

la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine un gas de efecto invernadero de la atmósfera se denomina "pileta inglesa sink". Las actividades humanas impactan en los sumideros terrestres, a través de las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (sector UTCUTS), en consecuencia, se altera el intercambio de CO₂ (ciclo del carbono) entre el sistema de la biosfera terrestre y la atmósfera.

Hace tiempo que se reconoce el papel de las actividades LULUCF o sector Usos de la Tierra, Cambios del Uso de la Tierra y Silvicultura, (UTCUTS Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF, en inglés) en la mitigación del cambio climático. Las actividades humanas afectan los cambios en las reservas de carbono entre los depósitos de carbono del ecosistema terrestre y entre el ecosistema terrestre y la atmósfera. La mitigación se puede lograr a través de actividades en el sector UTCUTS que aumenten la eliminación de gases de efecto invernadero (GEI) de la atmósfera o reduzcan las emisiones al detener la pérdida de reservas de carbono. En su Informe Especial sobre Cambio Climático y Tierras, el IPCC identifica muchas opciones de mitigación del cambio climático relacionadas con la tierra que tienen beneficios colaterales para la adaptación al cambio climático. Al mismo tiempo, el informe también reconoce que algunas actividades pueden tener efectos secundarios adversos en otros servicios de los ecosistemas, como una mayor competencia por la tierra y el agua, si no se implementan con la debida consideración de las condiciones locales, incluido el uso actual de la tierra.

Se prevé que la expansión urbana conduzca a la conversión de tierras de cultivo, lo que provocará pérdidas en la producción de alimentos. Esto puede resultar en riesgos adicionales para el sistema alimentario. Las estrategias para reducir estos impactos pueden incluir la producción de alimentos urbanos y periurbanos y la gestión de la expansión urbana, así como infraestructura verde urbana que puede reducir los riesgos climáticos en las ciudades.

Muchas respuestas relacionadas con la tierra que contribuyen a la adaptación y mitigación del cambio climático también pueden combatir la desertificación y la degradación de la tierra y mejorar la seguridad alimentaria.

Ya se están tomando algunas acciones relacionadas con la tierra que contribuyen a la adaptación, mitigación y desarrollo sostenible del cambio climático. Las opciones de respuesta se evaluaron a través de la adaptación, la mitigación, la lucha contra la desertificación y la degradación de la tierra, la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible, y un conjunto selecto de opciones cumple con todos estos desafíos. Estas opciones incluyen, entre

otras, la producción sostenible de alimentos, la gestión forestal mejorada y sostenible, la gestión del carbono orgánico del suelo, la conservación de los ecosistemas y la restauración de la tierra, la reducción de la deforestación y la degradación, y la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Estas opciones de respuesta requieren la integración de factores biofísicos, socioeconómicos y de otro tipo.

Si bien algunas opciones de respuesta tienen impactos inmediatos, otras tardan décadas en ofrecer resultados medibles. Ejemplos de opciones de respuesta con impactos inmediatos incluyen la conservación de ecosistemas con alto contenido de carbono, como turberas, humedales, pastizales, manglares y bosques. Entre los ejemplos que brindan múltiples servicios y funciones ecosistémicos, pero que requieren más tiempo, se incluyen la forestación y la reforestación, así como la restauración de ecosistemas con alto contenido de carbono, la agrosilvicultura y la recuperación de suelos degradados.

Las opciones basadas en la tierra que permiten el secuestro de carbono en el suelo o la vegetación, como la forestación, la reforestación, la agrosilvicultura, la gestión del carbono del suelo en suelos minerales o el almacenamiento de carbono en productos de madera recolectada, no continúan secuestrando carbono indefinidamente. El carbono acumulado en la vegetación y los suelos corre el riesgo de una pérdida futura (o una reversión del sumidero) provocada por perturbaciones como inundaciones, sequías, incendios o brotes de plagas, o por una gestión deficiente en el futuro.

Muchas actividades para combatir la desertificación pueden contribuir a la adaptación al cambio climático con beneficios colaterales de mitigación, así como a detener la pérdida de biodiversidad con beneficios colaterales de desarrollo sostenible para la sociedad. Evitar, reducir y revertir la desertificación mejoraría la fertilidad del suelo, aumentaría el almacenamiento de carbono en los suelos y la biomasa, al mismo tiempo que beneficiaría la productividad agrícola y la seguridad alimentaria. Prevenir la desertificación es preferible a intentar restaurar la tierra degradada debido al potencial de riesgos residuales y resultados de mala adaptación.

Estas son soluciones que ayudan a adaptarse y mitigar el cambio climático al mismo tiempo que contribuyen a combatir la desertificación y son específicas del sitio y de la región e incluyen, entre otras: captación de agua y microirrigación, restauración de tierras degradadas utilizando plantas resistentes a la sequía ecológicamente apropiadas, agrosilvicultura y otras prácticas agroecológicas y prácticas de adaptación basadas en ecosistemas.

Las medidas para combatir la desertificación pueden promover el secuestro de carbono en el suelo. La restauración de la vegetación natural y la plantación de árboles en tierras degradadas enriquecen, a largo plazo, el carbono en la capa superior del suelo y el subsuelo. Las tasas modeladas de secuestro de carbono luego de la adopción de prácticas de agricultura de conservación en las tierras secas dependen de las condiciones locales. Si se pierde el carbono del suelo, es posible que las reservas de carbono tarden un tiempo prolongado en recuperarse.

La degradación de la tierra en los sistemas agrícolas puede abordarse mediante la gestión sostenible de la tierra, con un enfoque ecológico y socioeconómico, con beneficios colaterales para la adaptación al cambio climático. Las opciones de manejo que reducen la vulnerabilidad a la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes incluyen cultivos de abono verde y cultivos de cobertura, retención de residuos de cultivos, labranza reducida/cero y mantenimiento de la cobertura del suelo a través de un mejor manejo del pastoreo.

Las siguientes opciones también tienen cobeneficios de mitigación. Los sistemas agrícolas como la agrosilvicultura, las fases de pastos perennes y el uso de granos perennes pueden reducir sustancialmente la erosión y la lixiviación de nutrientes mientras acumulan carbono en el suelo. El potencial de secuestro global de los cultivos de cobertura sería de alrededor de $0,44 \pm 0,11$ GtCO₂/año si se aplicara al 25 % de las tierras de cultivo mundiales. La aplicación de ciertos biocarbones puede secuestrar carbono y mejorar las condiciones del suelo en algunos tipos de suelo.

Las opciones de respuesta en todo el sistema alimentario, desde la producción hasta el consumo, incluida la pérdida y el desperdicio de alimentos, se pueden implementar y ampliar para avanzar en la adaptación y la mitigación. El potencial técnico total de mitigación de las actividades agrícolas y ganaderas y la agrosilvicultura se estima en 2,3 – 9,6 GtCO₂ eq/año -1 para 2050. El potencial técnico total de mitigación de los cambios en la dieta se estima en 0,7 – 8 GtCO₂ eq/año para 2050.

Estas prácticas que contribuyen a la adaptación y mitigación del cambio climático en las tierras de cultivo que incluyen el aumento de la materia orgánica del suelo, el control de la erosión, la gestión mejorada de los fertilizantes o la gestión mejorada de los cultivos. Para el ganado, las opciones incluyen una mejor gestión de las tierras de pastoreo, una mejor gestión del estiércol, piensos de mayor calidad y el uso de razas y mejora genética. Diferentes sistemas de agricultura y pastoreo pueden lograr reducciones en la intensidad de las emisiones de los productos pecuarios. Dependiendo de los sistemas de agricultura y pastoreo y el nivel de desarrollo, las reducciones en la intensidad de las emisiones de los

productos pecuarios pueden conducir a reducciones absolutas en las emisiones de GEI. Muchas opciones relacionadas con la ganadería pueden mejorar la capacidad de adaptación de las comunidades rurales, en particular, de los pequeños agricultores y pastores. Existen importantes sinergias entre la adaptación y la mitigación, por ejemplo, a través de enfoques de gestión sostenible de la tierra.

Otros sistemas terrestres también juegan un papel importante. La mayor parte de las reservas de carbono de las tierras de cultivo y los pastizales se encuentran en la materia orgánica vegetal subterránea y en el suelo. En consecuencia, el secuestro de carbono del suelo en tierras de cultivo y pastizales tiene un potencial de mitigación de 0,4–8,6 CO₂-eq/año según el IPCC.

Sin embargo, el principal inconveniente de las actividades LULUCF es su potencial reversibilidad y no permanencia de las reservas de carbono como resultado de actividades humanas, perturbaciones naturales o una combinación de ambas con pérdida de reservas de carbono y liberación de GEI a la atmósfera como resultado. También se pronostica que el cambio climático tendrá un efecto en las tasas de crecimiento y decaimiento, incluida la aparición de perturbaciones naturales con diferencias regionales en todo el mundo. Según el IPCC, las reducciones rápidas en las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero que restringen el calentamiento a “muy por debajo” de 2 °C reducirían en gran medida los impactos negativos del cambio climático en los ecosistemas terrestres.

El 17 de febrero de 2022 el secretario general de Agricultura y Alimentación, Fernando Miranda, señaló que España apuesta por incentivar prácticas agrícolas que permitan incrementar el secuestro de carbono por los suelos agrícolas. Así, en el Plan Estratégico nacional de la Política Agraria Común se promueven medidas, como el pastoreo extensivo, el mantenimiento de cubiertas vegetales en suelos agrícolas o la rotación de cultivos, que van a contribuir a la mejora de los suelos y a luchar contra la erosión y la desertificación.

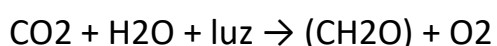
El Grupo Focal sobre “Secuestro de carbono en suelos cultivables” identificó las siguientes prácticas de manejo que capturan CO₂ en suelos agrícolas a largo plazo, a la vez que mejoran la calidad del suelo: Mantener el suelo cubierto: cultivos intercalados, cultivos de cobertura, rotaciones de cultivos (incluyendo plantas perennes), prácticas agroforestales. Aumentar el carbono del suelo mediante la adición de enmiendas de materia orgánica de proveniente de fuentes locales. Reducir la descomposición de la materia orgánica al reducir la perturbación del suelo: técnicas de laboreo mínimo y agricultura de precisión o controlar la humedad del suelo mediante la gestión del uso del agua.

3.3.¿Por qué absorben CO2 las plantas?

La vida en la tierra depende fundamentalmente de la energía solar, la cual es atrapada por las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis, que es responsable de la producción de toda la materia orgánica que conocemos. La materia orgánica está presente en los alimentos que, tanto las personas como los animales, consumimos a diario; en los combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón); así como en la leña, madera, pulpa para papel, etcétera.

La fotosíntesis es el proceso por el que las plantas son capaces de capturar la energía de la luz del sol y convertirla en energía química y materia orgánica.

La fórmula que resume este proceso sería la siguiente:



CO₂ = dióxido de carbono, H₂O = agua, (CH₂O) = hidratos de carbono (azúcares) y O₂ = oxígeno

Se trata de un proceso complejo, que se traduce en la captación del dióxido de carbono de la atmósfera y emisión de oxígeno a la atmósfera.

El CO₂ absorbido de la atmósfera se almacena en forma de carbono (C) formando parte de la materia orgánica de las plantas. Cierta parte del mismo pasa, posteriormente, a almacenarse en la hojarasca, en el suelo...

Los reservorios son almacenes de carbono, es decir, sistemas capaces de acumular o liberar carbono.

Algunos ejemplos de estos almacenes de carbono son la biomasa forestal, los productos de la madera o los suelos. Si la cantidad de carbono que entra en estos reservorios es mayor que la que sale de ellos, serán considerados sumideros (captadores de CO₂ de la atmósfera). En el caso contrario, serán una fuente de gases de efecto invernadero.

Los reservorios que se consideran a la hora de medir la capacidad como sumidero de un ecosistema terrestre (forestal o agrícola) son los siguientes:

Reservorio		Descripción
Biomasa viva	Biomasa sobre tierra	Toda la biomasa viva sobre el suelo, incluyendo tronco, ramas, corcho, semillas, hojas y tocones.
	Biomasa bajo tierra	Toda la biomasa de las raíces vivas. Las raíces finas de menos de 2mm de diámetro son, a menudo, excluidas por su proceso continuado de degradación-regeneración.
Materia Orgánica Muerta	Madera muerta	Toda la biomasa no viva, aparte de la hojarasca. Incluye madera sobre la superficie, raíces muertas y tocones mayores o iguales a 10 cm. de diámetro.
	Hojarasca (litter)	Incluye toda la biomasa no viva de pequeño tamaño en varios estados de descomposición, sobre el suelo mineral u orgánico.
Suelos	Materia orgánica del suelo	Incluye carbono orgánico en suelos orgánicos y minerales (incluyendo turba).

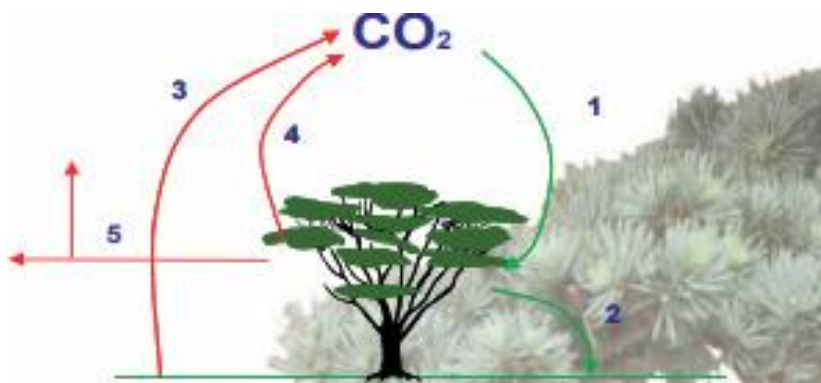
Fuente: IPCC adaptada (2003)

Una cuestión clave en los sumideros es la permanencia del carbono almacenado. Las cantidades de CO₂ absorbidas por un sumidero, por ejemplo, un bosque, pueden volver a la atmósfera si esa formación vegetal desaparece por cualquier circunstancia. Las causas más comunes de la disminución de los reservorios en los que se encuentra almacenado el carbono son las plagas, las enfermedades, los aprovechamientos (extracción de madera o recogida de cosecha, por ejemplo) y los incendios forestales. Debido a estos eventos, parte del CO₂ previamente absorbido, y almacenado como carbono en los reservorios, sería reemitido a la atmósfera.

Teniendo en cuenta la cuestión de la permanencia, el ciclo que sigue el carbono en los ecosistemas vegetales es el siguiente:

En el paso 1 se produce la absorción de CO₂, que, a través de la fotosíntesis, entrará a formar parte de la planta en forma de carbono orgánico. Cuando las hojas, ramas, etc, caen al suelo, se produce el paso 2, incorporación del carbono al suelo desde la vegetación (COS – Carbono Orgánico del Suelo).

Pero también, como parte del ciclo del carbono, se producen emisiones, es decir, pérdidas de carbono acumulado en el suelo por mineralización, actividad de los microorganismos descomponedores del suelo... (paso 3) y también emisiones por la propia respiración de la vegetación (para mantenimiento y formación de nuevos tejidos por la vegetación) y emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (paso 4). Por último, la mayor fuente de emisiones de las formaciones vegetales se produce por retirada de carbono por eliminación de la vegetación (cosecha, aprovechamiento forestal, incendio, etc.) (paso 5)



Si la cantidad de CO_2 absorbida por las actividades 1 y 2 es mayor que la cantidad de CO_2 emitida por las actividades 3, 4 y 5, la formación vegetal (ya sea bosque, cultivo, matorral...) será un sumidero de carbono. Si ocurre lo contrario, las emisiones serán mayores que las absorciones y el ecosistema será una fuente de CO_2 .

El carbono orgánico del suelo (COS) es la cantidad de carbono almacenado en el suelo. Este, libera nutrientes para el crecimiento de las plantas, mejora la salud del suelo y actúa como una barrera contra las sustancias nocivas. El COS se ve amenazado por la intensificación de los sistemas de cultivo, el aumento de las temperaturas y los cambios en las precipitaciones, entre otros aspectos.

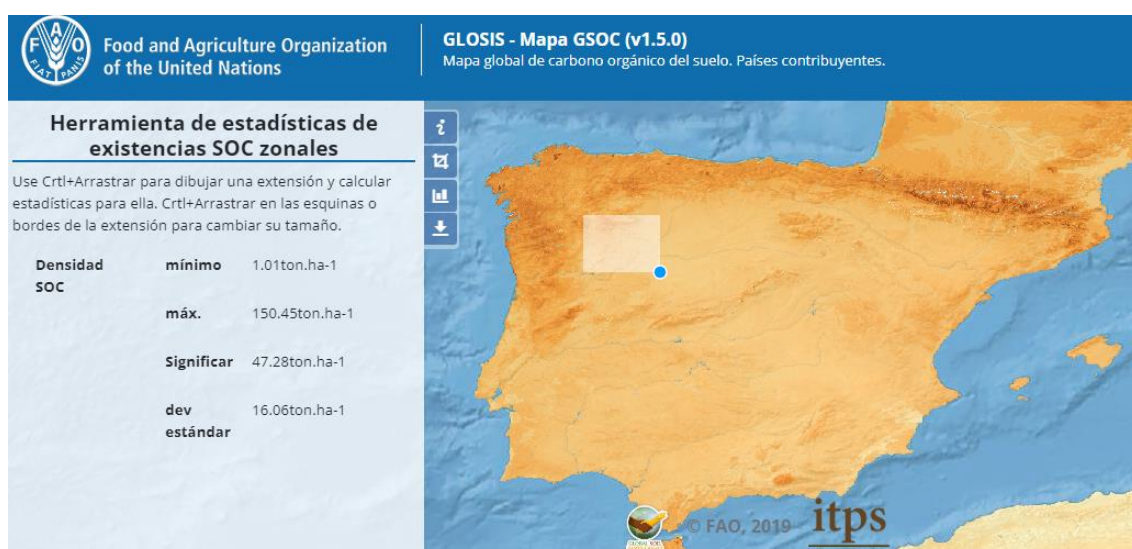
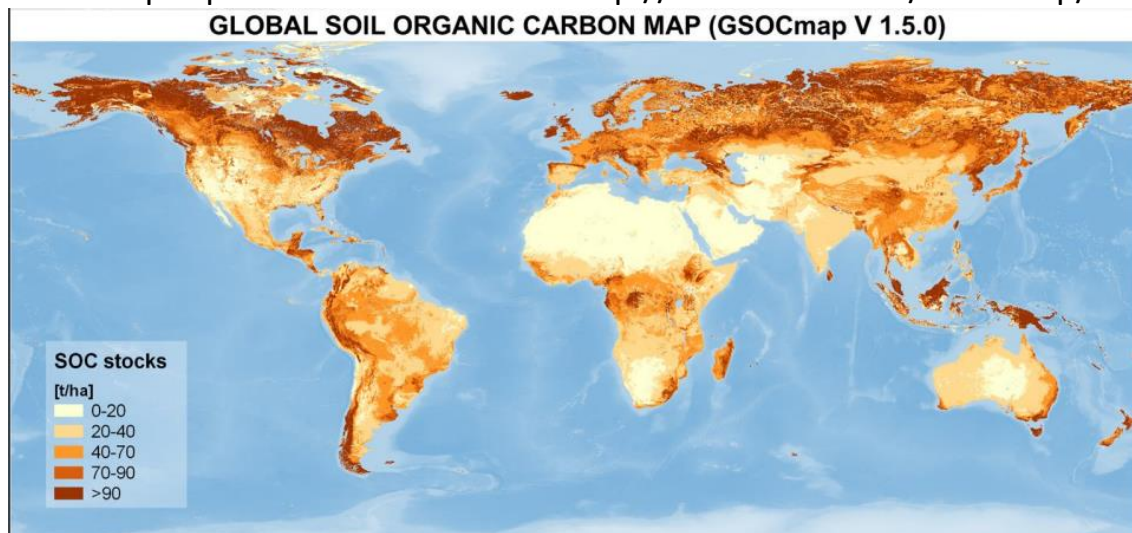


GSOCmap es el primer mapa global de carbono orgánico del suelo producido a través de un proceso consultivo y participativo que involucra a los países miembros, lo que hace que este mapa sea totalmente nuevo y único. De hecho, el mapa fue elaborado por los países miembros, bajo la dirección del Panel Técnico Intergubernamental sobre Suelos y la Secretaría de la Alianza Mundial por el Suelo.

Los países acordaron la metodología para producir el mapa y fueron capacitados en herramientas y metodologías modernas para desarrollar mapas nacionales. Luego, Global Soil Partnership reunió todos los mapas

nacionales para producir el producto final, asegurando un proceso de armonización completo.

Estos mapas pueden consultarse en: <http://54.229.242.119/GSOCmap/>



4. Buenas prácticas agrícolas

La Asociación europea para la innovación agrícola (EIP-AGRI) trabaja para fomentar una agricultura y una silvicultura competitivas y sostenibles que "logren más y mejor con menos". Contribuye a garantizar un suministro constante de alimentos, piensos y biomateriales, desarrollando su trabajo en armonía con los recursos naturales esenciales de los que depende la agricultura.

Esta asociación trabaja para dar respuesta a cómo la agricultura puede contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático al almacenar carbono en plantas y suelos. En todo el mundo, el suelo contiene

aproximadamente tres veces más carbono orgánico que las plantas y el doble que la atmósfera. Sin embargo, los suelos cultivables, especialmente en las regiones de cultivo más intensas, han perdido gran parte del carbono del suelo. El conocimiento sobre prácticas de manejo para almacenar carbono en los suelos está muy extendido entre los agricultores. Aun así, se necesita más información sobre el tiempo y los recursos necesarios para adoptar estas prácticas y su impacto en el almacenamiento de carbono en el suelo. La pregunta principal abordada por el Grupo de Enfoque sobre “Pasar de la fuente al sumidero en la agricultura herbácea” fue '¿Qué prácticas y herramientas rentables de gestión agrícola podrían fomentar y garantizar el almacenamiento duradero de carbono en la agricultura, contribuyendo a la mitigación del cambio climático?'

El Grupo de Enfoque identificó las siguientes prácticas de manejo que capturan carbono en los suelos agrícolas a largo plazo mientras mejoran la calidad del suelo:

- Mantener el suelo cubierto: cultivos de cobertura, cultivos de invierno y cultivos intercalados
- Retorno de biomasa: enmiendas orgánicas
- Agricultura de conservación: labranza reducida

La capacidad de los suelos para almacenar carbono depende de una amplia gama de factores del suelo que pueden mejorarse mediante técnicas de gestión adecuadas. Hay un gran campo para involucrar a los agricultores cuando es posible mostrar los cobeneficios positivos que el manejo puede tener sobre varios factores. Algunos ejemplos son: promover el secuestro de carbono del suelo en relación con mayores rendimientos, estructura del suelo mejorada, menor uso de fertilizantes a través de la retención de nutrientes, menor densidad aparente del suelo, mayor capacidad de retención de agua y mayor actividad biológica y, por último, pero no menos importante, el resultado a largo plazo. Si bien existe conocimiento disponible sobre cómo manejar los suelos agrícolas y promover el carbono del suelo, aún existen barreras que superar cuando se trata de implementar buenas prácticas.

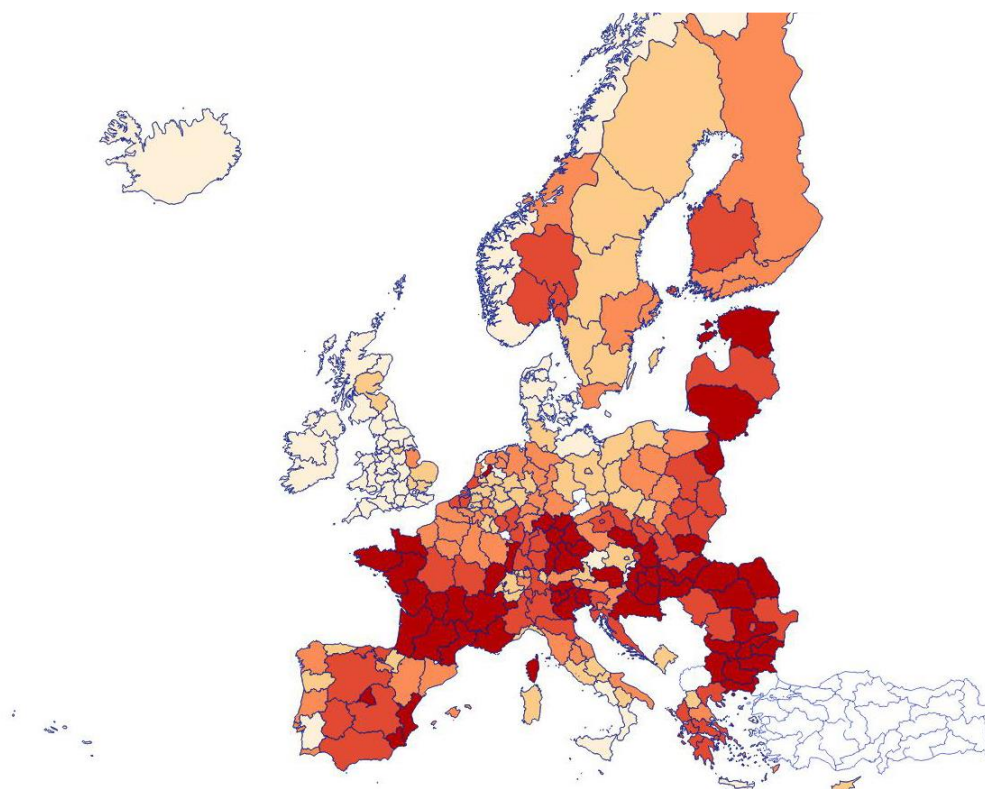
Los niveles de carbono del suelo son el resultado del carbono atmosférico convertido en biomasa vegetal y organismos del suelo por un lado y pérdidas por procesos de descomposición por el otro. Esto está controlado por el carbono vegetal y las interacciones entre los microorganismos (hongos y bacterias), los ingenieros del ecosistema (raíces, lombrices, termitas, hormigas) y la matriz mineral del suelo. Por lo tanto, es un sistema complejo de interacciones entre los organismos vivos del suelo que está influenciado por su diversidad, abundancia y factores abióticos.

Mantener el suelo cubierto: incluyendo los cultivos de cobertura, los cultivos de invierno y los cultivos intercalados, ayudan en la retención de GEI. Cuando el suelo está constantemente cubierto aumenta el carbono del suelo.

Los experimentos a largo plazo en curso sobre la rotación de cultivos con plantas perennes muestran evidencias de que una superficie de suelo cubierta tiene un gran impacto en el carbono del suelo.

La agrosilvicultura es una práctica que se puede considerar como un sistema de cultivo intercalado con plantas perennes y puede proporcionar carbono a las capas del subsuelo. Maeght, Rewald y Pierret demostraron que el C derivado de las raíces de los árboles se puede considerar como reservas de carbono a largo plazo que proporcionan otras funciones ecosistémicas al sistema agrícola.

En Europa todavía hay una alta proporción de fincas que tienen suelo desnudo durante el invierno.



Proporción de suelo desnudo en tierra cultivable (área %), 2010 (Eurostat, Nuts 2 nivel, ef_pmsoilaa)

Las leguminosas son eficientes en la liberación de compuestos de carbono de sus raíces, lo que luego desencadena una intensa actividad biológica, crea biomasa y fija el nitrógeno del aire. El principal desafío para las plantas de cobertura es la competencia por los nutrientes y el agua. Es importante

comprender los efectos de la diversidad de plantas y los exudados de las raíces para identificar las mejores prácticas de los sistemas de cultivo para el almacenamiento de carbono a largo plazo en la biomasa vegetal y los suelos.

El diseño espacial de los cultivos, la variedad de cultivos y las tasas de siembra de los cultivos intercalados es esencial para maximizar la producción de biomasa de los cultivos intercalados, reducir la competencia de las malezas y reducir las plagas y los patógenos

Retorno de biomasa: enmiendas orgánicas. Los efectos a largo plazo sobre el carbono del suelo de los residuos de cultivos son muy variables y, a menudo, han mostrado efectos no significativos, con la excepción de los suelos severamente erosionados. En un experimento a largo plazo en Dinamarca, la aplicación anual de paja solo mostró un aumento significativo en el carbono del suelo cuando se añadieron 12 toneladas/ha de paja de cebada a los suelos, lo que correspondía al doble de lo que realmente producía el campo. Sin embargo, si los residuos de cultivos no se devuelven al suelo, esto puede provocar una disminución de las reservas de carbono del suelo. El efecto de las enmiendas orgánicas que no se producen en el campo, depende del contenido de carbono, la estabilidad de la enmienda y la dosis aplicada. Las enmiendas de residuos orgánicos como lodos de depuradora han duplicado el carbono del suelo en 20 años en un experimento en Suecia. Sin embargo, las preocupaciones sobre otros efectos ambientales, como los residuos de productos farmacéuticos y metales pesados, han influido en el uso y la normativa de las aguas residuales en Europa. La aplicación de estiércol animal generalmente se considera positiva para el carbono del suelo, pero cuando se administran en cantidades muy altas, la lixiviación de nutrientes puede causar problemas como la eutrofización de las aguas subterráneas y superficiales. El estiércol de cerdo es una forma común de estiércol pero contiene menos materia orgánica que el estiércol de ganado. Como muchos factores determinan el contenido de nutrientes y materia orgánica del estiércol, también existe una gran variabilidad dentro de un tipo de estiércol. El efecto sobre el secuestro de carbono del suelo del estiércol es mayor cuando el contenido de materia seca es mayor. Por lo tanto, el estiércol sólido es más efectivo que los purines, pero para reducir el riesgo de contaminación por N y P, se debe tener en cuenta el contenido de nutrientes del estiércol, equilibrándolo con la demanda de los cultivos a lo largo del tiempo. Por otro lado, el biocarbón es un producto del calentamiento de biomasa orgánica en condiciones de bajo oxígeno. Es un

producto similar al carbón con contenidos de carbono que oscilan entre el 50 y el 95 % en peso. La estabilidad a largo plazo depende principalmente de las materias primas y las condiciones del proceso, pero el biocarbón suele consistir en grandes fracciones estables de compuestos orgánicos. Uno de estos productos, es el denominado como biochar que ha recibido un gran interés y aumenta el carbono del suelo, pero los efectos sobre la calidad del suelo aún se están debatiendo.

El uso de materiales/residuos orgánicos (procesados) como enmienda del suelo está sujeto a una serie de normas europeas y nacionales. Esta legislación previene el uso indebido y la contaminación del medio ambiente (por ejemplo, la eutrofización de las aguas superficiales y la contaminación de los suelos por metales pesados), pero también puede dificultar el reciclaje local de materiales orgánicos. Los factores más problemáticos en su uso y que se mencionan con frecuencia son la contaminación potencial con metales pesados, semillas de malas hierbas y antibióticos.

En cuanto a los beneficios, el uso de compost proporciona una mejor calidad del suelo, una mayor biodiversidad del suelo, un menor riesgo de erosión, mejor infiltración y drenaje del agua, mayor contenido de humus, mejor estructura del suelo y mayor potencial de mineralización de nitrógeno.

Sin embargo, no todas las enmiendas orgánicas son igualmente estables y, como consecuencia, no contribuyen tanto al secuestro de carbono a largo plazo como otras. Además, la emisión de otros gases de efecto invernadero como el N₂O y CH₄ también se debe tener en cuenta durante el almacenamiento, el procesamiento y después de la aplicación al suelo.

¿Cuánto carbono se puede secuestrar por tonelada de enmienda añadida al suelo? Los resultados de experimentos de campo a largo plazo muestran que el compost a base de plantas retiene en promedio 0,26 toneladas de C por tonelada de enmienda aplicada, el estiércol de ganado 0,20 toneladas de C por tonelada de estiércol (39, 40), mientras que el lodo compostado proporciona 0,20 toneladas de C por tonelada de C añadida

Agricultura de conservación: labranza reducida.

El concepto de agricultura de conservación fue introducido por la FAO y se basa en tres principios básicos: perturbación mínima del suelo, cobertura permanente del suelo por cultivos y residuos de cultivos y rotación diversificada de cultivos y diversidad de especies. La

práctica tiene su origen en la conservación del suelo y el agua, que se desarrolló en la década de 1940 en respuesta a la sequía y la erosión del suelo en los EE. UU. y condujo a una mayor demanda e interés en los sistemas de agricultura de conservación y la sustitución gradual del arado por labranza reducida. Se ha sugerido que la labranza es una de las principales prácticas de manejo que pueden influir en el secuestro de carbono, por ejemplo, hay evidencia de pérdida de C debido al arado. Para aumentar las reservas de carbono del suelo, la labranza reducida generalmente debe combinarse con la restitución de biomasa y el uso de cultivos de cobertura. Un beneficio adicional de la agricultura de conservación es la reducción de los costes del cultivo en insumos y tiempo de dedicación.

Se entiende ampliamente que el carbono del suelo se conserva mejor cuando el suelo se altera lo menos posible y se cubre tanto como sea posible. La labranza reducida puede ayudar a controlar la erosión y mejorar la eficiencia del uso de agua y fertilizantes.

Los factores climáticos y edáficos locales de las tierras cultivables en Europa a veces pueden limitar la adopción de ciertas estrategias para aumentar el carbono del suelo. Los factores climáticos, como la precipitación variable durante la temporada de crecimiento, pueden requerir la adaptación de estrategias de riego o drenaje. La textura del suelo en combinación con el clima puede generar un alto riesgo de erosión del suelo por viento o agua, exportando carbono del suelo desde las capas superficiales del. En suelos que son salinos o alcalinos, el carbono del suelo será más difícil de secuestrar.

Por otro lado, la agricultura de precisión es una solución que permite por medio de la aplicación de alta tecnología, generar diagnósticos locales y estrategias de adaptación para aumentar el carbono del suelo y reducir las emisiones de GEI. También permite generar estrategias innovadoras para extender la cobertura del suelo e introducir cultivos de cobertura en rotaciones en áreas con disponibilidad limitada de agua o propensas a condiciones climáticas adversas.

Aquí hay una serie de herramientas que se han desarrollado con el fin de compartir los conocimientos de investigadores y agricultores:

- Herramienta agrícola del Reino Unido:
<http://www.farmcarbontoolkit.org.uk/>

- Suelo inteligente:
<https://web04.agro.au.dk/projectnet/smartsoilDST/>
- Banco C: <http://c-bank.lu.se/>
- Oscar Living mantillo y cultivos de cobertura Caja de herramientas:
<https://web5.wzw.tum.de/oscar/toolbox/database/>
- Saber Suelo: <http://www.catch-c.eu/KnowSoil/>

En las siguientes tablas, se presentan algunas ventajas y desventajas de los métodos de gestión para promover el carbono en el suelo:

Métodos de gestión para promover el carbono del suelo

Prácticas de labranza		
Prácticas	Ventajas agronómicas	Desventajas agronómicas
Labranza cero	Aumento de la fertilidad Menos malas hierbas anuales Mejor estructura del suelo e infiltración de agua.	Más malas hierbas perennes En suelos ácidos - reduce la eficiencia del encalado Aplicaciones de estiércol
Labranza reducida	Menos compactación Más depredadores Sistema más resistente al clima extremo	Competencia de malezas Estratificación de nutrientes Caracoles/babosas/ratones
Frecuencia reducida de labranza	Aplicado a más cultivos Control mejorado de malezas y plagas	No es el beneficio de la labranza cero No es un control eficiente de las malezas
Labranza en franjas	Aplicación mejorada de fertilizantes	Las malas hierbas caracoles dificultan la compactación después de la hierba.
Labranza de contorno	Prevenir la erosión y por lo tanto la pérdida de carbono.	Se necesita más logística Riesgo en pendientes pronunciadas

**En la labranza en franjas, se cultivan franjas alternas del campo.

**Labranza en contorno o en curvas de nivel, los surcos hechos por el arado corren perpendiculares en lugar de paralelos a las pendientes.

Estrategias de rotación de cultivos		
Prácticas	Ventajas agronómicas	Desventajas agronómicas
Diversas rotaciones de cultivos en el espacio y el tiempo	Aumentar la entrada de MO en la raíz y la estructura del suelo. Mayor biodiversidad del suelo	Más técnico
Agroforestería	Producción de biomasa mejorada x área. Eficiencia de nutrientes diversificar producción	Competencia entre cultivos arbóreos y herbáceos Necesidad de adaptar maquinaria agrícola
Plantas con alta relación C/N	Menor tasa de mineralización de residuos (más almacenamiento de C)	Menos N disponible para el próximo cultivo Mayor demanda de N
legumbres	Entrada de N raíces profundas	Bajo aporte de C en comparación con los cereales
Hierba en rotaciones	Mayor producción total de biomasa	Aplicaciones de herbicidas
Cultivos de cobertura	retención de N Estructura del suelo mejorada	Más gestión
cultivo intercalado	Múltiples funciones raíz	competencia de plantas Control de marihuana
Rodillo arrugador/intercalado	Mejor estructura del suelo control de malezas mediante perforación directa mayor descomposición del mantillo	Solo aplicable para algunos cultivos y tiene restricciones de tiempo. Bajar la temperatura del suelo

Estrategias de enmienda		
Prácticas	Ventajas agronómicas	Desventajas agronómicas
Compost	Relación CP/CN baja/alta Aumenta la retención de agua	Composición variable de nutrientes
digestato	Aumento de la actividad microbiana	Microorganismos dañinos
Lodos de depuradora	Aumenta la retención de agua Efectos fertilizantes	Contaminación costras de suelo
sedimentos de agua	Adición de materia orgánica de partículas minerales (específico de la región)	Malas hierbas caso por caso (variabilidad)
Terricciato (italiano) / terre végétale (Francia)	Materia orgánica y suelo mineral	-
Biocarbón	Fácil aplicación	Efecto limitado sobre la fertilidad del suelo. Voluminoso, por lo que el transporte podría ser problemático. Ligero, tan fácil de llevar por el viento.
Astillas de madera	Retención de agua Fertilidad (a largo plazo) Mejora de la biota del suelo	Limitación de nitrógeno
Residuos de cosecha	Aporte de carbono orgánico Control de marihuana Aumentar la infiltración Mejora de la estructura del suelo en caso de perturbación mínima del suelo Control de la erosión Equilibrio hídrico mejorado Aumentar la fertilidad del suelo Disminuir la erosión del suelo Aumentar la biodiversidad del suelo y de la superficie	Competencia por nitrógeno El establecimiento del cultivo requiere equipo específico

Estrategias de fertilizantes		
Prácticas	Ventajas agronómicas	Desventajas agronómicas
Estiércol - corral	Mejora de la estructura y biología del suelo. Mayor fertilidad	Riesgo de compactación durante la aplicación Dificultad para aplicar la dosis correcta El estiércol fresco puede contener semillas de malas hierbas
Estiércol - purín	Mejor estructura y biología del suelo. El estiércol fresco aplicado en la superficie inocula microorganismos. Mayor fertilidad	El transporte puede influir en la compactación del suelo
Lodos de depuradora	Mejor estructura y biología del suelo. El estiércol fresco aplicado en la superficie inocula microorganismos. Mayor fertilidad	Aumento de metales pesados y contaminantes orgánicos
digestato	Eficiente en N y P	Aumento de metales pesados y contaminantes orgánicos
Abono verde - legumbres	Reducir la lixiviación de nutrientes menos erosión mejor infiltración competencia con malezas	Dificultad para sincronizar la liberación de N con las necesidades del próximo cultivo
fertilizantes minerales	Fácil de aplicar Alta eficiencia	Debería estar vinculado a la rotación de cultivos.

Más información sobre este tema puede encontrarse en:

<https://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/awareness-raising/en/>

5. Compostaje

5.1.¿Qué es el compost?

El compostaje simula el proceso de descomposición de la materia orgánica en la naturaleza pero realizado de forma controlada y optimizada. Es una biotecnología de bajo coste que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que pueden utilizarse como enmendantes y/o abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental de los mismos y posibilitando el aprovechamiento de los recursos que contienen. Se define como un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, donde se produce una transformación de la materia orgánica debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de organismos (principalmente microorganismos) presentes inicialmente en los propios sustratos. Implica el desarrollo de una fase termófila y generación de dióxido de carbono, vapor de agua, minerales y una materia orgánica estabilizada denominada COMPOST, con ciertas características húmicas y libre de compuestos fitotóxicos, microorganismos patógenos y malas hierbas.

- Es un proceso biológico, donde los microorganismos presentes en los propios residuos son los principales descomponedores de la materia orgánica. No son los únicos actores biológicos, ya que asociados a estos también se pueden desarrollar otros organismos creando una red trófica similar a la del suelo.
- Es un proceso biooxidativo, por tanto biológico, lo que diferencia al compostaje de otros tratamientos de tipo físico o químico, desarrollándose una actividad eminentemente aeróbica.
- Es un proceso controlado, lo que indica la necesidad de una monitorización y control de parámetros durante el desarrollo del mismo, diferenciándolo de los procesos naturales no controlados. Parámetros tales como la temperatura, humedad y oxigenación, junto a la definición previa de la composición del sustrato, inciden enormemente en el desarrollo del proceso.
- Tiene lugar sobre sustratos orgánicos en fase sólida, generalmente heterogéneos, que actúan como soporte físico y matriz de intercambio, fuente de nutrientes y agua necesarios para el metabolismo microbiano, aporta microorganismos endógenos, retiene los residuos

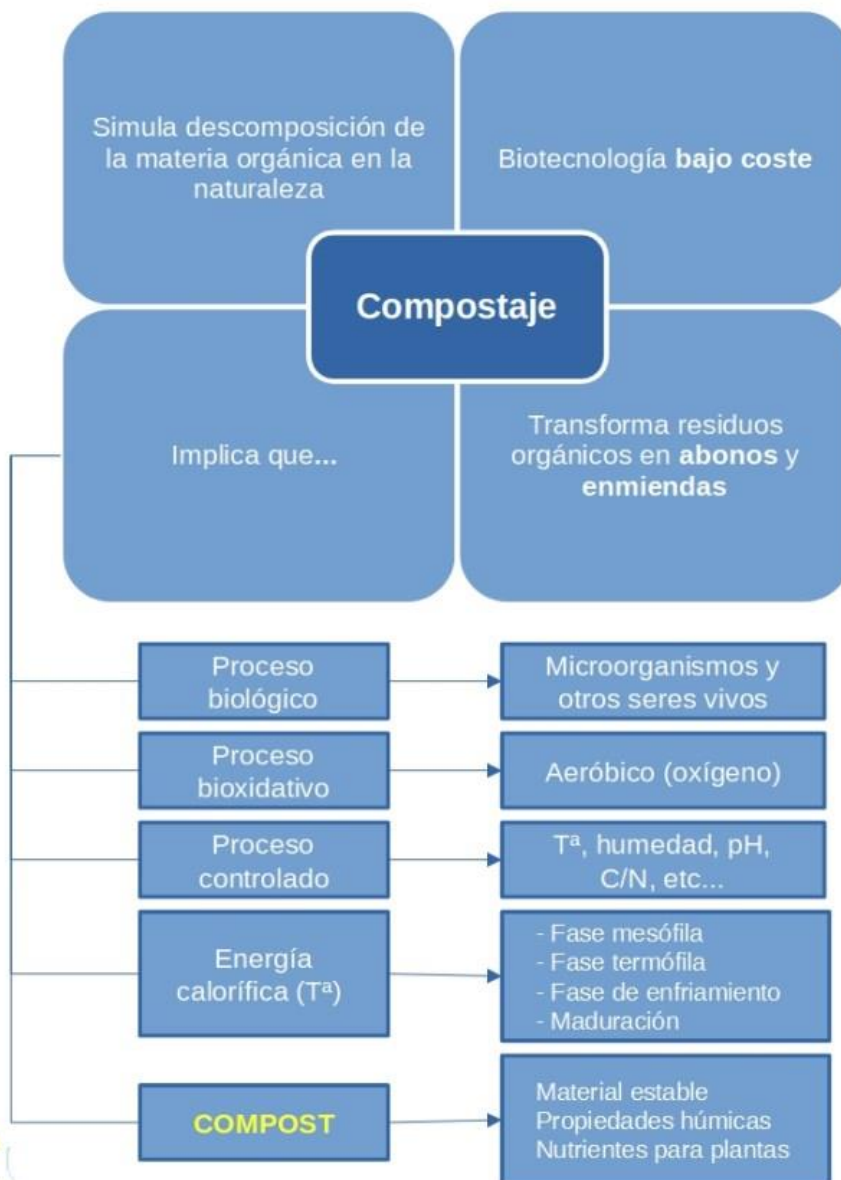
metabólicos generados durante su desarrollo y actúa como aislante térmico del sistema.

- Se desarrolla a través de una fase termofílica, en la que se registra una fuerte liberación de energía calorífica que eleva la temperatura, principal indicador de la dinámica del proceso, de forma que una lenta o escasa elevación de la misma debe interpretarse como un desarrollo no favorable de éste y/o un deficiente control de los factores que lo rigen. Estas temperaturas termofílicas, superiores a 40°C, que se producen en las primeras etapas del compostaje, disminuyen posteriormente durante la llamada fase de estabilización.
- Genera temporalmente sustancias fitotóxicas, siendo la producción generalmente menor y menos duradera con sustratos heterogéneos y bajo condiciones claramente aeróbicas. Una fitotoxicidad persistente durante el compostaje, indica un deficiente desarrollo del proceso, generalmente atribuible a insuficiente oxigenación.
- Libera dióxido de carbono y agua a la vez que se generan sustancias minerales, como principales productos de la biodegradación. Idealmente, los productos finales de un sistema de compostaje bien manejado son dióxido de carbono, vapor de agua, calor, materia orgánica estabilizada y amoníaco, aunque la proporción de éstos varía con la disponibilidad de carbono y nitrógeno en el residuo y con las condiciones en que se desarrolla el proceso en cada etapa del mismo.



¿Qué es el compost?

Fuente: www.compostadociencia.com



5.2. La importancia de los microorganismos

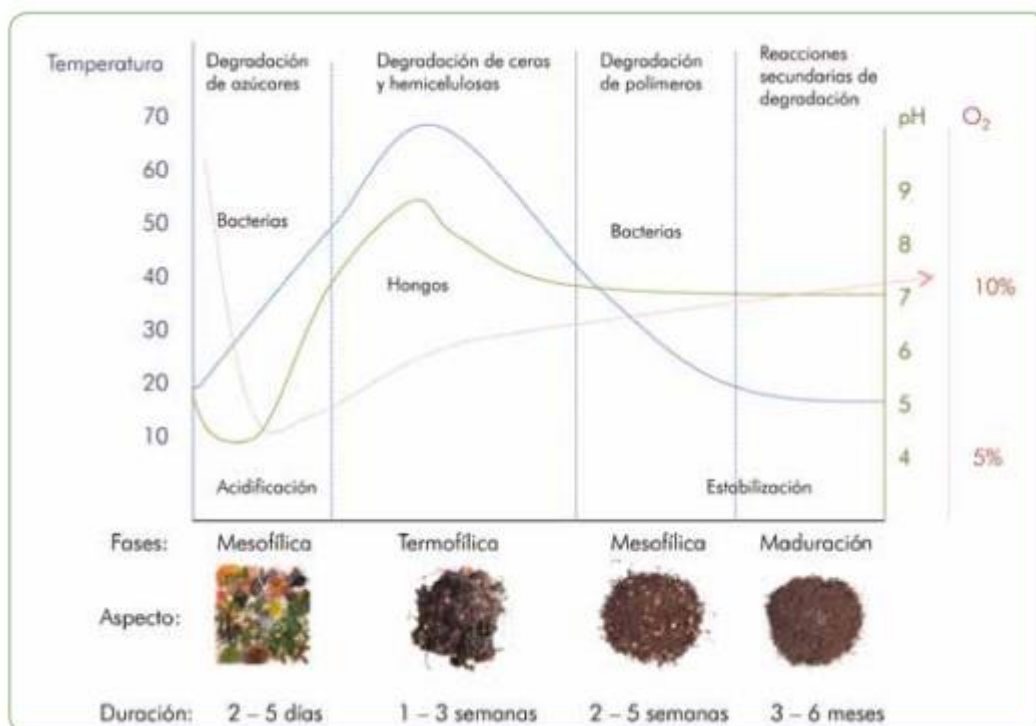
El compostaje es un proceso biológico controlado y optimizado, basado en el proceso natural de degradación de la materia orgánica en la naturaleza para la formación de humus por parte de los microorganismos presentes en los suelos.

Un concepto fundamental es que es un proceso biológico, es decir, es un “sistema vivo”. Cualquier condicionante que afecte a los microorganismos presentes en los sustratos de compostaje, afectará al proceso: falta de agua, nutrientes, oxígeno, etc.

La microbiología del proceso es muy compleja al ser muchos los microbios que intervienen (bacterias, actinomicetos, hongos, etc.). Los hay específicos que solo degradan azúcares y carbohidratos, otros que degradan la lignina, las ceras o grasas, etc., todos actuando de forma conjunta y combinada. Hay muchos que son beneficiosos para la agricultura o para las plantas, y otros que son patógenos (sobre todo si usamos materiales fecales como estiércoles).

5.3.El control de parámetros en el proceso de compostaje

Los parámetros más importantes que se deben controlar en el proceso son: temperatura, humedad, oxígeno y pH. En la siguiente figura puede verse datos característicos de cada fase del proceso referentes a la temperatura, pH y oxígeno.



Fuente: P. Roman, FAO

En cuanto a las características durante el proceso, en la siguiente tabla pueden verse todos los parámetros que deben controlarse y su desarrollo a lo largo del proceso.

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%

5.3.1. La temperatura como mejor indicador del proceso

Fruto de la actividad metabólica de los microorganismos durante la degradación de la materia orgánica se produce un incremento considerable de la temperatura. La evolución de este parámetro da pie a la clasificación de las cuatro fases del proceso del compostaje:

1. Mesófila: de temperatura ambiente hasta 40°C, dura menos de una semana
2. Termófila: 40-65°C, dura varios meses
3. Enfriamiento (o segunda mesófila): 65°C-temperatura ambiente, dura varias semanas
4. Maduración: temperatura ambiente, indefinidamente

Cada una de las fases tiene su papel, pero la más importante en la fase biooxidativa (mesófila + termófila). Durante estas fases se produce la mayor transformación de la materia orgánica e incluso, donde se produce la eliminación de los microorganismos no deseables (patógenos).

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N.	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente > 70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

Temperatura necesaria para la eliminación de algunos patógenos.

Microorganismo	Temperatura	Tiempo de exposición
<i>Salmonella spp</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Escherichia coli</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Brucella abortus</i>	55°C	1 hora
	62°C	3 minutos
<i>Parvovirus bovino</i>	55°C	1 hora
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	55°C	3 días

Fuente: Jones and Martin, 2003

5.3.2. La aireación en el compostaje

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica.

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación,

haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H₂S) o metano (CH₄) en exceso.

Porcentaje de aireación	Problema		Soluciones
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación .
5% - 15% Rango ideal			
> 15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)

FAO

Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas (substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono (CO₂), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Sin embargo, el CO₂ también es un gas de efecto invernadero, es decir, contribuye al cambio climático.

Durante el compostaje, el CO₂ se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kg de CO₂ por cada tonelada, diariamente. El CO₂ producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis.

5.3.3. La humedad en el compostaje

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje (ver sección sobre Tamaño de Partícula). Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

En procesos en que los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped.

El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base.

Porcentaje de humedad	Problema		Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)
45% - 60% Rango ideal			
>60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

5.3.4. El pH en el proceso de compostaje

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0- 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.

pH	Causas asociadas		Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas , liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 – 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material mas seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

5.4.¿Qué podemos compostar?

Cualquier sustrato o material de naturaleza orgánica es susceptible de ser compostado. Los materiales inorgánicos (yeso, sulfato de calcio, roca fosfórica, etc.) no son compostables, aunque pueden usarse para mejorar algunos aspectos del proceso como el control del pH. En el compostaje se suelen utilizar residuos orgánicos agrícolas o agroindustriales, materiales que necesitan un proceso de estabilización biológica al ser por sí mismos muy contaminantes.

La gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables. En la siguiente lista se hace una extensa relación de materiales que se pueden compostar:

- Restos de cosecha, plantas del huerto o jardín. Ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos. Heno y hierba segada. Césped o pasto (preferiblemente en capas finas y previamente desecado).
- Estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, y sus camas de corral.

- Restos orgánicos de cocina en general (frutas y hortalizas). Alimentos estropeados o caducados. Cáscaras de huevo (preferible trituradas). Restos de café. Restos de té e infusiones. Cáscaras de frutos secos. Cáscaras de naranja, cítricos o piña (pocos y troceadas). Papas estropeadas, podridas o germinadas.
- Aceites y grasas comestibles (muy esparcidas y en pequeña cantidad).
- Virutas de serrín (en capas finas).
- Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico).
- Cortes de pelo (no teñido), residuos de esquilado de animales.

No se deben incluir materiales inertes, tóxicos o nocivos tales como:

- Residuos químicos-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
- Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín).
- Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos.
- Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
- Animales muertos (estos deben ser incinerados en condiciones especiales, o pueden ser compostados en pilas especiales).
- Restos de alimentos cocinados, carne.
- Plantas o material vegetal con enfermedades u hongos.

En el caso de compostar material vegetal con enfermedades, en especial con hongos, se corre el riesgo de que estos se reactiven cuando el compost sea depositado en el campo para abonar los cultivos provocando enfermedades en las plantas.

A la hora de seleccionar el material a compostar, también hay que tener en cuenta varias propiedades importantes: la relación C/N y el tamaño de la partícula.

¿Qué podemos compostar?

App COMPOST CALCULATOR
<http://agrocompostaje.edu.umh.es>



- Desarrollada por la Universidad Miguel Hernández (UMH) (España)



5.4.1. Elaboración de mezclas para el compostaje: ajuste de la relación C/N y otros aspectos nutricionales.

En el compostaje, los microorganismos usan la materia orgánica como fuente de energía para crecer y desarrollarse. Para que este proceso ocurra de forma espontánea, se necesitan algunos requisitos nutricionales fundamentales, siendo el más limitante la relación entre el carbono orgánico y el nitrógeno disponible (relación C/N). Ambos elementos químicos son básicos en todos los seres vivos ya que son necesarios para biomoléculas esenciales como los carbohidratos, las proteínas o el ADN. Se conoce experimentalmente que para que los microorganismos crezcan, los valores de esta relación deben estar entre 25-35, es decir, 25-35 átomos de carbono por cada átomo de nitrógeno. Si tenemos sustratos con valores de relación C/N de 40-50, habrá mucho carbono y será un material muy difícil de degradar. Por el contrario, sustratos con valores de 2-10 contienen mucho nitrógeno y será necesario mezclarlos con otro sustrato carbonado.

Por lo tanto, cualquier mezcla de residuos orgánicos no vale. Tenemos conseguir mezclas lo más cercano a valores de 25-35 de esta relación.

C:N	Causas Asociadas		Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
15:1 – 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de Nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Fuente: Adaptado de PNUD-INFAT (2002)

5.4.2. El tamaño de la partícula

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm.

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m³.

Tamaño de las partículas (cm)	Problema		Soluciones
>30 cm	Exceso de aireación	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso.	Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10-20 cm
5 – 30 cm Rango ideal			
<5 cm	Compactación	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis.	Volear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar

5.5. ¿Cómo podemos compostar?

El compostaje es un método sencillo y fácil de implantar tecnológicamente hablando. Aun así, existen muchas técnicas de compostaje que van desde las más sencillas (a escala doméstica) a las más tecnificadas (plantas de tratamiento de residuos urbanos). En términos generales, se clasifican en función de tres factores:

- En función de su estructura: Sistemas abiertos (al aire libre) y cerrados (donde las pilas están confinadas en un recinto controlado).
- En función de la homogenización: Estáticos (las pilas no se voltean) y dinámicos (las pilas se voltean periódicamente).
- En función del sistema de aireación: Volteos mecánicos y ventilación forzada.

Todas las combinaciones de estos tres factores son posibles generando sistemas híbridos. El uso de uno u otro sistema dependerá de la cantidad de residuos a tratar fundamentalmente.

5.6. Beneficios del compostaje

Los aportes de materia orgánica al suelo proporcionan los siguientes beneficios:

Mejora las propiedades físicas:

- Estabilidad estructural
- Mejora de porosidad

- Control de la temperatura y radiación
- Color
- Consistencia
- Densidad aparente
- Almacenamiento de agua (retención)
- Textura (complejo arcillo-húmico)

Mejora las propiedades químicas:

- Capacidad de intercambio catiónico
- Fuente de nutrientes
- Capacidad tampón (cantidad de ácido o base necesaria para modificar una unidad de pH)
- Procesos redox (reducción-oxidación)

Mejora las propiedades biológicas:

- Soporte de la vida en el suelo
- Mejora de la biodiversidad



5.7. Criterios de calidad del compost

Estabilidad y madurez:

- Presencia de compuestos fácilmente degradables
- Actividad microbiana
- Pérdida de potencial fitotóxico

Higienización:

- Presencia de microorganismo patógenos

Tóxicos e impurezas:

- Materiales iniciales de partida
- Contenido en metales pesados

Contenido de materia orgánica, sustancias húmicas y nutrientes.

Carecer de semillas de malas hierbas.

Real decreto 999/2017, de 24 de noviembre sobre productos fertilizantes y sus posteriores modificaciones.

5.8. Uso de compost

El compost debe poseer una elevada calidad y madurez, especialmente cuando se emplea en la preparación de sustratos para cultivos de modo que sus propiedades químicas, físicas y biológicas, así como los índices de madurez deben ser considerados, evaluados y estandarizados. En estos usos el compost debe estar formado por una elevada fracción de materia orgánica estable, mantener un volumen constante, una porosidad adecuada, alta capacidad de cambio catiónico, suficiente capacidad tampón, ser estable frente a la descomposición, mostrar baja salinidad, no ser fitotóxico y carecer de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas.

Su empleo en agricultura permite una reducción en el uso de fertilizantes minerales y también se ha destacado en numerosos trabajos el papel beneficioso que la materia orgánica del compost ejerce sobre las poblaciones microbianas del suelo y la fertilidad biológica. Así, es conocido que las sustancias orgánicas del compost pueden ejercer un efecto beneficioso sobre el número y funciones de fijadores de nitrógeno heterótrofos y micorrizas o también el papel favorable que puede ejercer el compost sobre los microorganismos asociados a la rizosfera y sobre el desarrollo de las raíces.

El compost puede ser empleado en la lucha contra la degradación del suelo, en su recuperación y prevención, como demuestra la mejora de la

calidad de suelos degradados con la aplicación de residuos urbanos, compostados y frescos, residuos agrícolas, etc.

5.9. Aplicación de compost en la agricultura ecológica

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas. Por otra parte, el compost presenta un alto contenido de materia orgánica con las ventajas que ello conlleva. Se recomienda, antes de hacer aplicaciones tanto de compost o materia orgánica, como de fertilizantes minerales, realizar un análisis de suelo para controlar los niveles de nutrientes y ajustar la fertilización en función de la liberación que se produzca y de las necesidades del cultivo.

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta provienen del aire, del agua y del suelo, siendo la solución del suelo el medio de transporte de los nutrientes.

Los nutrientes en el suelo se dividen en macro y micro nutrientes, en función de las cantidades que la planta necesite. Los macronutrientes primarios son Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y los secundarios son Magnesio, Azufre y Calcio. Los micronutrientes son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero generalmente son importantes para el metabolismo vegetal y animal. Estos son el hierro, el zinc, el manganeso, el boro, el cobre, el molibdeno y el cloro.

El Nitrógeno, N (1%-4% del extracto seco de la planta) es el motor del crecimiento de la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas. Un buen aporte de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes.

El Fósforo, P (0,1% - 0,4% del extracto seco de la planta) juega un papel importante en la transferencia de energía, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis.

El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o dónde el pH limita su disponibilidad, favoreciendo la fijación.

El Potasio, K (1%-4% del extracto seco de la planta) juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, y por ende en la estructura de la planta. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades.

El contenido en nutrientes del compost tiene una gran variabilidad al depender de los materiales de origen. El contenido habitual de N, P y K en el compost suele oscilar entre los siguientes porcentajes:

Nutriente	% en compost
Nitrógeno	0,3% – 1,5% (3g a 15g por Kg de compost)
Fósforo	0,1% – 1,0% (1g a 10g por Kg de compost)
Potasio	0,3% – 1,0% (3g a 10g por Kg de compost)

Fuente: Jacob, 1961, Martínez, 2013

Ante la duda sobre las dosis de compost que podemos aplicar en nuestros cultivos, la respuesta dependerá de su contenido en nitrógeno y del tipo de agricultura que tengamos. El nitrógeno es el factor limitante y esto es así debido a la problemática actual relacionada con la contaminación por nitratos de aguas por exceso de fertilización. Esto es un gran problema en muchos lugares del mundo, en especial en Europa y cada vez más son los lugares catalogados como zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.

El caso concreto de la agricultura ecológica regida en Europa se basa en la siguiente legislación:

Según dicha legislación, el límite estaría en 170 kg de nitrógeno por hectárea y año de cultivo. Aunque este valor se debe fundamentalmente a los estiércoles, también se aplica a todos los abonos orgánicos autorizados o incluso a los compost. Esto se debe fundamentalmente a que se hace la suposición de que todo el nitrógeno es capaz de liberarse al degradarse la materia orgánica, es decir, que podría estar todo disponible para la planta y no se perdería nada por lixiviación.

Por lo tanto, para saber cuánto compost podemos aplicar, tenemos que hacer cálculos de la superficie cultivada efectiva (es decir, de la superficie que ocupan los cultivos o de la densidad de plantación) y la cantidad de nitrógeno del compost que utilicemos (que suele oscilar entre un 0.3% y un 1,5% incluso un 2% en el mejor de los casos).

Veamos el siguiente ejemplo: Tenemos un cultivo de una hectárea (10 000 metros cuadrados) de olivo ecológico, por lo que podremos añadir 170 kg de nitrógeno en total. Disponemos de un compost de alperujo con una media del 2% de contenido en nitrógeno.

Por lo tanto, lo equivalente a 170 kg de nitrógeno serían 8 500 kg de compost de alperujo con un 2% de nitrógeno ($8\,500 \times 2/100 = 170$), es decir, 8 500 kg por hectárea de cultivo. Una simple división entre el número de árboles plantados y los 8 500 kg nos daría la cantidad de compost a aplicar por árbol.

Si tenemos 400 árboles, sería 21 kg por árbol.

Cada cultivo necesita una cantidad específica de nutrientes, y esta cantidad depende en parte del rendimiento esperado del cultivo. Para calcular el requerimiento real de fertilizantes se debe tener en cuenta otros factores tales como las reservas de nutrientes del suelo, y la inmovilización o pérdida del nutriente cuando se aplica, ya sea por fijación o lixiviación.

En la siguiente tabla, pueden verse las extracciones del suelo de N de los principales nutrientes para los cultivos hortícolas y el contenido aproximado de los mismos en los residuos de cosecha para las producciones señaladas

	Producción comercial (t/ha)	Absorción de N		N en residuos de cosecha ⁽²⁾ (kg/ha)
		por produc. comerc. (kg/t)	por superficie (kg/ha)	
Alcachofa	17	11-15	190-260	80-150 ⁽⁴⁾
Apio	70	2,8-4,1	200-290	60-90
Berenjena	60	3,5-5,2	210-310	100-160
Brócoli	17	12-18	200-310	150-230
Calabacín	25	3-4	75-100	20-30
Cebolla	65	2,1-2,5	140-160	20-40
Col	50	3,8-4,2	190-210	90-120
Col china	65	2,7-3,5	180-230	80-110
Coliflor	30	7,5-8,5	220-250	120-150
Espinaca	25	4,5-5,2	110-130	20-50
Guisantes	4	25-30	100-120	60-80
Judías verdes	14	8-12	110-170	30-60
Lechuga	35	2,2-2,7	80-100	15-30
Melón	35	3,2-4	110-140	30-40
Pepino	30	2,8-3,5	80-110	20-30
Pimiento	60	3-4,5	180-270	110-160
Puerro	30	3,3-5	100-150	10-30
Rábano	25	2,3-3,2	60-80	5-10
Sandía	50	2,2-2,6	110-130	30-40
Tomate	60	2,5-3,5	150-210	45-60
Zanahoria	65	2,4-3	160-200	60-110

*La extracción de nutrientes del campo se calcula restando de la absorción el contenido de nutrientes en los residuos de cosecha.

*Estos valores son orientativos y pueden variar en función de la cantidad de residuos que queden en el campo

El compost se puede aplicar semimaduro (en fase mesófila) o ya maduro. El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro.

Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas.

La aplicación en horticultura del compost semimaduro es normalmente una aplicación de primavera de 4 – 5 kg/m² en el terreno previamente labrado.

El compost maduro se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas. Se suele mezclar (20%-50%) con tierra y otros materiales como turba.

6. Bibliografía y material complementario

<https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>

[https://www.ipcc.ch/srccl/ ... su Informe Especial sobre Cambio Climático y Tierras](https://www.ipcc.ch/srccl/...su%20Informe%20Especial%20sobre%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20y%20Tierras)

<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>

<https://www.lgseeds.es/media/guia-practica-fertilizacion-cultivos-ii.pdf>

[https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri factsheet moving from source to sink in arable farming 2019 es.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_factsheet_moving_from_source_to_sink_in_arable_farming_2019_es.pdf)

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros-de-carbono/>

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/news/protecting-soil-organic-carbon-poland>

https://youtu.be/jM_oXAbC01E

Doc: eip-

agri fg carbon storage in arable farming final report 2019 en.en.es

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/publications/eip-agri-brochure-soil-organic-matter-matters>

<https://soil4youth.soilweb.ca/home-page/resources/activities/>

[http://clacs.org/presentaciones/5-](http://clacs.org/presentaciones/5-SimposioCarbono/Simposio%20C%20Ronald%20Vargas.pdf)

[SimposioCarbono/Simposio%20C%20Ronald%20Vargas.pdf](http://clacs.org/presentaciones/5-SimposioCarbono/Simposio%20C%20Ronald%20Vargas.pdf)

<https://youtu.be/AY9YVwJZDvw>

<https://educaclima.com/que-es-el-cambio-climatico-21/>

<https://agroambient.gva.es/documents/20550103/170625582/Experimentos+para+trabajar+en+el+aula+diversos+aspectos+del+cambio+clim%C3%A1tico.+Fichas+de+trabajo/ae0b14a9-a845-47a1-b989-86dad58f08e1>

<https://youtu.be/hh7o9xt95gE> El Mapa Global de Carbono Orgánico del Suelo V1.0

http://www.valladolidadelante.es/sites/default/files/Climate_Plan.pdf

<http://www.compostandociencia.com>

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros-de-carbono/>

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/definicion-difusos.aspx>

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/about>

<https://www.fao.org/global-soil-partnership/en/>

<https://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/awareness-raising/en/>

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/focus-groups/moving-source-sink-arable-farming>

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/news/protecting-soil-organic-carbon-poland>

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/publications/eip-agri-brochure-soil-organic-matter-matters>

[https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_fg_carbon_storage_in_arable_farming_final_report_2019_en.pdf)

[agri fg carbon storage in arable farming final report 2019 en.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_fg_carbon_storage_in_arable_farming_final_report_2019_en.pdf)

