

CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA

PRÓLOGO

UNIDAD I: CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍAS RENOVABLES

EL CAMBIO CLIMÁTICO

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja, y hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor promedio de muchos años, se habla de una anomalía climática forzada por parámetros internos, como la inestabilidad del océano; o por forzamientos externos, como los cambios en el planeta debido a la actividad humana (1).

Actualmente no hay registros de variaciones climáticas medidas a largo plazo y en el mismo lugar. Las causas de la variabilidad del clima son infinitas y por lo tanto es muy difícil comprenderlo y pronosticarlo a largo plazo. Distinguir qué produce cambios en el clima de un año a otro, o en escalas mayores de tiempo es un reto científico.

Tal es el caso del cambio climático del último siglo. Es por esto que no fue sino hasta 1995 que un grupo de científicos reunidos en el panel intergubernamental sobre el cambio climático (PICC) sugirió que: “El balance de las evidencias sugiere que hay una influencia humana discernible en el clima global” (1). Su definición exacta, según la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático sería “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y se añade a la variabilidad natural del clima observada a lo largo de periodos de tiempo comparables” (Naciones Unidas, 1992:3). Es un sinónimo de calentamiento global (2).

Vamos a tratar de explicar el fenómeno del efecto invernadero y qué tiene que ver esto con el cambio climático antropogénico. Partamos de la base de que en ausencia de una atmósfera, la temperatura superficial de la Tierra sería aproximadamente -18 °C. La tierra absorbe radiación solar (radiación de onda corta) y la redistribuye a través de las circulaciones atmosféricas y oceánicas, para intentar compensar los contrastes térmicos, especialmente del ecuador a los polos. Una parte de esa radiación es devuelta o reflejada al espacio como radiación de onda larga, lo cual mantiene un equilibrio entre la radiación recibida y emitida.

Varios componentes atmosféricos, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono y el metano, tienen frecuencias moleculares vibratorias en el rango espectral de la radiación emitida por la Tierra. Estos gases de efecto invernadero absorben y reemiten la radiación en onda larga, reteniéndola en la atmósfera y causando así el aumento de temperatura, fenómeno denominado **Efecto Invernadero**.

Como resultado, la atmósfera superficial es cálida y se va enfriando a medida que se asciende a través de ella. Este fenómeno garantiza que la tierra no se congele, que es lo que ocurriría si no tuviésemos atmósfera. Los gases que están presentes en la atmósfera y que tienen un mayor efecto en esta retención del calor son: vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno y ozono.

El nombre de este fenómeno proviene de los invernaderos, que se construyen para mantener el calor. Si se cubre una porción de la superficie de la tierra con un plástico transparente o vidrio, el sol entra y hace subir la temperatura. Por la noche, el calor se mantiene y la temperatura desciende mucho menos que en el exterior, es decir, siempre hace más calor que en el exterior. La atmósfera terrestre hace el mismo efecto que el invernadero para plantas.

En los últimos años, se ha observado y medido un gran aumento en la cantidad de estos gases en la atmósfera, especialmente de CO_2 y CH_4 . Este aumento se podría deber en gran parte a la actividad humana en el planeta, es decir, a la contaminación atmosférica. Al aumentar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, la radiación de onda larga no pueda salir ya que es reflejada por los mismos, y esto causa que **aumente la temperatura de la superficie terrestre**. Este efecto es lo que actualmente se llama “efecto invernadero”, y es una de las principales causas del Cambio climático (que describiremos más adelante).

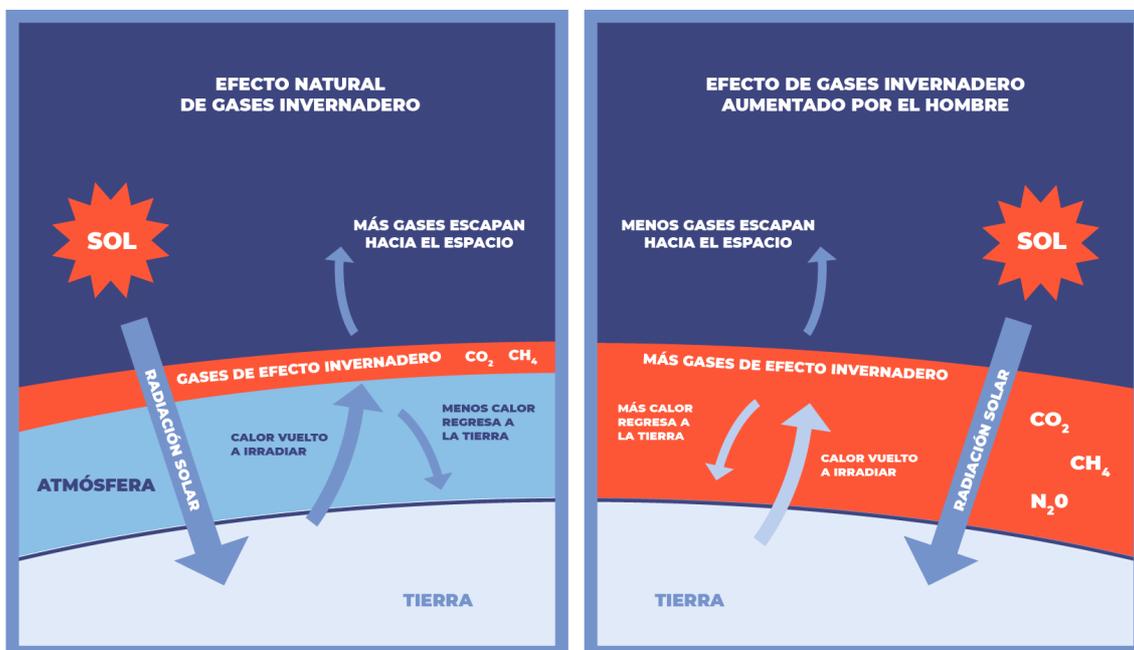


FIGURA I: Esquema representativo del efecto invernadero



El dióxido de carbono es el gas que más influye en el cambio climático, ya que de todos los mencionados es el que existe en mayor proporción y el que la actividad humana está haciendo aumentar en mayor medida (2).

La contaminación atmosférica está causando actualmente graves problemas a escala global, pues afecta a los ecosistemas terrestres y marinos, además de la salud del hombre (3).

Las causas de la contaminación de la atmósfera debido a las actividades humanas son:

a) La emisión de grandes cantidades de dióxido de carbono, producto de la combustión de combustibles fósiles – carbón y petróleo –, usados como fuentes energéticas, sobre todo en la industria y en los automotores.

b) Deforestación.

c) Las emisiones de metano por el ganado. Por otra parte, los métodos de agricultura deben ser analizados como contribuyentes al efecto de invernadero, ya que las plantas fijan el CO₂ y generan O₂, pero hay largos períodos de tiempo en que se deja el suelo sin cobertura verde, lo cual suprime el ciclo de estos gases. Además, el hombre al realizar monocultivo (o poca variedad de cultivos) está favoreciendo la pérdida de la biodiversidad.

d) La contaminación de los océanos, que es donde se fija el 40 % del CO₂.



Figura II: Niveles de CO₂ en la atmósfera en PPM por año. Fuente. NASA

Vamos a detenernos en la generación de CO₂. Históricamente, el nivel de dióxido de carbono presente en la atmósfera permaneció relativamente estable. Las emisiones de fuentes naturales (respiración de los seres vivos principalmente) se compensaba con la fijación de CO₂ por parte de los organismos fotosintéticos (plantas y bacterias), formando un ciclo. Pero todo cambió a partir de la primera revolución industrial donde se inventa el motor de vapor a carbón; y de la segunda revolución industrial, donde surge el motor de combustión interna y la generación de electricidad, para hacer funcionar máquinas en las fábricas e industrias. Todas estas nuevas invenciones requieren petróleo (o sus derivados) como combustible para funcionar.

Este hecho hizo que el hombre comience a extraer y quemar una cantidad enorme de hidrocarburos (tanto para generación de electricidad como para transporte de los mismos hidrocarburos y el carbón), haciendo que todo el carbono que estaba de forma reducida por

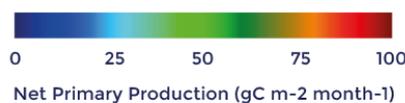
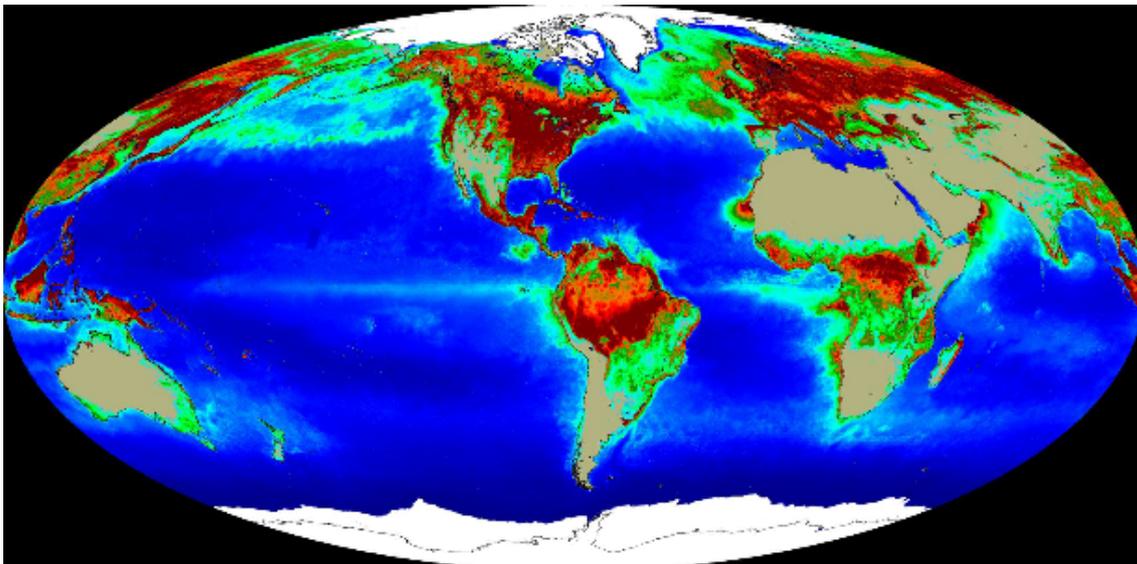
debajo de la corteza terrestre se transforme a través de la combustión, en dióxido de carbono, y éste se fue acumulando en la atmósfera. Por ejemplo, la combustión de un hidrocarburo de ocho carbonos produce ocho moléculas de CO₂:

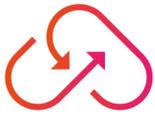


Al quemar un hidrocarburo cada carbono se transforma en una molécula de CO₂. Para verlo en números (Ver Figura II), podemos decir que antes de la revolución industrial los niveles de CO₂ eran de 280 ppm (partes por millón). Actualmente el valor de CO₂ en la atmósfera está alrededor de 405 ppm. El aumento anual es de alrededor de 2,5 ppm. Este aumento tan elevado en tan poco tiempo (sólo 70 años) causó un desbalance en el ciclo del CO₂, ya que los organismos fotosintéticos capaces de fijarlo no han aumentado proporcionalmente su abundancia ni la capacidad de asimilarlo. Por lo tanto, este se acumula en la atmósfera, aumentando la temperatura terrestre y acrecentando el cambio climático.

Me parece importante destacar que hay establecido en la naturaleza un ciclo del CO₂, ya que este gas es fijado por una gran variedad de organismos fotosintéticos. El 40% de la fijación del CO₂ ocurre en los mares, y es llevada a cabo por algas y cianobacterias. El 60% restante es llevado a cabo por las plantas en la superficie terrestre.

En la siguiente figura se observa un mapa global que muestra los niveles de fijación en nuestro planeta. Como se puede observar, en general la mayor actividad de fijación ocurre a la altura de los trópicos y en los climas templados, donde las temperaturas son más favorables. Hay baja actividad en la gran parte de los océanos y nada en los desiertos. Se observa buena actividad en las costas de los continentes, ya que ahí los nutrientes de la tierra fluyen al mar y son tomados por los microorganismos.





Otro gas contaminante de la atmósfera es el **metano** (CH_4). Este gas se produce por la descomposición o putrefacción de la materia orgánica y puede introducirse en la atmósfera tanto por procesos naturales, como la descomposición de la materia en los pantanos, las filtraciones de gas de los depósitos del subsuelo o la digestión del alimento del ganado, o por actividades humanas, como la producción de lubricantes y gas, el cultivo de arroz o la gestión de los residuos.

El metano es un gas mucho más contaminante que el dióxido de carbono ya que presenta una mayor capacidad para retener el calor de la tierra que el CO_2 . Además, al estar en un estado químico reducido, reacciona con el oxígeno y el ozono presentes en la atmósfera para transformarse en CO_2 , consumiendo así estos elementos tan importantes para el equilibrio de nuestro planeta. Por eso es tan importante capturar el metano que se genera en la tierra y aprovechar la energía que libera al quemarse y transformarse en CO_2 , y de esta forma liberar a la atmósfera un gas que sea menos dañino que el CH_4 . El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23. Esto significa que en una medida de tiempo de 100 años cada kg de CH_4 calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de CO_2 , sin embargo hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que metano.

Entonces, podemos definir al **cambio climático** como un fenómeno general de calentamiento del clima que se da a nivel mundial. Se genera por la acumulación por debajo de la atmósfera terrestre de gases de efecto invernadero, principalmente CO_2 y en menor medida CH_4 y N_2O . Esta es la principal consecuencia de la contaminación atmosférica, además de muchas otras, como podemos enumerar:

1. Alteraciones de la capa de ozono por las reacciones químicas producidas por los CFC, y con ello el incremento en la penetración de las radiaciones ultravioletas, que pueden destruir las células vegetales y animales y producir otros efectos nocivos, como mutaciones en el ADN.
2. El cambio climático da lugar al descongelamiento de glaciares y la elevación del nivel del mar. Habrá cambio de paisajes y la desaparición de ecosistemas terrestres y marinos.
3. Con los cambios de temperatura y humedad se alteran sensiblemente las actividades agrícolas y ganaderas, y con ello la producción de alimentos.
5. Procesos de desertificación.
6. Aumento y aparición de nuevas enfermedades.

Resumiendo... los invito a reflexionar sobre cuáles son los problemas concretos y qué responsabilidad tiene el hombre en todos ellos. Podemos enumerarlos para esclarecer:

1. El calentamiento global debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, que en gran parte provienen de las actividades humanas.
2. Contaminación del aire y de los mares debido a la generación de energía térmica, los escapes de los motores de combustión interna y los desechos que genera el hombre.
3. Los recursos de energía no renovable se están agotando
4. Al hombre (que puede acceder a ellos) le gusta mucho utilizar la electricidad y sus vehículos
5. La población humana crece constantemente y existe una gran desigualdad.
6. La economía mundial está basada en el consumismo, lo cual causa un aumento constante del consumo de energía y todo tipo de recursos naturales, que devuelve a la naturaleza convertidos en basura y emisiones de impacto negativo.

Por lo que podemos ver, el hombre tiene una gran responsabilidad sobre lo que está ocurriendo y es nuestro (tuyo también) deber tomar acciones para solucionar estos problemas

ACCIONES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

¿Qué podemos hacer frente a esta realidad? ¿Se puede frenar el cambio climático? Por supuesto que sí, pero es necesario actuar cuanto antes, empezar hoy mismo, desde las pequeñas cosas de todos los días. Si no lo frenamos nosotros, la naturaleza lo hará a su manera y quién sabe si el hombre podrá ser parte de esa realidad. Frente al cambio climático podemos hacer dos cosas: Acciones de Mitigación o de Adaptación (ver Figura III):

- ✓ Las acciones de **mitigación** apuntan a las causas de este, es decir, a tomar medidas que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, podemos hablar del ahorro energético (en hogares, industrias, ciudades), utilización de las energías renovables, promover en las industrias una producción más limpia, etc.
- ✓ Las acciones de **adaptación** tienen como objetivo tratar de que los efectos producidos por el cambio climático afecten lo menos posible a las personas. Por ejemplo, la forestación, la mitigación de inundaciones, la respuesta a las emergencias, la gestión de la resiliencia, etc.

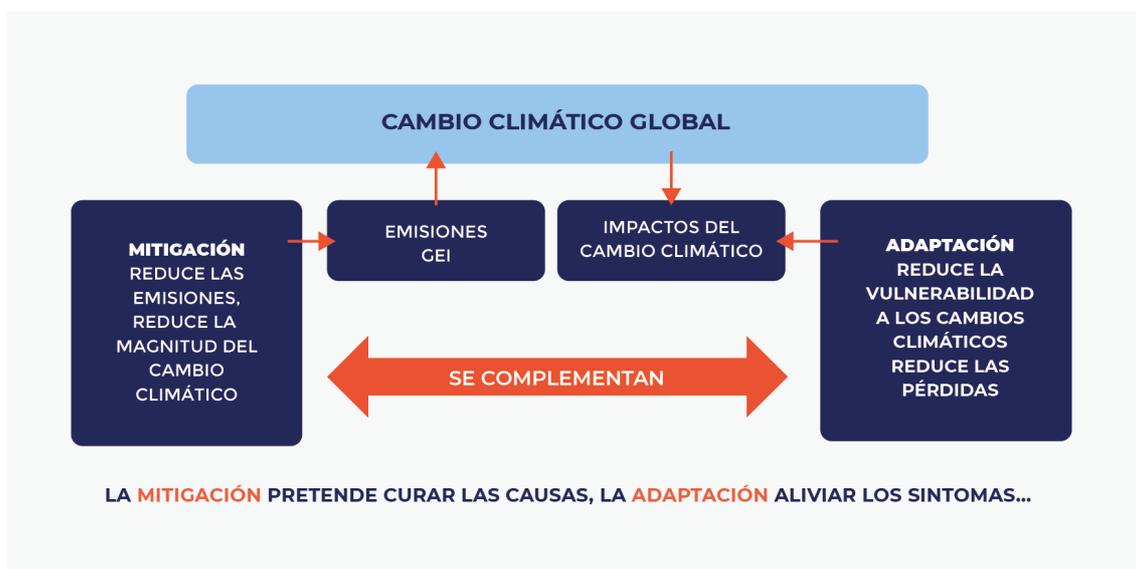


Figura III: Acciones frente al cambio climático.

Hay algo muy importante que quiero destacar, tanto las acciones de mitigación como de adaptación las deben realizar los gobiernos de los países y provincias, pero también nosotros mismos en nuestra vida cotidiana, tratando sobre todo de disminuir la cantidad de energía que utilizamos diariamente.

Estoy segura de que si revisamos rápidamente todos los consumos que hicimos en el día de hoy, hay más de uno que podemos optimizar o prescindir. Por ejemplo, desenchufar el cargador del celular una vez que ya completó su carga. No es solo responsabilidad del estado, es tuya, mía y nuestra. Ejemplos de estas acciones están resumidos en la Figura IV

Figura IV: Ejemplos de acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático global.

Las acciones que se proponen para combatir la contaminación atmosférica y sus consecuencias pueden afectar radicalmente las actividades económicas, porque significan un cambio en la tecnología y en los costos de producción por el uso de fuentes de energía menos contaminantes, pero son medidas necesarias. Lo principal es la **toma de conciencia** y la predisposición al **cambio cultural** que estas acciones requieren. Es de suma importancia la educación en este tema, así como difundir programas educativos para concientizar a la población de la necesidad de preservar el ambiente.

También es necesario promover legislaciones a nivel mundial que protejan la habitabilidad del planeta (y así evitar consecuencias catastróficas) y acuerdos internacionales que restrinjan las emisiones de gases invernadero. Como frase final para reflexionar “La concepción entonces de la biodiversidad como un resultado también de la propia intervención del hombre, le hacen naturalmente responsable, pero a la vez le hace creador y mantenedor de ella.” (4)



ENERGÍAS RENOVABLES

Como ya se nombró previamente, uno de las acciones más importantes de mitigación del cambio climático global es la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Como resultado de las reuniones y acuerdos internacionales firmados, la mayoría de los países



se han comprometido a disminuir sus emisiones de CO₂ en un 20% para el 2020. La principal fuente de CO₂ proviene de la quema de hidrocarburos y carbón para obtener energía.

¿Usted sabe de dónde viene la electricidad que utiliza en su casa? ¿Se lo preguntó alguna vez? Cuando hago esta pregunta siempre encuentro gente que me mira con ojos muy abiertos, reconociendo que no tiene idea de dónde viene esa energía que utiliza tanto y a diario. En nuestro país, la mayor parte (~70%) de la energía eléctrica se genera a partir de la combustión de petróleo y gas, dos combustibles no renovables.

El otro 30% se obtiene a partir de la energía hidráulica, entre otras. Para lograr una disminución significativa de las emisiones de CO₂ es necesario cambiar la matriz energética del país. Esto se está trabajando a nivel mundial, ya hay numerosos países cuyas fuentes principales de energía son renovables. De hecho, hay países cuya energía está cerca de ser 100 % renovable, como Islandia, Costa Rica, Noruega y Alemania, entre otros. Veremos por qué estos países y tantos otros se volcaron a este tipo de energías.

Se denomina Energías renovables a las fuentes energéticas basadas en la utilización del sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal -entre otras-. Se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles –como sucede con las energías convencionales-, sino recursos capaces de renovarse ilimitadamente. Su impacto ambiental es de menor magnitud dado que además de no emplear recursos finitos, generan menos contaminantes. Las principales ventajas de las energías renovables son:

- ✓ Son más respetuosas con el **medio ambiente**, **no contaminan** y representan la alternativa de energía más limpia hasta el momento.
- ✓ Son fáciles de dismantelar y **no requieren custodiar sus residuos** durante muchos años, como ocurre por ejemplo con las energías nucleares.
- ✓ Utilizan recursos locales como el sol, viento, geotermal, biomasa y la fuerza del agua.
- ✓ Hace que la **región sea más autónoma**, ya que potencia el desarrollo en la región donde se instala, de la **industria** y la **economía**, generando ingresos.
- ✓ Genera muchísimos **puestos de trabajo**, los que se prevén en un aumento aún mayor de aquí a unos años teniendo en cuenta su demanda e implementación.
- ✓ Combina bien con una variedad de aplicaciones de red, fuera de la red, remotas y distribuidas. En muchos casos, la energía renovable es la solución energética de menor costo.
- ✓ Conserva los recursos naturales del país.
- ✓ Permiten un mejor nivel de vida en áreas remotas, accediendo a electricidad, estufas y calentadores solares o a biogás
- ✓ Mejor salud debido a una menor contaminación, sobre todo en lugares donde se cocina con leña o carbón en lugares cerrados.
- ✓ Reducen la necesidad de importar combustibles fósiles.
- ✓ Mejoran la seguridad energética al diversificar la matriz energética, mejorando la estabilidad del precio en tiempos en que los combustibles fósiles aumentan, y reduce los riesgos asociados a la incertidumbre de los costos futuros.

El hecho de que el potencial de la energía renovable diste mucho de ser maximizado se debe en gran parte a una serie de barreras que ponen a las energías renovables en una

desventaja económica, regulatoria o institucional en relación con otras formas de energía. Estas barreras incluyen:

- Los costos relativos más altos de las tecnologías (a pesar de las reducciones de costos) en varias aplicaciones: Los sistemas de energía renovable tienen costos de capital inicial más altos que las alternativas convencionales, aunque menores costos de operación y mantenimiento. Falta de mercados maduros y marcos políticos, regulatorios y legales favorables para fomentar el desarrollo y la inversión en energía renovable.

- Falta de conocimiento y comprensión de los beneficios, costos y aplicaciones de la energía renovable entre los formuladores de políticas, el sector privado local, instituciones financieras y posibles clientes.

- Información inadecuada sobre el potencial de recursos energéticos renovables.

- Insuficientes mecanismos de cooperación internacional, incluida la transferencia de tecnología, comercio, y flujos financieros.

¿Cómo puedo saber cuál es el tipo de energía renovable a aplicar? ¿Cuál es la mejor? La mejor energía va a depender de dónde esté (para ver qué recursos existen en ese lugar) y para qué necesita la energía.

Tipos de energía renovable

✓ **Energía solar:** Es energía radiante generada por el sol. Durante la fusión nuclear, la presión y la temperatura extremadamente altas del sol hacen que los átomos de hidrógeno se separen y sus núcleos se fusionen o combinen. Dos núcleos de hidrógeno se fusionan para convertirse en un átomo de helio. El átomo de helio contiene menos masa que los dos átomos de hidrógeno que se fusionaron. La materia perdida es emitida al espacio como energía radiante.

Todas las partes del mundo reciben energía del sol, pero la cantidad y calidad va a depender de varios factores, como la ubicación, la estación, el clima, la duración del día, etc. Además, es necesario tener en cuenta que a medida que la luz solar atraviesa la atmósfera, esta es absorbida o reflejada por diferentes elementos como moléculas de aire, agua, polvo y contaminantes (Figura V). Estos factores pueden disminuir la radiación solar en un 10 % en un día claro o hasta un 100 % en un día nublado.

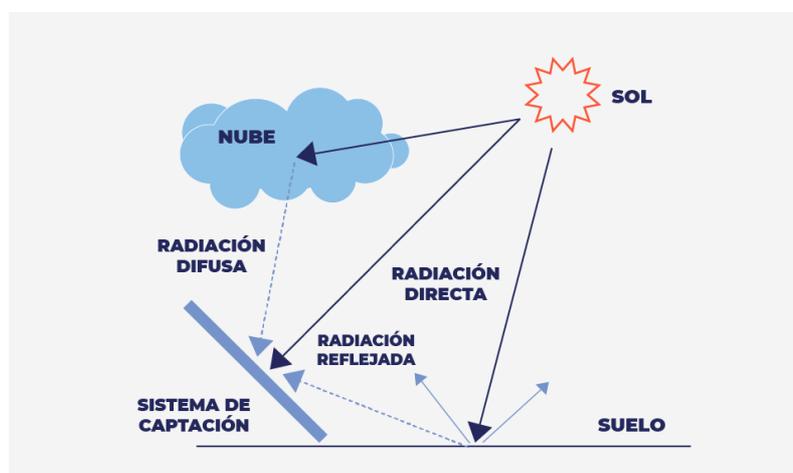
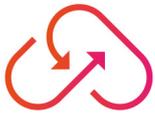


Figura V: Tipos de radiación solar que recibe la superficie terrestre.



Existen dos sistemas principales para el aprovechamiento de la energía solar: los paneles fotovoltaicos y los sistemas de concentración de energía solar térmica (Figura IV). Los primeros transforman la luz solar en electricidad, la cual debe ser almacenada de alguna manera. Los sistemas de concentración de energía térmica generan vapor de agua utilizando el calor del sol y luego con una turbina se transforma el vapor en electricidad. También se puede usar el agua caliente directamente (como es el caso de los calefones solares) o también se puede calefaccionar un ambiente calentando el aire que circula con energía solar.



Figura VI: Algunas tecnologías disponibles para el aprovechamiento de la energía solar. Izq: Calefón solar; Der: Paneles fotovoltaicos.

- ✓ **Energía eólica:** Se transforma la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire en energía mecánica de rotación y posteriormente, a través de un generador eléctrico, en energía eléctrica. Todo esto se hace utilizando aerogeneradores. La mayoría de los aerogeneradores existentes son turbinas de eje horizontal y tienen tres aspas. Una turbina simple se suele utilizar en hogares y granjas para bombeo de agua, generar electricidad y a veces se combinan con paneles solares. También hay parques eólicos que generan electricidad. Algunas de las inquietudes que plantea esta tecnología son el ruido, el impacto visual (reflejo del sol en las aspas), el peligro para el tránsito aéreo, etc. Para solucionarlos, se han hecho parques eólicos off-shore, es decir, en el mar. Esto elimina las molestias por el ruido e impacto visual, pero es muy difícil de instalar y mantener, y también se pierde energía en el transporte debido a la gran distancia que debe recorrer. En muchos casos se están incorporando a la estructura de edificios en las ciudades con muy buenos resultados (Figura VII).

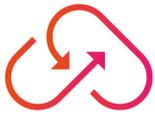
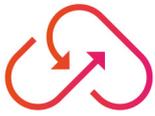


Figura VII: Ejemplos de aerogeneradores. Izq: Aerogeneradores incorporados a la estructura de un edificio (The Bahrain World Trade Center); Der: Parque eólico en el mar.

- ✓ **Energía hidráulica:** Es la energía vinculada con el movimiento y la circulación de agua. Hay varias formas de aprovechar la energía del agua, por ejemplo, las *Centrales hidroeléctricas*: Se instalan en lugares donde hay saltos o desniveles naturales que favorezcan la caída de agua en vertical, o sobre ríos caudalosos. También se han construido grandes represas para generar artificialmente estos desniveles de agua y aprovechar la energía del movimiento de esta al pasar a través de una abertura. Esto se logra gracias a turbinas cuyas paletas son movidas por el agua y luego se transforma esta energía cinética en eléctrica gracias a generadores. Cabe destacar la importancia de la presencia de vertederos para el libre paso de los peces y animales acuáticos en todo tipo de represa. También han surgido nuevas tecnologías capaces de obtener energía de las olas (*centrales undimotrices y pelamis o serpientes marinas*) y transformarla en electricidad.
- ✓ **Energía geotérmica:** Es simplemente la energía derivada del calor interno de la Tierra. Esta energía térmica está contenida en la roca y los fluidos que se encuentran debajo de la corteza terrestre. Se puede encontrar desde un terreno poco profundo hasta varios kilómetros por debajo de la superficie. Estos depósitos subterráneos de vapor y agua caliente se pueden aprovechar para generar electricidad o para calentar y enfriar edificios directamente. Por ejemplo, una bomba de calor geotérmico puede aprovechar la temperatura constante que hay tres metros por debajo de la superficie de la Tierra para calentar una casa en el invierno, mientras extrae el calor del edificio y lo transfiere a un terreno relativamente más fresco en el verano. Por otro lado, el agua caliente de las profundidades de la Tierra se puede utilizar directamente para calentar hogares y oficinas, o para cultivar plantas en invernaderos. Para producir electricidad generada geotérmicamente, se perforan pozos, a veces a 1.6 kilómetros de profundidad o más, en depósitos subterráneos para extraer vapor y agua muy caliente que impulsa las turbinas conectadas a los generadores de electricidad. Existen tres tipos de centrales geotérmicas: vapor seco, vapor de destello y de ciclo binario. El vapor seco, la tecnología geotérmica más antigua, extrae el vapor de las fracturas en el suelo y lo utiliza para impulsar directamente una turbina. Las plantas de destello hacen ascender agua caliente a alta presión y la introducen en depósitos de agua más fría a baja presión. El vapor que resulta



de este proceso se utiliza para impulsar la turbina. En plantas binarias, el agua caliente pasa a través de un fluido secundario con un punto de ebullición mucho más bajo que el agua. Esto hace que el fluido secundario se convierta en vapor, que luego impulsa una turbina. La mayoría de las plantas de energía geotérmica en el futuro serán plantas binarias. Recientemente se está implementando la energía geotérmica de baja entalpía para climatización de edificios, y se caracteriza por ser una tecnología sencilla y accesible.

Las principales ventajas de esta energía es que prácticamente no genera emisiones de CO₂. A diferencia de la energía solar y eólica, la energía geotérmica está disponible los 365 días del año. También es relativamente barato; los ahorros por uso directo pueden llegar hasta un 80 % con respecto a los combustibles fósiles. Pero tiene algunas desventajas, la principal es la liberación de sulfuro de hidrógeno, un gas que huele a huevo podrido en bajas concentraciones. Otra preocupación es la eliminación de algunos fluidos geotérmicos, que pueden contener bajos niveles de materiales tóxicos. Aunque los sitios geotérmicos son capaces de proporcionar calor durante muchas décadas, eventualmente los lugares específicos pueden enfriarse.

- ✓ **Energía de la biomasa:** La biomasa es todo material de origen biológico (excluidas las formaciones fósiles) como los cultivos energéticos, desechos y subproductos agrícolas y forestales, estiércol o biomasa microbiana (FAO, 2004). La energía que se libera de la biomasa cuando se quema o cuando es convertida en combustible se llama energía de la biomasa. La biomasa proporciona una fuente de energía limpia y renovable que podría mejorar dramáticamente nuestro medio ambiente, economía y seguridad energética. La energía de biomasa genera mucho menos emisiones de gases que los combustibles fósiles. Vamos a profundizar en este tipo de energía que es el que compete al presente curso.

BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE.

Al producirse la combustión de la biomasa (o sus derivados) se genera CO₂ al igual que al quemar combustibles fósiles. Entonces... ¿Por qué se la considera energía renovable? A diferencia de la combustión de combustibles fósiles, que liberan dióxido de carbono capturado por la fotosíntesis de miles de millones de años atrás, el dióxido de carbono liberado por la combustión de biomasa es equivalente al dióxido de carbono capturado en el reciente crecimiento de la biomasa, por lo que hay un impacto neto mucho menor en los niveles de gases de efecto invernadero.

De esta manera, se cierra el ciclo del CO₂: aproximadamente la misma cantidad de CO₂ que se libera al quemar la biomasa es fijada a través de la fotosíntesis, por lo que el dióxido de carbono neto que se libera a la atmósfera y permanece como tal es mínimo. Es decir, el CO₂ se recicla en lugar de fluir desde el suelo a la atmósfera. La fotosíntesis es realizada por las plantas, algas y cianobacterias (estas dos últimas viven principalmente en agua salada). Como veremos más adelante, la mayoría de las fuentes de biomasa para energía son residuos, con lo cual se transforma un desecho (cuya deposición final genera un problema) en un recurso energético.

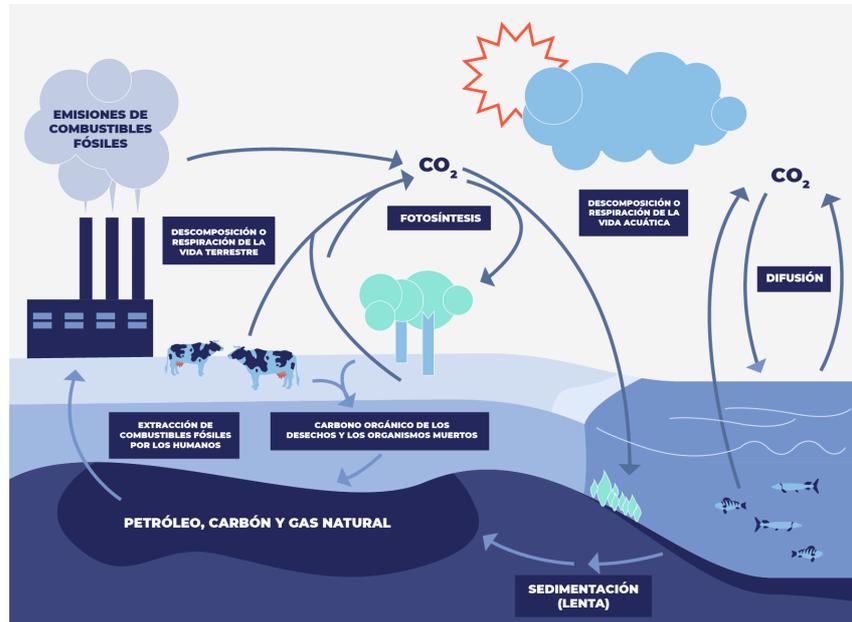


Figura VIII: Ciclo del dióxido de carbono.

La biomasa proviene de toda planta o desecho de humanos y animales. Por ejemplo, la madera, desechos de fábricas de muebles, desechos de poda, estiércol animal son todas fuentes de biomasa aprovechable. En general podemos dividirla en tres categorías: la Biomasa seca (principalmente madera y residuos leñosos); la biomasa húmeda (estiércol, desechos de alimentos, desechos de huerta, etc) y los cultivos energéticos (cuyo fin es transformar la biomasa en biocombustibles). A continuación, se muestra un mapa con la distribución de biomasa en nuestro país (5).



Dependiendo del tipo de biomasa que tenemos a disposición, será la forma de obtener energía de esta. En el caso de la **biomasa seca**, la cual corresponde principalmente a leña y residuos leñosos con alto contenido de lignina, la mejor manera de obtener energía a partir de ella es con la combustión directa, la gasificación y la pirolisis.

La gasificación es un proceso termoquímico que convierte la biomasa sólida en un gas combustible bajo condiciones de alta temperatura y en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua, etc). Dependiendo del tipo de agente gasificante se obtienen diferentes calidades de gases.

Si es aire se logra gas pobre y si es oxígeno se obtiene gas rico, con mayor poder calorífico. Así transformamos la biomasa sólida en un gas con alto poder calorífico, lo cual facilita su transporte y almacenamiento. El gas obtenido se llama gas de síntesis y su composición (aunque variable según el proceso y la biomasa de origen) suele ser:

1 KILOGRAMO DE BIOMASA SECA	>	= 2,5 A 3NM³ DE GAS (METROS CÚBICOS NORMALES)
		= PODER CALORÍFICO DE 1000-13000 KCAL/NM³
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GAS POBRE O GAS DE SÍNTESIS:		
N₂		DE 45 A 55%
CO		DE 15 A 20%
H₂		DE 15 A 20%
CO₂		DE 8 A 12%
CH₄		DE 1 A 4%

El gas de síntesis se obtiene en un gasificador de biomasa, que suelen tener un diseño estándar similar al siguiente





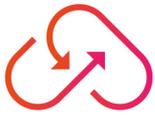
La pirolisis es un proceso similar a la gasificación (a la cual en realidad incluye) por el cual se realiza una oxigenación parcial y controlada de la biomasa, para obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (efluentes piroleñosos) y gaseosos (gas pobre). Generalmente, el producto principal de la pirolisis es el carbón vegetal, considerándose a los líquidos y gases como subproductos del proceso. El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor o, lo que es lo mismo, un peso menor para igual cantidad de energía, lo que permite un transporte más fácil.

En el caso de la **biomasa húmeda**, se realiza una biodigestión, es decir, es digerida por organismos vivos. Esta puede ser aeróbica (lo que llamamos compostaje) en la cual las lombrices y microorganismos de la tierra degradan los residuos en presencia de oxígeno, y cuyo objetivo transformar el residuo en humus utilizable, pero no permite aprovechar la energía como combustible.

La biodigestión puede ser anaeróbica (en ausencia de oxígeno), en donde bacterias y hongos anaeróbicos digieren los residuos transformándolos en fertilizante y gas metano, el cual es un combustible. Ésta última biodigestión nos permite aprovechar la energía contenida en los residuos y utilizarla con diferentes fines. Profundizaremos en la misma durante el resto del curso.

Por último, analizaremos los tipos de **biocombustibles** que se pueden obtener a partir de los cultivos energéticos. Existen tres generaciones de biocombustibles:

- ✓ Biocombustibles de primera generación: Se utiliza biomasa comestible como el maíz, la soja y la caña de azúcar. Los principales problemas que presenta son el uso de los recursos agrícolas (suelo arable, agua de riego y fertilizantes) y sus productos, que son comestibles para un fin energético. El uso de estos elementos para biocombustibles es muy debatido y tiene una fuerte controversia ética, por lo cual se trabaja para utilizar otras materias primas. La tecnología para transformar estas materias primas en combustibles está disponible y es económica. Se utiliza fermentación para transformar los azúcares en etanol y metanol, y transesterificación para convertir los aceites vegetales en biodiesel.
- ✓ Biocombustibles de segunda generación: Se utiliza biomasa celulósica, como residuos agrícolas, forestales y pastos de rápido crecimiento. Por ejemplo, son materias primas la paja de trigo, el aserrín, el bagazo de la caña de azúcar, los tallos y las hojas del maíz, y las hojas y ramas secas de los árboles, entre otros. Las ventajas de este tipo de combustibles son principalmente que requieren menos recursos, desde agua y terrenos hasta fertilizantes para ser productor, y la energía producida es mucho mayor con respecto a los biocombustibles de primera generación. Al disponer de más materias primas no comestibles, no habrá competencia con la industria alimenticia. Pueden ser generados en terrenos no agrícolas y pueden servir para recuperar terrenos erosionados. El desafío que presentan es que la transformación de estas materias primas en biocombustibles es mucho más costosa y compleja que el caso anterior, al punto de terminar siendo más costosos que los combustibles fósiles.
- ✓ Biocombustibles de tercera generación: Se basa en el cultivo de algas y cianobacterias para biocombustibles. Estos microorganismos se cultivan en estanques abiertos (pistas de rodadura) o en biorreactores cerrados. Cuanto más controlable es el proceso, es más costoso.



Estas algas pueden crecer en agua salada o en agua dulce de baja calidad, de hecho, existen cultivares que están dentro del mar. Las algas y cianobacterias son fotosintéticas (fijan CO₂ y liberan O₂ como las plantas), y toda la biomasa se utiliza para transformarlas en biocombustibles en las llamadas biorrefinerías. El principal problema de este tipo de biocombustible es que el proceso es muy costoso todavía, y es necesario un mayor desarrollo tecnológico para que sea rentable. Así mismo, se está intentando generar mediante ingeniería genética cepas de algas y cianobacterias que tengan mayor contenido de lípidos para así obtener más biodiesel por célula.

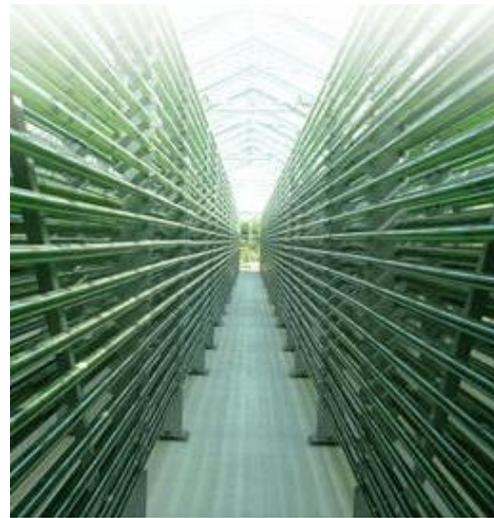


Figura IX: Formas de cultivar algas y cianobacterias. Izq: pistas de rodadura; Der: sistemas de tuberías cerradas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Julia Martínez y Adrián Fernández (coordinadores). 2004. Cambio climático: una visión desde México. ISBN:968-817-704-0.
2. Gómez, Teo y Romanillos, Pere, 2012. El cambio climático. Ed. Océano, Barcelona.
3. Ayllón, Teresa, 1996. Elementos de meteorología y climatología. Ed. Trillas, México
4. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). 2014. Naturaleza y cultura: visiones antropológicas. Programa emitido el 11 de abril de 2014. Duración: 23.21 minutos. <https://canal.uned.es/video/5a6f5e5cb1111fdb088b45c2>
5. Verónica Gonzales (coordinación). Viaje en globo a la biomasa. Probiomasa-FAO.