

*Un material didáctico de geografía y  
biología para bachillerato*

## Turberas Tropicales

Su importancia global y papel en los ciclos del agua y del carbono.



UNIVERSITY OF  
LEICESTER



## Turberas tropicales

**Su importancia global y papel en los ciclos del agua y del carbono.**

Un material didáctico de geografía y biología para bachillerato.



## CONTENIDO

Introducción a este material didáctico .....	6
1. Las turberas: cómo se forman y dónde se encuentran .....	7
1.1. ¿Qué es la turba?.....	7
1.2. ¿Qué son las turberas y dónde se encuentran? .....	8
1.3. Las capas de turba y su profundidad .....	9
2. Bosques tropicales de pantanos de turba .....	11
2.1. El desarrollo de las turberas tropicales .....	12
3. Las turberas tropicales y el ciclo del agua. ....	15
3.1. Recapitulación: El ciclo del agua.....	15
3.2. Las turberas y el ciclo del agua. ....	16
4. Las turberas, el ciclo del carbono y el cambio climático .....	20
4.1. Recapitulación: El ciclo del carbono .....	20
4.2. Las turberas y el ciclo del carbono .....	22
4.3. Metano y óxido nitroso .....	25
5. Las turberas importan .....	27
6. Amenazas que enfrentan las turberas tropicales.....	32
6.1. Drenaje agrícola.....	33
6.2. Hundimiento del suelo .....	35
6.3. Incendios .....	37
6.4. Expansión de plantaciones de palma aceitera .....	40
7. Estudio de caso 1: turberas del sudeste asiático e Indonesia .....	44
8. Estudio de caso 2: Las turberas africanas y la cuenca del Congo .....	47
9. Estudio de caso 3: Turberas y pantanos de palmera peruanos.....	49
10. El camino a seguir. Escrito por la Dra. Sophie Green y la Profa. Susan Page .....	51
10.1. Restauración de turberas: Bloqueo de canales .....	53
11. Enlaces útiles para mayor información (enlaces en inglés) .....	56
Referencias:.....	56



## INTRODUCCIÓN A ESTE MATERIAL DIDÁCTICO

Este material didáctico se encuentra dirigido a apoyar a maestros en cursos de geografía y biología a nivel medio-superior y bachillerato; es gratuito y de libre acceso. Este material fue escrito originalmente en inglés y, por lo tanto, los enlaces a recursos externos (sitios web y videos) se encuentran predominantemente en inglés.

Este material fue creado por la Dra. Sara Thornton, con escritos y aportes sustanciales de la profesora Susan Page, además de textos elaborados por la Dra. Sophie Green, Sarah Cook y Laura Wright. Se basa en investigaciones recientes sobre las turberas tropicales, su importancia en los ciclos del carbono y el agua, los servicios ecosistémicos que proporcionan, las amenazas que enfrentan y los esfuerzos para la restauración de turberas.

Usted puede ponerse en contacto con la Dra. Sara Thornton al correo electrónico: [s.thornton.p@gmail.com](mailto:s.thornton.p@gmail.com).

La creación de este material fue financiada por el Fondo para el desarrollo del impacto de la investigación de la Universidad de Leicester en Reino Unido.

La foto de portada muestra el bosque tropical de pantanos de turba en Sebangau (Indonesia), foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

## 1. LAS TURBERAS: CÓMO SE FORMAN Y DÓNDE SE ENCUENTRAN

### 1.1. ¿QUÉ ES LA TURBA?

La turba (Figura 1) es materia orgánica muerta que se ha acumulado durante miles de años. Se forma cuando el material orgánico (por ejemplo, plantas, hojas, árboles) no se descompone completamente debido a la ausencia de oxígeno en un área inundada (es decir, la descomposición **aeróbica** es limitada) y, por lo tanto, el material orgánico parcialmente descompuesto se acumula con el tiempo. Las condiciones necesarias para la formación de turba son: saturación de agua permanentemente, bajos niveles de oxígeno y, a menudo, alta acidez. Aunque la turba también puede formarse por contacto con agua subterránea (por ejemplo, en el valle de un río) que tiene un pH casi neutro o incluso ligeramente alcalino.

La turba compuesta en 40-60% (masa seca) de material orgánico muerto (vegetación).



Figura 1: Un pantano de turba al norte de Indonesia es sometido a una extracción de turba. Debido a su alto contenido de carbono la turba se utiliza como fuente de combustible en varios países. Foto: Wikimedia Commons.

## 1.2. ¿QUÉ SON LAS TURBERAS Y DÓNDE SE ENCUENTRAN?

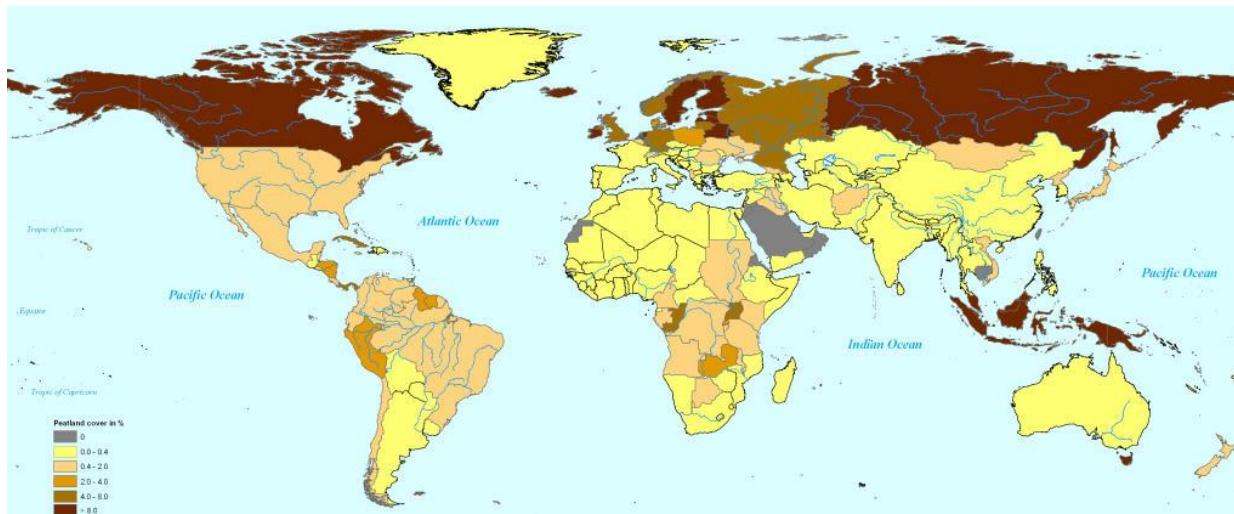


Figura 2: Mapa que ilustra la cantidad (% de cobertura) de turberas encontradas en cada país, el color marrón indica una cobertura de más del 8% de su territorio. Fuente: Wetlands International.

Los paisajes que han acumulado capas de turba en su superficie se conocen como turberas. Las turberas cubren más de 40,000 km<sup>2</sup>, o el 3% del total de superficie terrestre, pero contienen hasta el doble de carbono que los bosques mundiales (Figura 2). Las turberas representan la mitad de los humedales globales. Las turberas deterioradas son responsables de más del 7% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del mundo y contribuyen al cambio climático, pero en su condición intacta, generalmente funcionan como un sumidero de carbono a largo plazo (es decir, almacenan carbono a escala de tiempo milenaria).

Las turberas se encuentran en al menos 175 países, habiendo al menos 7 tipos principales de turberas a nivel global:

1. **Turberas de cubierta:** Son alimentadas por lluvia con una profundidad de entre 1 y 3 metros. Se encuentran principalmente en Irlanda y el Reino Unido.
2. **Turberas ombrotróficas:** Son turberas potencialmente profundas y alimentadas por la lluvia. Se encuentran principalmente en el norte de Europa y América del Norte.
3. **Turberas minerotróficas:** Se trata de superficies alimentadas por aguas subterráneas, a menudo turberas poco profundas que se encuentran en las cuencas y en las llanuras aluviales de los ríos. Se encuentran en Europa y América del Norte (ciénagas) y pueden ser bastante extensas, por ejemplo, las amplias turberas minerotróficas de Norfolk al este de Inglaterra.
4. **Turberas minerotróficas estructuradas:** Son turberas planas o cóncavas con un patrón similar a una cadena de montículos. Éstas se encuentran principalmente en el norte de Escandinavia.

5. **Miras de tundra:** Son turberas con una capa de turba poco profunda, de unos 50 cm de espesor. Se forman en áreas con suelos permanentemente congelados (permahielo, permafrost) en Alaska, Canadá y la antigua Unión Soviética.
6. **Turberas de palsa:** Son un tipo de turberas de montículos altos, cada uno con un núcleo permanentemente congelado, con depresiones húmedas entre los montículos. Se encuentran principalmente en la antigua Unión Soviética, Canadá y Escandinavia.
7. **Pantanos de turba:** Se trata de turberas boscosas (alimentadas tanto de lluvia como de agua subterránea) que se encuentran comúnmente en regiones de alta precipitación en el sudeste de Asia, África central y la cuenca del Amazonas.

Según su área, las turberas en hemisferio norte son las más extensas. Cubren alrededor de 3,500,000 km<sup>2</sup> del norte de Canadá, las tierras altas de Reino Unido, los países que bordean al Mar Báltico, el norte de Rusia y el norte de Asia. En los trópicos húmedos, también hay importantes depósitos de turba ubicados en el sudeste de Asia, África y América Central y del Sur (que cubren 580,000 km<sup>2</sup>). El país con la mayor extensión de turberas en los trópicos es Indonesia, con 200,000 km<sup>2</sup>.

### 1.3. LAS CAPAS DE TURBA Y SU PROFUNDIDAD

En las turberas del hemisferio norte la turba puede tardar al menos 1000 años en acumularse hasta una profundidad de 1 m, pero debido a que algunas turberas se han acumulado durante miles de años han alcanzado profundidades de 5 o incluso 10 m. En regiones templadas, los suelos de turba tienden a tener una profundidad de entre 1.5 y 2.3 m. En los trópicos, la mayor productividad de las plantas ha resultado en depósitos aún más profundos, ¡que exceden los 15 m de profundidad en algunos lugares!

Las turberas constan de dos capas:

1. **Acrotelma:** Es la capa **aeróbica** o zona superior (Figura 3). En esta capa, la tasa de descomposición orgánica es generalmente más alta que en la capa inferior. Tiene una alta permeabilidad al agua cerca de la superficie, pero se hace más impermeable con la profundidad a medida que la turba se consolida y descompone (humifica). El movimiento y las fluctuaciones del agua presente significan que las condiciones en el acrotelmo siguen siendo en gran medida aeróbicas y es aquí donde la actividad microbiana es más fuerte. Lo que denota las propiedades críticas del acrotelmo para el desarrollo normal y el funcionamiento de las turberas ombrotróficas.

#### ¿Sabías qué...?

Recientemente se descubrió una gran área de turberas en la cuenca del Congo en África Central (véase Estudio de caso 2). Lo que hace que la República Democrática del Congo y la República del Congo sean el segundo y tercer país respectivamente (después de Indonesia) con los reservorios más importantes en el mundo de carbono de turba tropical, con 145,000 km<sup>2</sup> de turberas en su conjunto.

2. **Catotelma:** Es la capa inferior debajo de la acrotelma que tiene una menor tasa de descomposición. Esta capa es mucho más gruesa y contiene la mayor parte de la turba donde los tallos de las plantas individuales se han colapsado bajo el peso de la vegetación sobre ellos para producir una masa **amorfa** de color chocolate. En contraste con la acrotelma, la turba de catotelma está generalmente bien consolidada y a menudo, fuertemente **humedecida**, rindiéndola permanentemente saturada de agua. El movimiento de agua a través de esta turba amorfa es muy lento, por lo general menos de un metro por día. Aquí es donde se almacena la mayor parte del agua de lluvia y el carbono.

El límite entre estas dos capas se define como el nivel más bajo del nivel freático. Una turbera intacta está completamente saturada de agua durante la mayor parte del año. El nivel del agua descenderá por debajo de la superficie de la turba durante los períodos secos, pero durante los períodos húmedos, la turba se saturará y el agua simplemente escurrirá y llegará a los arroyos con bastante rapidez.

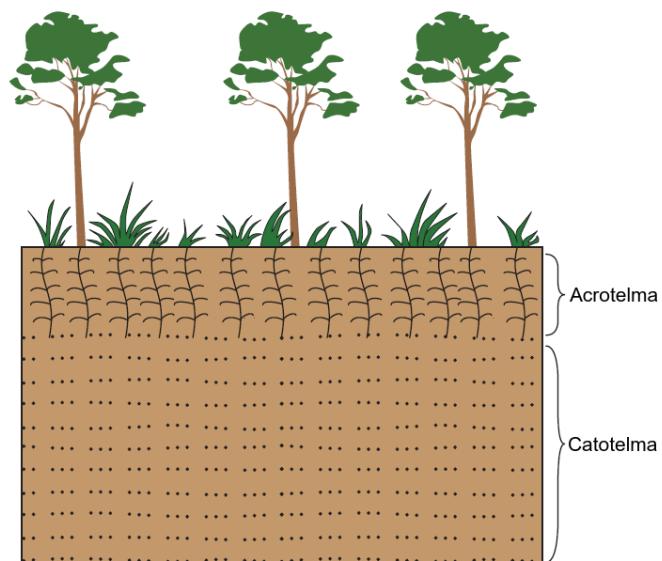


Figura 3: Las capas Acrotelma y Catotelma en una turbera tropical

### Vocabulario

**Aeróbico:** Relacionado con, involucrado con o que requiere de oxígeno libre.

**Amorfo:** Sin una forma o estructura claramente definida.

**Humificar:** Convertir (los restos de plantas) en humus.

### Pregunta de repaso

Discute qué es la turba, dónde se encuentran las turberas y cómo se forman.

## 2. BOSQUES TROPICALES DE PANTANOS DE TURBA

En los trópicos, encontramos turberas cubiertas por bosques tropicales (Figura 4). Estos se llaman bosques tropicales de turberas y se encuentran en América Central y del Sur, África Central y el Sudeste Asiático.

Las turberas, incluidas las turberas tropicales, normalmente se producen entre dos ríos o en canales de arroyos. Esto conlleva la formación de su característica cúpula flanqueada por bosques de pantanos de agua dulce como lo ilustra la Figura 5.

Las cúpulas de turba dependen completamente de la precipitación para obtener nutrientes y suministro de agua, son **"ombrotróficas"** (alimentadas por las nubes) por naturaleza. Además, debido a la falta de suministro de minerales, junto con la lixiviación de compuestos orgánicos de materiales orgánicos en el agua, hace que el agua circundante en la turba sea muy ácida. El pH suele ser inferior a 4 (el pH es una medida de acidez: para comparar, el pH del jugo de tomate es alrededor de 4, para el jugo de limón es alrededor de 2. El agua pura tiene un pH de 7).



Figura 1: Bosque tropical de pantano de turba, Borneo, Indonesia.  
Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

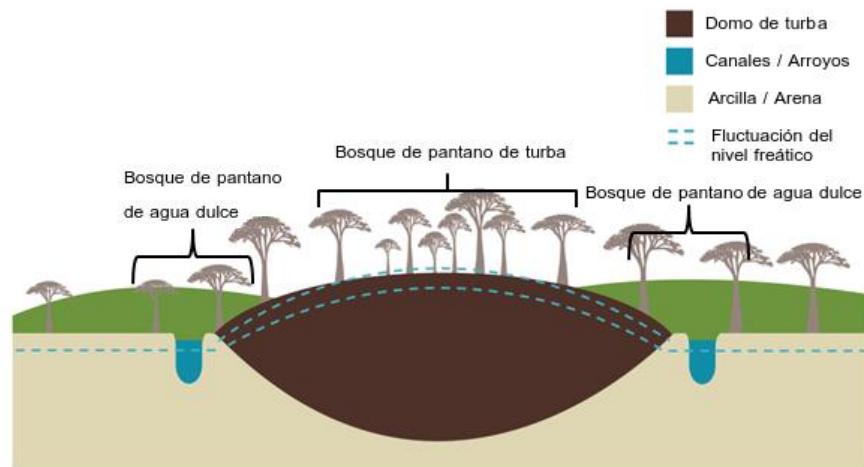


Figura 2: Representación de una cúpula de turba altamente desarrollada, con bosques de pantano de turba y bosques de pantano de agua dulce a los márgenes. Figura de Page et al. (2011a).

Como este material explicará con mayor detalle, las turberas son vitales para el almacenamiento de carbono. La tabla a continuación muestra el almacenamiento de carbono estimado en las turberas tropicales, incluidas las estimaciones recientemente descubiertas de reservorios de carbono de las turberas del Congo (véase el Capítulo 8 que analiza el descubrimiento de estas turberas). Como se muestra en la tabla, las turberas del sudeste asiático almacenan la mayor cantidad de carbono, seguidas de África y América del Sur. Por lo tanto, los tres estudios de caso presentados en este material didáctico se centrarán en estas regiones (Capítulos 7, 8 y 9).

**Tabla 1.:** Estimación de almacenamiento de carbono en turberas tropicales a escala regional, éste incorpora estimaciones de stock (reservorio) de carbono de las turberas del Congo recién descubiertas y estimaciones de stock de carbono actualizadas para el sudeste asiático que consideran una pérdida de stock de carbono de 0.5 Gt C por año desde la recopilación de los datos originales. Datos de Page et al., 2011b; Dargie et al., 2017. Tabla elaborada por Sarah Cook.

Almacenamiento de carbono (GtC)						
Región	Mínimo	Mejor estimación	Máximo	% (Mejor estimación)	Mejor estimación corregida	% (Mejor estimación corregida)
África	3.54	6.93	8.13	7.82	<b>34.40</b>	32.76
Sudéste Asiático	66.34	68.52	69.85	77.34	<b>57.02<sup>2</sup></b>	54.30
Asia (otro)	0.30	0.43	0.50	0.49	0.43	0.41
América Central	2.89	3.05	0.12	3.44	3.05	2.90
Pacífico	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
América del Sur	8.60	9.67	10.23	10.91	9.67	9.21
<b>TOTAL</b>	<b>81.9</b>	<b>88.6</b>	<b>88.9</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>100</b>

## 2.1. EL DESARROLLO DE LAS TURBERAS TROPICALES

El proceso típico de desarrollo para la formación de una cúpula de turba sub-costera en el sudeste asiático (Figura 6) puede incluir las siguientes etapas:

1. Comienza con un área plana de tierra entre dos ríos.
2. Esta área de tierra experimenta inundaciones frecuentes cuando los canales del río se desbordan.
3. La inundación deja una franja de aluvión que sostiene un bosque pantanoso de transición de agua dulce.
4. A medida que continúan las inundaciones, los diques de los ríos comienzan a acumularse, creando finalmente una cuenca poco profunda, con un drenaje deficiente. Bajo condiciones de lluvia alta, cualquier entrada de materia orgánica en la cuenca se

sumergirá y solo sufrirá una descomposición parcial, lo que llevará a la acumulación de turba.

5. Esta área con el tiempo, favorecerá el desarrollo de un bosque pantanoso de turberas (BPT), lo que incrementará aún más la entrada de materia orgánica.
6. Con el tiempo, esto hará que la turba se vuelva más gruesa, aumentando su resistencia hidráulica y creando un gradiente hidráulico.
7. En consecuencia, el nivel freático tiende a ser más alto en el centro del pantano de turba y más bajo en las franjas, creando tasas de descomposición diferenciales y conduciendo a la formación de una distintiva superficie con forma de cúpula convexa.

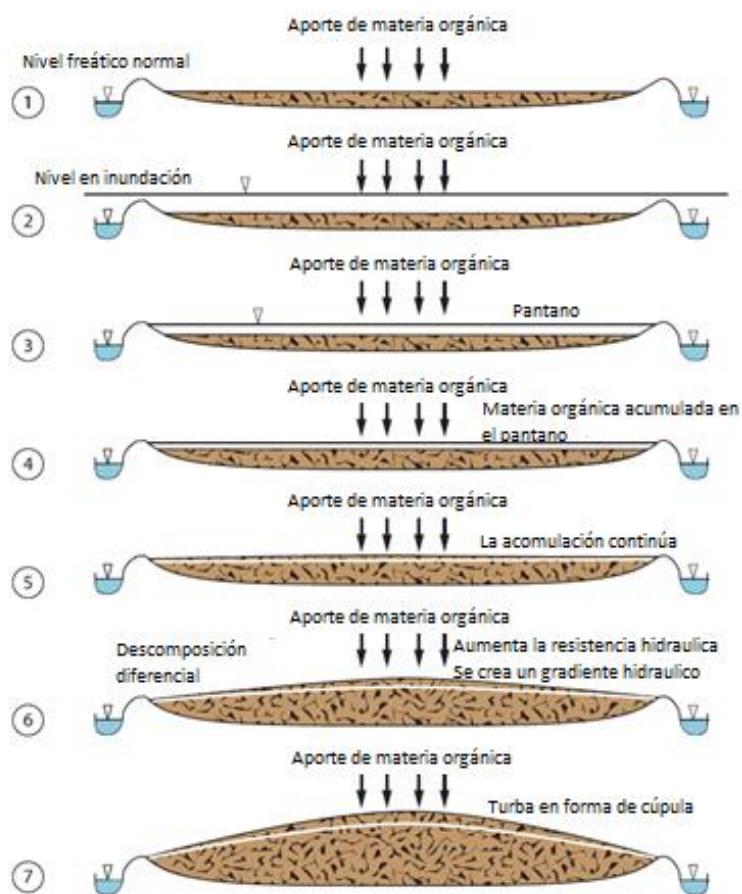


Figura 6: Diagrama esquemático básico que describe el desarrollo de una cúpula de turba. Diagrama adaptado de Rais, 2011.

En zonas costeras, los pantanos de turba se han desarrollado sobre sedimentos marinos tierra adentro a partir de manglares. Con el tiempo, el material orgánico comienza a acumularse, y la vegetación del manglar es reemplazada por un bosque de pantanos a medida que el ecosistema se vuelve cada vez más ombrotrófico.

La estimación actual del área total de turberas tropicales sin intervención humana se encuentra en el rango de 300,000 a 450,000 km<sup>2</sup>. En el sudeste asiático, los recursos forestales y las funciones naturales de las turberas tropicales se están viendo gravemente dañadas por desarrollos inmobiliarios, la tala legal e ilegal y los incendios; las turberas podrían pronto ser destruidas para siempre con consecuencias ambientales potencialmente devastadoras a nivel regional y global.

En las próximas secciones se describirán las razones por las cuales los bosques tropicales de turberas son importantes. Ya sea, por su papel en los ciclos del agua y el carbono, así como su importancia como medios de supervivencia de las comunidades que viven en estos bosques. El capítulo 3 describe el papel de las turberas tropicales en el ciclo del agua.

#### ***Enlaces útiles***

1. *Mira este video sobre las "Funciones naturales de las turberas" para aprender más acerca del funcionamiento de una turbera natural (enlace en inglés):*  
<http://www.youtube.com/watch?v=zpP17-mc5I4> [6.22 min]
2. *Mira este video sobre el "Desarrollo de las turberas" para aprender más acerca de cómo se forma una turbera. Este video se centra en las turberas templadas, pero también es relevante para el proceso de formación de turberas tropicales (enlace en inglés):* <https://www.youtube.com/watch?v=Hu7yCrSzC1A> [4.16 min]

#### **Vocabulario**

**Aluvión:** Depósito de arcilla, sedimentos y arena que es dejado a su paso por el agua de inundaciones en un valle o delta de río, generalmente produce un suelo fértil.

**Resistencia hidráulica:** La resistencia al movimiento de un cuerpo en un líquido debido a las fuerzas de fricción que se generan entre el cuerpo y el líquido. (revisar definición en original)

**Gradiente hidráulico:** La diferencia de altura de un líquido en dos puntos al aire libre, dividida por la distancia recorrida por ese líquido fluyendo a presión.

**Ombrotrófico:** Depende de la humedad atmosférica para obtener sus nutrientes (alimentado por las nubes).

#### ***Pregunta de repaso***

*Discute qué son los bosques tropicales de turberas, por qué son únicos y cómo se desarrollan a través del tiempo.*

### 3. LAS TURBERAS TROPICALES Y EL CICLO DEL AGUA.

#### 3.1. RECAPITULACIÓN: EL CICLO DEL AGUA

El ciclo del agua (Figura 7) describe el movimiento continuo del agua en la superficie terrestre, por encima y por debajo de ella. El agua se transfiere continuamente entre la atmósfera y los océanos; esto se conoce como el ciclo hidrológico global y este sistema es un sistema cerrado (no hay entradas ni salidas).

Los principales reservorios de agua en la Tierra incluyen: hielo, agua dulce, agua salina y agua atmosférica. El agua se mueve entre estos reservorios, como por ejemplo desde el océano (agua salina) al agua atmosférica, a través de procesos físicos de:

1. Evaporación
2. Condensación
3. Precipitación
4. Infiltración
5. Escurrimiento superficial
6. Flujo subsuperficial



Figura 7: El ciclo del agua. Figura de USGS, disponible en Wikimedia Commons.

Al hacerlo, el agua pasa por diferentes estados físicos: líquido, sólido (hielo) y vapor. Moverse a través de estos estados implica el intercambio de energía. Esto también conduce a cambios de temperatura. Por ejemplo, cuando el agua se evapora, toma energía de su entorno y enfriá el ambiente. Cuando se condensa, libera energía y calienta el ambiente. Estos intercambios de calor influyen en el clima.

El ciclo del agua es esencial para el mantenimiento de la mayoría de la vida y de los ecosistemas del planeta.

*Enlaces útiles:*

Para repasar el ciclo del agua, echa un vistazo a los siguientes videos y enlaces (en inglés):

1. 'El ciclo del agua': <https://www.youtube.com/watch?v=al-do-HGulk> [6.46 minutos]
2. "El ciclo hidrológico de la cuenca de drenaje":  
<http://www.alevelgeography.com/drainage-basin-hydrological-system/>
3. "Tema 5 - El ciclo del agua y la inseguridad del agua":  
<http://www.physicsandmathstutor.com/geography-revision/a-level-edexcel/water-cycle-and-insecurity/>

### 3.2. LAS TURBERAS Y EL CICLO DEL AGUA.

Las turberas tropicales desempeñan importantes funciones a nivel regional y local en el ciclo del agua, el clima y la estabilización del entorno. Son las áreas donde se originan muchos ríos, también son importantes para el almacenamiento y suministro de agua y son cruciales para la mitigación de sequías e inundaciones. Las turberas a nivel mundial contienen el 10% de toda el agua dulce del planeta.



Figura 8: El río de turberas tropicales de Sebangau en Borneo, Indonesia. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

La hidrología de las turberas, y en particular la posición del nivel freático en relación con la superficie de la turba, desempeña un papel fundamental en el funcionamiento de las turberas y del ciclo de carbono. Estos sistemas son húmedos (el nivel freático generalmente se encuentra a 20-40 cm por debajo de la superficie de las turberas, siendo común la inundación de la superficie en algunas turberas) pero existe una incertidumbre considerable sobre su presupuesto hidrológico. En los bosques de pantano de turba, la capa superficial de turba, la **acrotelma**, puede inundarse durante nueve meses al año; ralentizando la descomposición aeróbica y favoreciendo así la formación de turba. Durante la estación seca, el nivel del agua disminuye y hay un aumento en el perfil de turba **óxica** (es decir, la cantidad de turba expuesta al aire), lo que lleva a su descomposición liberando CO<sub>2</sub> al ambiente. Esto será explorado con más detalle en el Capítulo 4.

La disminución del nivel del agua puede deberse a la variabilidad climática o al drenaje agrícola de las turberas (que se realiza para disminuir el nivel freático en plantaciones de palma o madera o en las operaciones de extracción de madera donde se construyen canales en el terreno para transportar madera fuera del área). Eventualmente, un nivel de agua más bajo puede causar una disminución de la acumulación de turba y finalmente un colapso de la estructura de turba, lo que además hace que el bosque de turberas se desplace de ser un **sumidero de carbono neto** (es decir, absorba carbono de la atmósfera) a una **fuente neta de carbono**. El drenaje agrícola de las turberas se explorará más a fondo en el Capítulo 6. Rehabilitar la hidrología de las turberas naturales, por ejemplo, bloquear los canales de drenaje, es una acción de conservación de las turberas que se está llevando a cabo para reducir la degradación de la turba. Una serie de acciones de conservación serán exploradas más a fondo en el Capítulo 10.

Se necesita una saturación de agua continua para mantener la cúpula de la turba. Solo entonces las turberas tienen las condiciones **anóxicas** que inhiben la descomposición del material orgánico derivado de la planta para que la turba se acumule y no se degrade. Sin embargo, estas condiciones no siempre se pueden mantener a lo largo del tiempo, especialmente en climas tropicales. Esto se debe a que, en estas áreas, hay altas tasas de **evapotranspiración** y, en ocasiones, estaciones secas inequívocas. Además, la forma de cúpula de la turba (por gravedad) naturalmente hace que el agua corra fuera de la cúpula (pero esto no es necesariamente el caso, como se describirá más adelante en la autorregulación de su hidrología). Esto se traduce a cúpulas de turberas que drenan naturalmente hacia el río circundante (como se ilustra en la Figura 9).

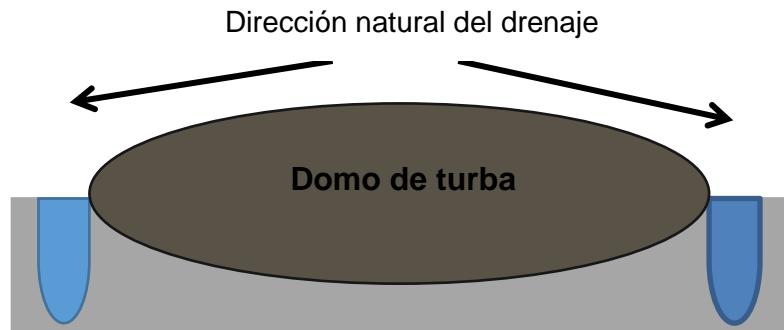


Figura 9: Diagrama que muestra el sistema natural de drenaje dentro de las turberas tropicales. Figura: Sarah Cook.

Para contrarrestar esto, las turberas tienen varios mecanismos hidrológicos de autorregulación para mantener condiciones de anegamiento casi permanentes. Estos incluyen:

1. Depresiones entre montículos y la propagación de sistemas de raíces de apoyo que reducen en gran medida la velocidad a la que el agua se mueve a través de la superficie de la turba.
2. Lagunas de volteo (Figura 10) son charcas provocadas por tormentas donde los árboles son derribados creando una cavidad en la turba. Esta cavidad puede llenarse de agua y hojarasca.

Consideremos un ecosistema de turberas tropicales, como se ilustra en la Figura 10: Durante la estación seca, el nivel freático está en el punto más bajo. Por lo tanto, las turberas experimentarán **condiciones óxicas** dentro de la capa superficial de la turba (40 cm superiores). En estas condiciones, se producirá una descomposición aeróbica que llevará a cualquier materia orgánica en la superficie de la turba a que sea descompuesta por los microrganismos presentes en el suelo. La respiración heterótrofa de los microrganismos descompone la materia orgánica y la libera en forma de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>.



Figure 3: Tip-up pool in an Indonesian Peatland. Photograph by Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

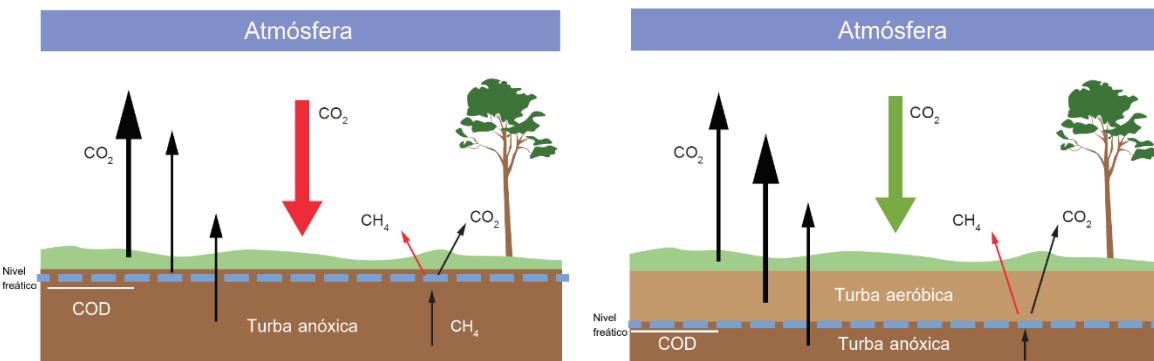


Figura 11: Dinámica del carbono en una turba intacta con un nivel freático alto y bajo. Diagrama adaptado a partir de David Wilson (2008)

### Vocabulario

**Acrotelma:** Es una de las dos capas distintivas en turberas no perturbadas. Se superpone a la catotelma. El límite entre las dos capas se define por la transición de turba que contiene plantas vivas (acrotelma) a turba que contiene material vegetal muerto (catotelma).

**Óxico:** (de un proceso o entorno) en el que el oxígeno está involucrado o presente.

**Anóxico:** Agotamiento total del nivel de oxígeno.

**Sumidero de carbono:** Un reservorio de carbono que absorbe más carbono del que libera.

**Fuente de carbono:** Un reservorio de carbono que libera más carbono del que absorbe.

**Evapotranspiración:** Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.

### *Pregunta de repaso*

Discute cuál es el papel de las turberas tropicales en el ciclo local y global del agua.

## 4. LAS TURBERAS, EL CICLO DEL CARBONO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

### 4.1. RECAPITULACIÓN: EL CICLO DEL CARBONO

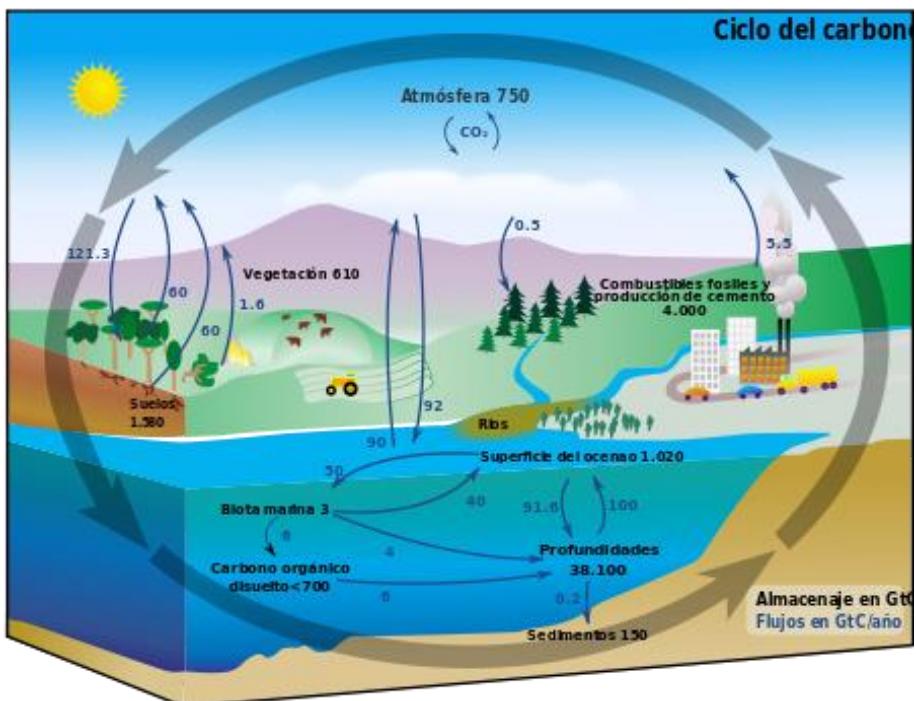


Figura 12: El ciclo del carbono, diagrama disponible en Wikimedia Commons.

Pasos básicos del ciclo del carbono:

1. El carbono entra en la atmósfera como CO<sub>2</sub> de respiración y combustión.
2. El CO<sub>2</sub> es absorbido por los productores para producir carbohidratos a través de la fotosíntesis.
3. Los animales se alimentan de plantas, pasando los compuestos de carbono a lo largo de la cadena alimenticia. La mayor parte del carbono que consumen se exhala como CO<sub>2</sub> formado durante la respiración. Los animales y plantas eventualmente mueren.
4. Los descomponedores consumen organismos muertos y el carbono de sus cuerpos se devuelve a la atmósfera como CO<sub>2</sub>. En algunas condiciones, la descomposición se ralentiza o bloquea. El material vegetal y animal puede entonces acumularse como sedimento orgánico (por ejemplo, turba) o durante largos períodos de tiempo geológico puede convertirse en rocas sedimentarias ricas en materia orgánica (por ejemplo, carbón, lignito).

Los componentes del ciclo del carbono se dividen en dos tipos de procesos:

- **Almacenamiento:** Los principales reservorios de carbono son la litosfera (por ejemplo, las rocas y el suelo), hidrosfera (por ejemplo, los océanos), criósfera (por ejemplo, nieve y hielo), atmósfera y biosfera (por ejemplo, plantas).

- **Transferencia (flujos):** Estos son los procesos involucrados en la transferencia de carbono entre los reservorios. Por ejemplo, el proceso de fotosíntesis elimina el carbono de la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> y lo convierte en carbohidratos, como la glucosa dentro de las plantas. Las transferencias son las entradas y salidas que afectan a la magnitud de los reservorios en cualquier momento.

Las principales transferencias (flujos) que suceden en el ciclo del carbono son las siguientes:

1. **Fotosíntesis:** Es el proceso mediante el cual las plantas utilizan la energía lumínica del sol para producir carbohidratos en forma de glucosa.
2. **Respiración:** Es el proceso químico que ocurre en todas las células, tanto en plantas como en animales. La glucosa se convierte en energía (utilizada para el crecimiento, reparación, movimiento, control de la temperatura corporal, entre otras). El carbono es entonces exhalado y devuelto a la atmósfera.
3. **Descomposición:** Durante este proceso, el carbono de los cuerpos de plantas y animales regresa a la atmósfera como CO<sub>2</sub>.
4. **Combustión:** Cuando los materiales orgánicos (que contienen carbono) se queman en presencia de oxígeno (por ejemplo, carbón en una central eléctrica), producen energía, CO<sub>2</sub> y agua.
5. **Entierro y compactación:** la materia orgánica enterrada por los sedimentos se compacta. Durante millones de años, estos sedimentos orgánicos que contienen carbono pueden formar hidrocarburos, por ejemplo, carbón y petróleo.
6. **Secuestro de carbono:** La transferencia de carbono de la atmósfera a plantas, suelos, formaciones rocosas y océanos.
7. **Captura y almacenamiento de carbono:** Un término recientemente acuñado que se usa para describir la "captura" con alguna tecnología del carbono emitido desde las centrales eléctricas.
8. **Meteorización:** Implica la descomposición de rocas que contienen carbono en su depósito original o cerca de la superficie, lo que produce un flujo de carbono a la atmósfera (como CO<sub>2</sub>) o en solución (por ejemplo, como bicarbonato de calcio).

#### ***Gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub> y metano (CH<sub>4</sub>):***

Un papel crítico del ciclo del carbono es la liberación de CO<sub>2</sub> y otros gases, por ejemplo, metano, a la atmósfera. Estos llamados gases de efecto invernadero (GEI) absorben las radiaciones de onda larga de la superficie terrestre, lo que calienta la atmósfera inferior y permite que exista la vida. Sin embargo, las actividades antropogénicas recientes, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación han aumentado la emisión de GEI, haciendo que la atmósfera de la Tierra atrape más radiación y causando cambios significativos en nuestro sistema climático global.

#### ***Enlaces útiles:***

*Para repasar el ciclo del carbono, echa un vistazo al siguiente enlace (en inglés):*

1. "Ciclo del carbono y nitrógeno": <https://www.slideshare.net/saramssantos/carbon-and-nitrogen-cycle-14932178>

## 4.2. LAS TURBERAS Y EL CICLO DEL CARBONO

Las turberas se encuentran en todo el mundo. Contienen un alto volumen de carbono (típicamente 40–60% en peso seco) con un espesor variable, pero a menudo considerable. Como resultado, los depósitos de turba del mundo son un importante reservorio de carbono. Aunque solo cubren alrededor del 3% de la superficie terrestre de la Tierra, contienen aproximadamente 650 Pg (miles de toneladas) de carbono, que es más que el carbono almacenado en toda la vegetación del mundo (550 PgC) y aproximadamente tres veces el carbono almacenado en las reservas de petróleo conocidas (220 pgC).



Figura 13: El dosel del bosque de turberas de Sebangau en Indonesia. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

Las plantas presentes en las turberas absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a medida que crecen (a través de la fotosíntesis) e incorporan el carbono en su biomasa (**producción primaria bruta, PPB, GPP** por sus siglas en inglés). Cuando mueren y se incorporan a la turba, una fracción variable de este carbono evita su descomposición aeróbica y se almacena durante milenios. La mayor parte del carbono de turba se ha acumulado en largos períodos de tiempo; durante los últimos 8,000 a 10,000 años. La descomposición de los desechos de la planta y la turba que forman las turberas produce tanto CO<sub>2</sub> (resultado de la descomposición aeróbica) como CH<sub>4</sub> (resultado de la descomposición anaeróbica). Estos se pierden principalmente en forma de fase libre (gaseosa) desde la superficie de las turberas, pero también pueden perderse disueltos en el agua que fluye fuera de las turberas. La vegetación de turberas y la propia turba liberan carbono en forma de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, por la respiración autótrofa (respiración de la raíz) y heterotrófica (descomposición de la materia orgánica a través de los microbios). En su conjunto, este proceso se conoce como **productividad neta del ecosistema (PNE, NEP** por sus siglas en inglés). La respiración heterotrófica y las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes dependen de la dinámica y actividad microbiana. Esto se controla mediante la temperatura (las temperaturas más altas tienden a conducir a una mayor

actividad microbiana), los cambios y los niveles del nivel freático (por ejemplo, condiciones anóxicas y óxicas; se necesitan condiciones óxicas para una mayor actividad microbiana) y la disponibilidad de materia orgánica lábil (por ejemplo, celulosa) en las hojas; esto es consumido rápidamente por los microrganismos que luego respiran CO<sub>2</sub>).

La diferencia entre la cantidad de carbono secuestrado, a través de GPP, y la pérdida a menudo es reabsorbida por los bosques de turberas circundantes en la biomasa del árbol y la materia orgánica acumulada. En consecuencia, en condiciones naturales, estas turberas son efectivamente **reservas netas de carbono**. Su capacidad de almacenamiento de carbono depende de su capacidad para mantener un desequilibrio neto positivo entre un GPP alto y tasas bajas de descomposición de materia orgánica. Esto, a su vez, depende de la prevalencia y el mantenimiento de condiciones anóxicas y ácidas (ya que inhiben la descomposición).

GPP también está fuertemente controlada por la estructura de la propia vegetación forestal (densidad, altura y diámetro del tronco), que cambia a lo largo de la cúpula de la turba debido a diferentes factores ambientales (por ejemplo, la altura del árbol varía con la profundidad de la turba, ya que los árboles más altos no pueden sostenerse por sí mismos en zonas con turba más profunda). Además, las emisiones heterótrofas de CO<sub>2</sub> dependen de la dinámica microbiana que está

- *Las turberas a nivel mundial contienen el doble de todo el carbono almacenado en los bosques del mundo.*
- *El carbono almacenado en las turberas del sudeste asiático es de alrededor de 58 Gt.*
- *Los suelos de turba de los bosques tropicales de pantano de turba representan aproximadamente el 14-19% de la reserva global de carbono de turba y del 5-6% de la reserva global de carbono. Es probable que estos porcentajes también sean subestimaciones al tomar en cuenta los hallazgos recientes de grandes áreas de turba en el Congo y América del Sur.*



Figura 4: Árboles y vegetación en un bosque tropical de pantano de turba en Indonesia. Foto: Sara Thornton.

controlada por la temperatura, las fluctuaciones del nivel freático y la disponibilidad de materia orgánica **lábil**.

La interdependencia entre la vegetación y la estructura de la cúpula de turba hace que estos ecosistemas sean extremadamente frágiles y vulnerables al cambio, particularmente al cambio hidrológico.

Además del flujo de carbono en forma gaseosa, parte del carbono se pierde naturalmente por lixiviación y escurrimiento, a través de la exportación **fluvial** de **carbón orgánico disuelto (COD, DOC** por sus siglas en inglés) y **en partículas (COP, POC** por sus siglas en inglés), para mayor información consulte el diagrama presentado en la Figura 15.

DOC y POC son formas del carbono que se transportan a través del agua. Se lixivian de la materia orgánica circundante; una vez en el sistema de drenaje de las turberas, es decir, pequeños arroyos y ríos, se cree que una proporción considerable de este carbono orgánico es liberado como  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera.

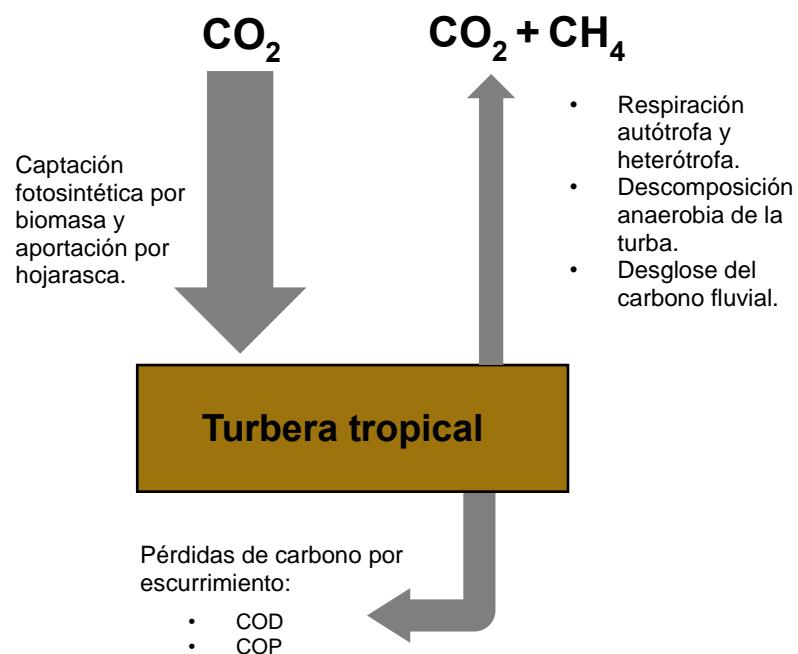


Figura 15: Diagrama esquemático simplificado que resalta las principales entradas y salidas de carbono en un bosque tropical de pantano de turba intacto. Figura: Sarah Cook

El carbono de las turberas es, sin embargo, altamente vulnerable a los cambios ambientales y climáticos. Como se explicó anteriormente, cuando el nivel freático se reduce, la oxidación de la turba conduce a su descomposición y a una rápida pérdida de carbono almacenado hacia la atmósfera, principalmente en forma del gas de efecto invernadero (GEI),  $\text{CO}_2$ . Los ecosistemas de turberas pueden, por lo tanto, cambiar de ser **un sumidero neto de carbono a una fuente neta de carbono**.

La agricultura, la silvicultura y, en menor medida, la extracción de turba ha afectado hasta el momento al 25% de las turberas de la Tierra. Si bien gran parte de las enormes turberas de América del Norte y Rusia aún están relativamente intactas, las de muchas partes de Europa, Asia Central y Sudoriental, Argentina y Chile se han degradado significativamente; con algunos de los cambios de uso de suelo más veloces y extensos teniendo lugar recientemente en los bosques de turberas del sudeste asiático.

**Resumiendo:**

La capacidad de almacenamiento de carbono de las turberas está determinada por su capacidad para:

- a) Mantener un desequilibrio neto positivo entre un GPP alto y tasas bajas de descomposición de materia orgánica
  - a. Esto depende del mantenimiento de condiciones anóxicas y ácidas que inhiben la descomposición de la materia orgánica.
  - b. PPB también está fuertemente controlada por la estructura de la vegetación forestal (densidad, altura y diámetro del tronco). Esto cambia a lo largo de la cúpula de turba en respuesta a factores bióticos y abióticos variables.
- b) Las emisiones de CO<sub>2</sub> heterotróficas dependen de la dinámica microbiana (que está controlada por la temperatura, las fluctuaciones del nivel freático y la disponibilidad de materia orgánica lábil).

#### 4.3. METANO Y ÓXIDO NITROSO

Las turberas no solo desempeñan un papel en el ciclo de carbono, sino también en los ciclos de metano y nitrógeno. Mientras que las turberas saludables tienen un almacenamiento neto de carbono, producen a su vez metano y óxido nitroso, gases de efecto invernadero. El metano es un GEI particularmente poderoso: **cada unidad de metano tiene 24.5 veces el efecto de calentamiento global de una unidad de CO<sub>2</sub>.**

Las turberas contribuyen actualmente en un 3-5% al total de las emisiones globales de metano.

Las turberas siempre han emitido metano de manera natural y estas emisiones deben considerarse parte de sus emisiones naturales de referencia. En general, las emisiones de metano de las turberas tropicales son muy bajas, independientemente de si se trata de un bosque de turberas naturales o de uno drenado y degradado o inclusive si se utiliza para la agricultura. La gran mayoría de las turberas sanas absorben y almacenan suficiente carbono de la atmósfera a través de la actividad fotosintética de las plantas de pantano, lo que proporciona un **beneficio neto para el clima.**

En el caso del óxido nitroso ( $N_2O$ ), las emisiones de las turberas tropicales naturales son bajas, pero está surgiendo evidencia que sugiere que éstas aumentan luego de un cambio de uso de suelo o de incendios. Por ejemplo, existe evidencia de que aquellas que se utilizan para la agricultura liberan cantidades significativas de este potente gas de efecto invernadero.

### Vocabulario

**Productividad primaria bruta (PPB, GPP, por sus siglas en inglés):** La velocidad a la que se produce la fotosíntesis o la quimiosíntesis.

**Productividad neta del ecosistema (PNE, NEP, por sus siglas en inglés):** La diferencia entre la producción primaria bruta y la respiración total del ecosistema, representa la cantidad total de carbono orgánico en un ecosistema disponible para su almacenamiento, exportación como carbono orgánico o para su oxidación no biológica a dióxido de carbono por medio de incendios u oxidación ultravioleta.

**Lábil:** Susceptible al cambio; que fácilmente se altera o descompone.

**Fluvial:** De o encontrado en un río.

**Carbono orgánico disuelto (COD, DOC, por sus siglas en inglés):** La materia orgánica que puede pasar a través de un filtro de  $0.45\mu\text{m}$ .

**Carbón orgánico en partículas (COP, POC, por sus siglas en inglés):** Es carbono que es demasiado grande cuando es filtrado en una muestra y permanece en la parte superior del filtro (véase la definición de COD).

### **Pregunta de repaso**

Discute cuál es el papel de las turberas tropicales en el ciclo local y global del carbono.

## 5. LAS TUBERAS IMPORTAN

Las turberas son importantes para todos nosotros. La importancia del medio ambiente para los sistemas globales y la vida humana se puede describir bajo el término “**servicios ecosistémicos**”. Este es un término polémico que se debate en el mundo académico, pero actualmente es popular a lo largo de la política internacional y local. Los servicios ecosistémicos se pueden clasificar en cuatro grupos diferentes: De regulación, aprovisionamiento, soporte y culturales. El papel de las turberas tropicales en los ciclos del agua y del carbono es un ejemplo de servicios de regulación.

Otros servicios ecosistémicos para los cuales son vitales las turberas tropicales se ilustran en la siguiente tabla.

<i>Servicios ecosistémicos reguladores</i>	<i>Servicios ecosistémicos de aprovisionamiento</i>	<i>Servicios ecosistémicos de soporte</i>	<i>Servicios ecosistémicos culturales</i>
Regulación del clima global	Agua potable	Formación de turba	Servicios de amenidad y funciones históricas
Regulación de climas regionales y locales	Plantas silvestres para alimentos y medicinas	Biodiversidad	Funciones recreativas y estéticas
Regulación de la hidrología de captación	Pesca	Ciclo de nutrientes	Simbolismos y funciones de espiritualidad y de existencia
Regulación de la cuenca hidroquímica	Suelo		Educación
Regulación de las condiciones del suelo	Combustible		
Protección contra la erosión	Fibras		
Purificación del agua	Madera		
Regulación del agua			
Almacenamiento de carbono			

Los bosques de pantano de turba en los trópicos, representan un ecosistema de alta biodiversidad con miles de especies y son ricos en flora y fauna endémicas y en peligro de extinción. El 45% de los mamíferos y el 33% de las aves registradas en los bosques tropicales de pantanos de turba se encuentran como “casi amenazados” en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), “vulnerables” o “en peligro de extinción”. Por ejemplo, los bosques de turberas del sudeste asiático son de vital importancia para la supervivencia de megafauna carismática, como el orangután (de Sumatra y de Borneo, *Pongo spp.*), el tigre de Sumatra (*Panthera tigris sumatrae*), el rinoceronte de Sumatra

(*Dicerorhinus sumatrensis*), la cigüeña de Storm (*Ciconia stormi*) y el falso gavial o gavial malayo (*Tomistoma schlegelii*). También son el hogar de felinos en peligro de extinción (es decir, de la familia de los gatos), como el gato de cabeza plana (*Prionailurus planiceps*), la pantera nebulosa de Borneo (*Neofelis diardi*) y el gato jaspeado (*Pardofelis marmorata*). Los bosques de pantano de turba en Borneo proporcionan hábitat para otras ocho especies de primates, incluido el Gibón ágil de Borneo (*Hylobates agilis albifrons*) y el langur marrón (*Presbytis rubicunda*). Tanto para los gibones como para los orangutanes, el bosque de turberas de Sebangau en Kalimantan Central (Borneo del Sur) representa una de las áreas continuas más grandes del mundo y, por lo tanto, es un área vital para la conservación de estos primates.

También se piensa que las condiciones de los bosques de turberas a nivel mundial favorecen la evolución de especies especializadas de peces y cada parche de pantanos de turba podría contener sus propias especies endémicas (Figura 16).



Figura 16: Las turberas en Indonesia son hábitats importantes para los peces. Esto, a su vez, proporciona un recurso vital para las comunidades locales que dependen altamente de la pesca para su sustento. La provisión de peces es un ejemplo de un servicio ecosistémico proporcionado por turberas tropicales. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

Los bosques tropicales de turberas también albergan una gran variedad de especies de plantas y árboles, muchas de las cuales también enfrentan amenazas de extinción. Si bien estos pueden ser menos carismáticos que los monos o los grandes mamíferos; son vitales para la conservación de estos bosques y su biodiversidad.

Los bosques tropicales de pantano de turba tienen mayor diversidad de flora que cualquier otra turba del mundo. Debido a la hidrología específica y a la estructura de la turba, los árboles se han adaptado a niveles de agua fluctuantes y al suelo inestable, con neumatóforos, raíces aéreas y de contrafuerte (ve las fotos a continuación; las raíces aéreas pueden proveer soporte estructural en el suelo húmedo e inestable de la turba; las raíces de contrafuerte ayudan a detener el desarraigo de árboles grandes; los neumatóforos son “raíces de respiración” que, como puede ser evidente, ayudan a llevar oxígeno a las raíces que se encuentran por debajo del agua pantanosa (Figura 17). Los bosques de pantano de turba requieren de estas mismas adaptaciones.



Figura 17: La imagen superior-derecha muestra los neumatóforos (foto: Wikimedia Commons), la imagen superior-izquierda muestra las raíces aéreas (foto: Cesar Paes Barreto) y la foto de inferior muestra las raíces de contrafuerte (foto: Marco Schmidt)

Lo que hace que los bosques de pantano de turba sean adicionalmente distintivos, es que a medida que las características de la turba determinan las especies de árboles encontradas

(dependiendo de la profundidad de la turba, el nivel del agua, etc.), resulta en que no existe un tipo único de vegetación de bosque de pantano; cada bosque de turberas diferirá de otro en relación a la composición de las especies y a su ecología. Hay un cambio continuo y distintivo en la estructura del bosque y en la composición de las especies de árboles a través de la cúpula de turba; del bosque ribereño al bosque de pantano mixto, hasta llegar a la selva de árboles cortos. Además, existe una considerable variación regional en la composición de las especies de árboles, por ejemplo, en el norte de Borneo, la especie dominante de árbol de pantano de turba profunda es *Shorea albida* (Figura 18), pero esta especie no se encuentra en pantanos de turba en otras partes de la región. Esto resalta la necesidad de cuidar múltiples sitios para proteger el rango completo de variación de la biodiversidad en este ecosistema.

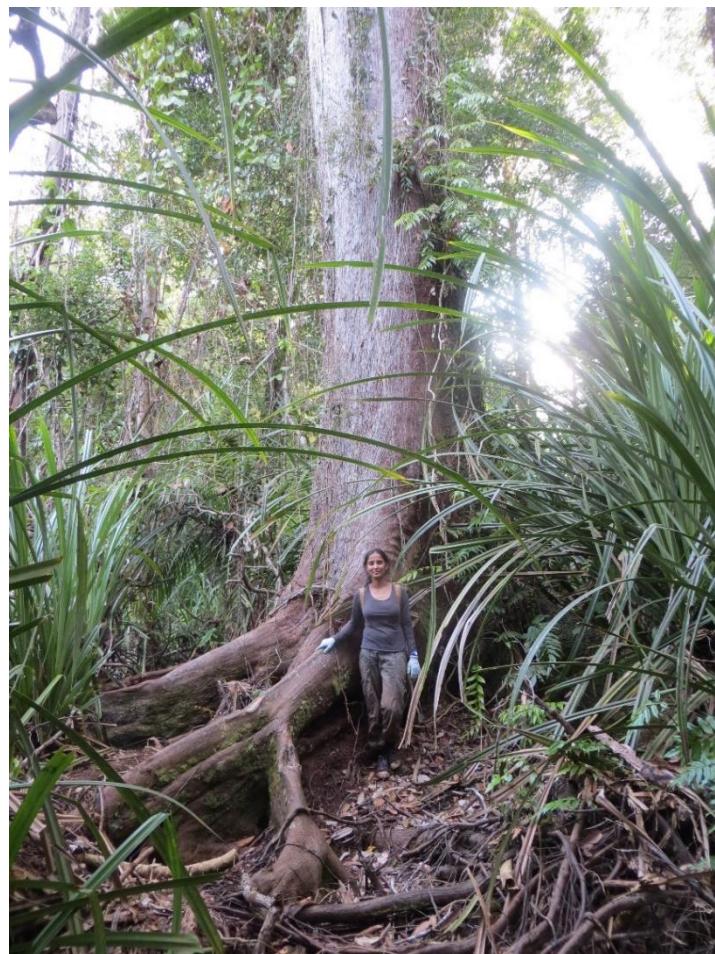


Figura 18: La Dra. Sunitha Pangala de pie junto a una *Shorea albida* en la cúpula de la turba Mendaram en Brunei. Foto: Sunitha Pangala.

Las turberas proporcionan tierras agrícolas que no son aptas debido a los altos niveles freáticos, al bajo pH y al bajo contenido de nutrientes en el suelo de la turba. Hasta hace poco, generalmente solo han sustentado bajas densidades de población humana. A pesar de esto, las turberas del mundo sustentan a millones de personas que viven en ellas y dependen de ellas para el pastoreo del ganado, la captura de peces, la recolección de caña, la agricultura de cultivos específicos y la silvicultura.

En el sudeste asiático, por ejemplo, las turberas y sus ríos son fuentes vitales de peces. El pescado es una de las principales fuentes de sustento y proteínas de la dieta para muchas comunidades en Borneo y la pesca a menudo es el único sustento de los miembros más pobres de la sociedad. Los bosques de turberas también son una fuente importante de plantas utilizadas para medicina y otros aspectos de la vida en Borneo. Por ejemplo, en el pasado, la corteza de árbol ehang (nombre indígena Dayak) se hervía para producir un tinte para teñir las redes de pesca y la ropa. Otro árbol llamado kahui (nombre Dayak) tiene madera fuerte que es usada en la construcción. Los esfuerzos para mejorar la producción en las turberas por conversión, drenaje agrícola y fertilización de los suelos son a menudo muy insostenibles. En el siguiente capítulo veremos las amenazas que enfrentan las turberas tropicales en mayor detalle. La degradación de las turberas no solo tiene serias implicaciones para el medio ambiente, el clima y la biodiversidad, sino también para las comunidades humanas que dependen de las turberas y sus bosques para su bienestar y sustento.

#### ***Enlaces útiles:***

1. *Mira el siguiente video sobre 'Voces de la comunidad', que muestra a agricultores y pescadores que viven y trabajan en áreas de turberas en Kalimantan Central en el Borneo indonesio, para entender mejor la importancia de las turberas:*  
<https://www.youtube.com/watch?v=CAjs565FgQQ> [minuto 9:08] (enlace en inglés)
2. *Mira el siguiente video para entender mejor por qué las turberas son importantes y por qué su degradación es preocupante, "Por qué la turba es importante":*  
<https://www.youtube.com/watch?v=1C7ecAoXav0> [minuto 2.22] (enlace en inglés)
3. *Aprende más acerca del papel de las turberas en la regulación del clima y la biodiversidad (este video se centra en turberas templadas):*  
<https://www.youtube.com/watch?v=ZcxZ9gvNfSU> [minuto 14.25] (enlace en inglés)

#### **Vocabulario**

**Servicios ecosistémicos:** Los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Hay cuatro categorías de servicios ecosistémicos: apoyo, aprovisionamiento, regulación y cultural.

#### ***Preguntas de repaso***

Discute por qué las turberas tropicales son importantes para a) las comunidades locales y b) para la comunidad global.

¿Qué son los servicios ecosistémicos? Da ejemplos de cada una de las categorías de servicios ecosistémicos de las turberas tropicales.

## 6. AMENAZAS QUE ENFRENTAN LAS TURBERAS TROPICALES.

En todo el mundo las turberas enfrentan amenazas, principalmente a través de la agricultura, el cambio de uso de suelo y su drenaje. **La explotación humana ha dañado o degradado el 25% de las turberas terrestres.** Esto tiene implicaciones directas para la pérdida de servicios ecosistémicos y el cambio climático, lo que lo hace relevante para todos nosotros. A nivel mundial, la degradación de las turberas contribuye a más de 3,000 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> por año. Esto equivale al 11.5% de todas las emisiones globales de combustibles fósiles (26,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>).

Hoy en día, menos del 6% de los bosques de turberas del sudeste asiático permanecen casi intactos: en 43,000 km<sup>2</sup> (27%) se encuentran plantaciones a gran escala y otros 35,000 km<sup>2</sup> (24%) se utilizan para la agricultura a pequeña escala. Solo en el sudeste asiático, más de 2,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> son emitidas por año debido a la pérdida de turberas, de las cuales el 90% proviene de Indonesia. **Esto es igual al 8% de todas las emisiones globales de CO<sub>2</sub>.**

Las principales amenazas en las que se enfoca este material son: drenaje agrícola, hundimiento de tierras, incendios y expansión de plantaciones de palma aceitera. Estos se encuentran muy relacionados entre sí, como se describirá con más detalle en las siguientes secciones.



Figura 19: Una turba tropical degradada por fuego que muestra también un canal de drenaje. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

## 6.1. DRENAJE AGRÍCOLA



Figura 20: Un canal de drenaje en una turba tropical en Indonesia. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

Una de las principales amenazas para los ecosistemas de turberas es la perturbación de su equilibrio hidrológico natural a través de la construcción de canales de drenaje agrícola (Figura 20) para el transporte de madera fuera del bosque o para disminuir los niveles freáticos para fines agrícolas. A medida que desciende el nivel del agua, las capas de turba se secan y son expuestas al oxígeno, lo que cataliza su descomposición y aumenta su susceptibilidad al fuego. El drenaje agrícola, por lo tanto, conlleva un mayor riesgo de sequía en la estación seca y su consiguiente incendio. La oxidación de turba después del drenaje conduce a emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en el rango de 355-874 Mt de CO<sub>2</sub> por año para todas las turberas del sudeste asiático. Desde 1990, la descomposición de los suelos de turba drenados en el sudeste asiático ha sido responsable de la emisión de alrededor de 0.2 Pg de carbono al año. Para poner este número en perspectiva, esto representa el 18% de las emisiones netas globales de carbono actuales que surgen del uso de la tierra y del cambio de uso de suelo. Por lo tanto, el ciclo del agua y el ciclo del carbono de las turberas están vinculados.

En la actualidad grandes áreas de turberas en todo el mundo están drenadas para dar paso a la agricultura, la silvicultura y, en menor medida, la extracción de turba. A menos que se gestione de manera responsable, el drenaje agrícola, la conversión a tierras agrícolas y la fertilización de las turberas, esto puede convertir a las turberas en fuentes importantes de gases de efecto

invernadero (GEI) y en última instancia, en tierras que son de muy difícil gestión debido a la disminución del nivel del suelo y al aumento del riesgo de inundaciones.

Un ejemplo de drenaje agrícola de turba a gran escala y de sus consecuencias ambientales es el antiguo Proyecto Mega Rice (MRP) en Kalimantan Central (Figura 21). Aquí, se excavaron un total de 4,600 km de canales para drenar las turberas en el marco de un proyecto iniciado en 1995 por el entonces presidente Suharto que tenía como objetivo convertir más de 10,000 km<sup>2</sup> de turberas profundas en campos de arroz. Sin embargo, tal como lo anticiparon científicos en ese momento, las tierras ácidas y el drenaje excesivo resultaron inviables para el cultivo de arroz y el proyecto se abandonó rápidamente. Debido al drenaje agrícola causado por la construcción de grandes canales, la turba se secó durante la estación seca y los incendios ahora son casi anuales, destruyendo grandes áreas de bosque, consumiendo inclusive a la turba misma. Tras el fracaso del MRP, los transmigrantes que habían sido trasladados al área para trabajar en los arrozales no tenían sustento y muchos se convirtieron en "refugiados ambientales"; dedicándose en cambio a la tala ilegal y a la extracción de oro. El MRP ha sido calificado como uno de los mayores desastres ambientales del siglo XX y se requieren esfuerzos de conservación urgentes para proteger los remanentes de bosques y rehabilitar la hidrología de las turberas, tanto para conservar la biodiversidad forestal restante como el carbono almacenado dentro de la turba subyacente.



Figura 21: El área donde se encontraba el antiguo Proyecto Mega Rice en Indonesia Borneo. Este suelo de turba drenada ha sido objeto de incendios regulares que resultan en la pérdida de carbono hacia la atmósfera por la combustión de la biomasa forestal y la turba drenada subyacente. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

Si bien las emisiones de carbono derivadas del drenaje agrícola de las turberas pueden dominar algunos debates ambientales debido a su potencial de calentamiento climático, también existen importantes implicaciones locales y regionales adicionales del drenaje agrícola de las turberas, que incluyen un mayor riesgo de inundaciones e incendios con repercusiones socioeconómicas y a la salud.

## 6.2. HUNDIMIENTO DEL SUELO

Otro problema grave asociado con el drenaje agrícola de las turberas y la pérdida de material orgánico es la disminución del nivel del suelo, llamado **subsidencia**. Esto puede suceder en el suelo de turba después del drenaje debido a la compactación, la consolidación y la pérdida de volumen. Los suelos de turba se componen de aproximadamente un 10% de material orgánico acumulado (carbono) y un 90% de agua. Por lo tanto, cuando el agua se elimina con el drenaje agrícola, el carbono en el suelo de turba se expone a condiciones aeróbicas lo que lleva a la descomposición de la turba (y las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes) discutidas anteriormente. Este proceso continúa siempre que se produzca el drenaje y hasta que se pierda toda la turba por encima del nivel de drenaje. Este proceso es ilustrado en la Figura 22.

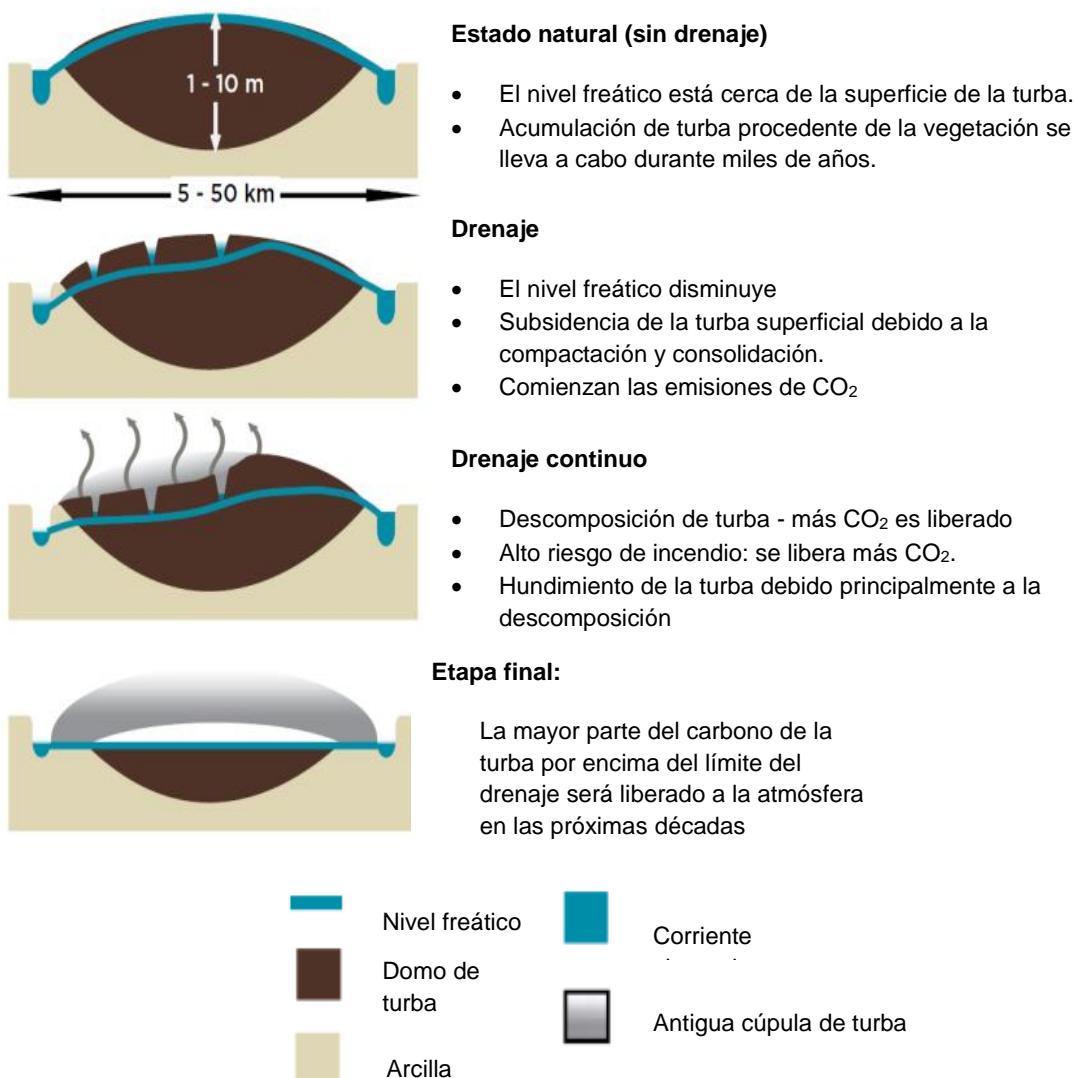


Figura 22: Proceso de drenaje y hundimiento de la tierra en una turba. Diagrama: Dra. Susan Page.

Además del almacenamiento de carbono, las turberas desempeñan un papel importante en la protección de áreas adyacentes río abajo contra las inundaciones después de fuertes lluvias y en asegurar un suministro de agua limpia durante todo el año. Si ocurre un hundimiento, la capacidad de producir y proveer para las comunidades locales (humanas y no humanas) se pierde y, en última instancia, puede causar la alteración del ecosistema. Por ejemplo, dentro del delta del río Rajang a lo largo de la costa de Sarawak en Borneo, las plantaciones de palma aceitera a escala industrial en las turberas han aumentado de un 6% a un 47% entre 2000 y 2014, con la mayor parte de las turberas restantes no plantadas afectadas también por el drenado. Esto ya ha provocado (y lo hará cada vez más), que las tierras bajas costeras se vean afectadas por el hundimiento y, con esto, un mayor riesgo y duración de las inundaciones.

Los modelos de inundación generados por Deltares, muestran que el riesgo de inundación en una plantación estimado en 29% en 2009, aumentará a 42% en 25 años, a 56% en 50 Años, y a 82% en 100 años (<https://www.youtube.com/watch?v=SRwrAczShUc>). Se predice que a medida que las condiciones de inundación se intensifiquen en términos de frecuencia e impacto, la producción de palma aceitera eventualmente tendrá que abandonarse en la mayor parte de la zona.

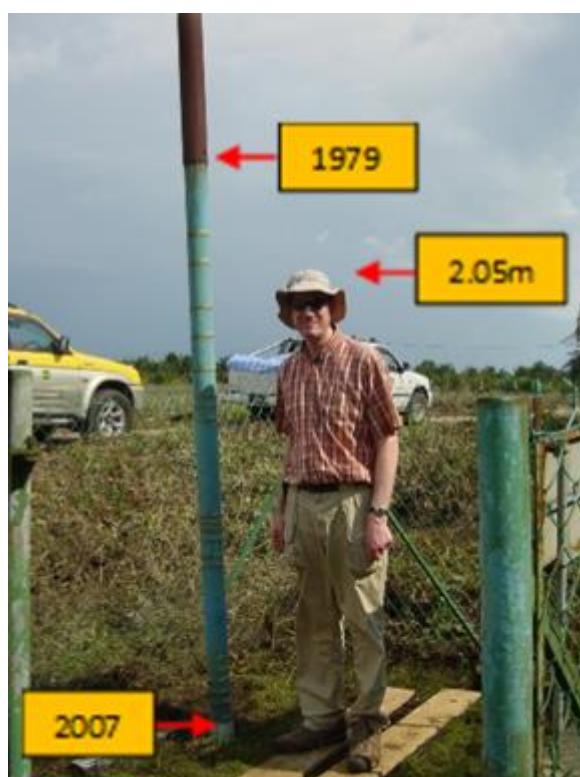


Figura 5: Poste que mide la subsidencia en una turba en Johor, Malasia peninsular. El poste fue insertado al lado de una plantación de palma aceitera en 1978 y al momento de tomar esta fotografía en 2007 se habían producido hasta el momento 2.3 m de hundimiento. Imagen: Dr Susan Page, Universidad de Leicester.

### 6.3. INCENDIOS

Cuando las turberas son drenadas se vuelven altamente vulnerables al fuego de turba. La turba seca es altamente inflamable y puede arder durante días o semanas, incluso puede arder bajo tierra. Esto hace que los incendios de turberas tropicales sean increíblemente difíciles de extinguir, altamente impredecibles e incontrolables. Los incendios de turba en el sudeste asiático pueden quemar miles de kilómetros cuadrados de turberas en una sola estación seca. Los incendios son extremadamente raros en las turberas no degradadas y no drenadas; pero en las turberas drenadas, los incendios pueden durar semanas y a veces inclusive meses, quemándose desde arriba hacia abajo dentro de las gruesas capas de turba a través de grandes extensiones de terreno. La combinación de tasas rápidas de oxidación de turba e incendios frecuentes significa que la región del sudeste asiático ha sido identificada como un "punto crítico" global en cuestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de turberas.



Figura 24: Quema de turberas tropicales, foto: Fundación Borneo Nature.

Algunos de los incendios de turba más severos desde 1960 hasta nuestros días han ocurrido durante años de baja precipitación inducida por eventos de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS o ENSO en inglés). Los incendios de 1997-98 quemaron de 97,000 a 117,000 km<sup>2</sup> en Borneo y Sumatra, incluyendo 15,000 km<sup>2</sup> de bosque tropical de pantano de turba.

En 2015, Indonesia se vio nuevamente fuertemente afectada por incendios desastrosos: una fuerte sequía relacionada con El Niño combinada con perturbaciones en los bosques y el drenaje agrícola generalizado de las turberas hizo de 2015 la peor temporada de incendios desde 1997. Las emisiones de turba y descomposición fueron comparables a las de 1997 en magnitud con los incendios, llevando a una emisión total de carbono de  $227 \pm 67$  Tg C. Para poner esto en

perspectiva, la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida todos los días durante la temporada de incendios en 2015 superó a las emisiones diarias de combustibles fósiles de toda la Unión Europea (UE28) (datos de Huijnen et al., 2016).

En el sudeste asiático, los incendios de turberas son casi totalmente de origen antropogénico y la gran mayoría se produce en la estación seca. Las técnicas agrícolas de tala y quema tienen una larga historia en esta región y el sustento de los pequeños agricultores generalmente todavía depende del fuego como la única forma asequible de limpiar rápidamente el terreno. Por lo tanto, los intentos del gobierno indonesio de prohibir la roza y quema han visto una gran resistencia por parte de los agricultores. Las grandes plantaciones de palma aceitera de propiedad privada y los pequeños propietarios también usan la roza y quema para despejar la tierra y los todos ellos usan la quema para demostrar el uso de la tierra; ya que según la ley indonesia, la tierra no utilizada se considera disponible para la ocupación. Los incendios también se inician a través de incendios provocados por fuegos utilizados para la cocción; estos crean un mejor acceso a maderas preciosas y para la caza de animales, incluidos peces. Los incendios se usan a menudo también para la resolución de disputas por la tierra y, en algunos casos, para expulsar habitantes. Las causas del fuego son, por lo tanto, numerosas y multifacéticas.



Figura 25: El río de turberas de Sebangau en Indonesia padeciendo de una grave bruma a causa de los incendios forestales y de turba en 2015. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

Hay graves implicaciones para el cambio climático debido a las emisiones de carbono por los incendios de turba y la oxidación de la misma; Indonesia es responsable de las terceras emisiones de CO<sub>2</sub> más altas del mundo. Además, las estimaciones muestran que los incendios de 1997 contribuyeron con el equivalente al 13-40% de las emisiones globales de carbono de los combustibles fósiles de ese año, mientras que el costo económico de los incendios de 2015 y la

contaminación del aire asociada se ha estimado provisionalmente en 16.1 mil millones de dólares o aproximadamente el 1.8% del PIB de Indonesia en 2014. Las pérdidas propiedades e ingresos debidas a incendios, junto con la bruma por el humo, los impactos de éste a la salud pública, las inundaciones, así como la disminución de los ingresos derivados de la madera, los productos forestales no maderables y la pesca contribuyen al empobrecimiento de las comunidades locales.

La combustión lenta por naturaleza de estos incendios provoca que la turba se queme paulatinamente hacia abajo y por debajo del suelo, consumiendo la turba rica en carbono como si fuese un combustible. El resultado es un humo denso y tóxico que contiene un cóctel de gases de efecto invernadero, que incluye CO<sub>2</sub> y metano, junto con monóxido de carbono, partículas suspendidas y aerosoles que son extremadamente dañinos para la salud humana. Durante los incendios de turba de 1997-98, las concentraciones medias anuales de material particulado alcanzaron 200  $\mu\text{g m}^{-3}$  cerca de las fuentes de fuego durante más de 50 días en todo el sudeste asiático (sudeste de Sumatra y sur de Borneo), que supera el límite de calidad del aire por exposición breve (24 horas) de la Organización Mundial de la Salud (50  $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

Para los incendios de 2015, los estudios científicos han encontrado que las altas concentraciones de materia particulada expusieron a 69 millones de personas a condiciones de calidad del aire poco saludables, una exposición a corto plazo a esta contaminación que podría causar casi 12,000 muertes adicionales. Las concentraciones de partículas también alcanzaron niveles dañinos: una estación AERONET (NASA) en Palangkaraya, una de las ciudades más gravemente afectadas en Borneo, detectó un aumento de seis veces en la concentración de partículas en el aire. Además, en partes del sur de Sumatra y el sur de Borneo, el Índice de Normas de Contaminantes de Indonesia (PSI): que incorpora partículas, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono, se disparó por encima de 2000. Cualquier puntaje por encima de 350 se considera peligroso para la salud humana.

Como resultado del humo frecuente proveniente de los incendios forestales y de turba, se ha estimado que alrededor del 30% de todos los niños que viven en localidades cerca de turberas en Indonesia presentan enfermedades respiratorias e inhibición del crecimiento. Además, cada evento de incendio conlleva miles de hospitalizaciones, debido a un aumento en los padecimientos respiratorios y cardíacos.

Luego de los incendios en 2015, alrededor de 26,110 km<sup>2</sup> de turberas fueron quemadas con importantes consecuencias negativas para la flora, fauna y comunidades humanas de turberas tropicales en las áreas afectadas. Los incendios en 2015 fueron una catástrofe para el clima, el medio ambiente y para los seres humanos por igual.

#### 6.4. EXPANSIÓN DE PLANTACIONES DE PALMA ACEITERA

El aceite de palma se extrae del fruto de la palma aceitera, *Elaeis guineensis*. El aceite de palma se usa como aceite alimenticio, biocombustible y se encuentra en un sin fin de productos, desde champú hasta donas. Ahora mismo es el aceite vegetal más común en todo el mundo.

La palma aceitera ha desempeñado un papel central en las modificaciones observadas en el cambio de uso de suelo en Indonesia y Malasia durante las últimas décadas, impulsados por la necesidad de productos a base de aceite vegetal de los consumidores a nivel global. En consecuencia, esta forma de conversión es responsable del 16% y el 32% de las emisiones totales por cambio en el uso de suelo y oxidación de turba en Indonesia y Malasia, respectivamente.

En 2010, se estimó que las plantaciones industriales, dominadas por la palma aceitera, cubrían aproximadamente 3.1 millones de hectáreas (MMha) de turberas distribuidas por toda Malasia Peninsular, Borneo y Sumatra. Sin embargo, las cifras más recientes muestran que esto ahora se ha incrementado a 4.3 MMha, con el 50% de los bosques de turberas en esta región ahora cubiertos por "tierras gestionadas" (22.4% pequeños propietarios; 27.4% industrial). Si continúa la "gestión" que impera hasta el momento, se estima que las plantaciones podrían llegar a cubrir de 6 a 9 MMha para el 2020.

Alrededor del 90% de la producción mundial de aceite de palma se produce en Indonesia y Malasia. De estas plantaciones, el 20% se cultiva en suelos de turba, anteriormente cubiertos por bosques de turba. Sumatra tiene la mayor extensión absoluta de plantaciones de palma aceitera en turbera (1.3 MMha), seguida de Kalimantan (730,750 ha), Sarawak (717,830 ha) y Malasia peninsular (275,680 ha). Las tasas más altas de desarrollo de la palma aceitera en turba se encuentran en Sarawak: la tasa de cambio de bosque a plantación en el último período temporal dentro del bosque pantanoso de turbera en Sarawak fue aproximadamente del 7% anual (59,620 ha) y casi toda la pérdida de bosque de turba se puede atribuir directamente al establecimiento de nuevas plantaciones de palma aceitera.

Las turberas no son muy adecuadas para la producción de palma aceitera: el suelo tiene poca fertilidad y es demasiado húmedo para los árboles. Por lo tanto, las turberas deben ser taladas y drenadas para que las palmas aceiteras sean plantadas. Esto causa los problemas antes mencionados de oxidación, degradación, hundimiento y vulnerabilidad a los incendios de las turberas.

Esto también significa que las plantaciones de palma aceitera en turberas están contribuyendo a emisiones significativas de gases de efecto invernadero. Dado que Indonesia tiene más de 30,000 km<sup>2</sup> de plantaciones de palma aceitera y una cantidad similar de pequeñas plantaciones en turberas, el drenado para la producción de aceite de palma está, según estimaciones conservadoras, provocando emisiones de 438 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año. Con

cosechas de 2 a 6 toneladas de aceite de palma por hectárea, el aceite de palma está causando emisiones de CO<sub>2</sub> de hasta 10 veces las emitidas por combustibles fósiles. Entre 2000 y 2009, el cultivo de palma aceitera en Indonesia fue responsable del 2-9% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por uso de suelo tropical.



Figura 26: Plantación de palma aceitera en Sarawak, Malasia. Foto: Sarah Cook.

La producción de aceite de palma también afecta a la biodiversidad y los derechos humanos. Una vez que se han despejado los bosques de sus turberas, queda poco de la biodiversidad que se tenía; mientras que los productores de aceite de palma han sido acusados también de utilizar trabajo forzoso, de apoderarse de las tierras de las poblaciones locales y de otros abusos en contra los derechos humanos.

Ha habido un movimiento significativo de los gobiernos del sudeste asiático para abordar los impactos de las plantaciones de palma aceitera, aunque todavía queda mucho por hacer. En 2010, Indonesia estableció una moratoria para otorgar nuevas concesiones de palma aceitera, así como de la extracción de madera y operaciones de tala en bosques primarios y turberas. Además, Indonesia ha respondido al empeoramiento de las condiciones de bruma pidiendo que se detengan los trabajos de desmonte y drenado de turberas, y por la restauración de las turberas que ya habían sido drenadas. Malasia también ha comenzado a actuar para proteger algunos de sus bosques, aunque sus protecciones hasta ahora no han sido tan fuertes como las de Indonesia.

En el sector privado, la mesa redonda sobre el Aceite de Palma Sostenible (RSPO por sus siglas en inglés) se formó para reunir a productores de aceite, organizaciones no gubernamentales

(ONG) y otras partes interesadas para mejorar la sostenibilidad de la producción de aceite de palma. Sin embargo, las normas actuales de la RSPO se quedan cortas en aspectos importantes. Por ejemplo, mientras que los bosques primarios están protegidos por las regulaciones de la RSPO, los bosques secundarios, perturbados o en regeneración se dejan desprotegidos. Las turberas también reciben protección limitada según las pautas de la RSPO. Por lo tanto, "certificado por la RSPO" no significa necesariamente "libre de deforestación". Sin embargo, los esfuerzos para elevar los estándares son bienvenidos, ya que han sensibilizado a los consumidores sobre los problemas relacionados con la producción de aceite de palma y han aumentado la presión sobre la industria para que se certifique.

Otro paso positivo es el reglamento de la UE (2014), que exige que el tipo de aceites vegetales en los productos alimenticios se incluya en los envases de alimentos. Esto significa que el aceite de palma no se puede etiquetar sólo como "aceite vegetal", debiendo especificarse el tipo de aceite (por ejemplo, aceite de palma, colza, coco, etc.). Esto permite a los consumidores realizar elecciones más específicas para sus compras y permite a los productores saber si existe una demanda de aceite de palma sostenible y productos con una certificación RSPO o etiquetas similares.

#### *Ideas para actividades:*

*Haga que sus estudiantes exploren las siguientes preguntas:*

- *¿Cuáles son los beneficios y desventajas de la producción de aceite de palma?*  
*Considerar beneficios y desventajas ambientales, sociales y económicos.*
- *¿Qué es RSPO, y es posible tener aceite de palma sostenible?*
- *Consultar las compras semanales de su familia: ¿cuántos productos contienen aceite de palma? ¿Cuánto cuesta el aceite de palma certificado?*
- *¿Qué pueden hacer los alumnos como individuos para apoyar el cambio hacia un aceite de palma más sostenible en el mundo?*

### *Enlaces útiles:*

1. 'Producción de aceite de palma, pérdida de turberas y emisiones de CO<sub>2</sub>':  
<https://www.youtube.com/watch?v=KsWHLGEVodk&t=20s> [4.28 min]  
(enlace en inglés)
2. "Destrucción de turba, hundimiento del suelo e inundaciones en el sudeste asiático": [https://www.youtube.com/watch?v=FhLkBGYI\\_tw&t=39s](https://www.youtube.com/watch?v=FhLkBGYI_tw&t=39s) [4.48 min] (enlace en inglés)
3. 'Líderes de comunidades indígenas y forestales recorren la UE para pedir aceite de palma sin conflicto' [artículo en inglés]:  
<https://news.mongabay.com/2016/05/indigenous-forest-community-leaders-tour-eu-call-conflict-free-palm-oil/>
4. 'Estudio que mapea 187 conflictos de tierras a medida que el aceite de palma se expande en Kalimantan' [artículo en inglés]:  
<https://news.mongabay.com/2016/12/study-maps-187-land-conflicts-as-palm-oil-expands-in-kalimantan/>
5. 'Los derechos sobre la tierra en Liberia pueden estar en peligro por el impulso en el uso de aceite de palma' [artículo en inglés]:  
<https://news.mongabay.com/2015/03/local-land-rights-may-be-in-danger-from-push-for-palm-oil-in-liberia/>
6. "Un nuevo estudio muestra que compañías de aceite de palma ignoran los derechos de las comunidades" [artículo en inglés]:  
<https://news.mongabay.com/2013/11/palm-oil-companies-ignoring-community-rights-new-study-shows/>

### *Pregunta de repaso*

Discute las principales amenazas que enfrentan las turberas tropicales, las causas de estas amenazas y cómo afectan los ciclos del agua y carbono de los ecosistemas de turberas tropicales.

## 7. ESTUDIO DE CASO 1: TURBERAS DEL SUDESTE ASIÁTICO E INDONESIA

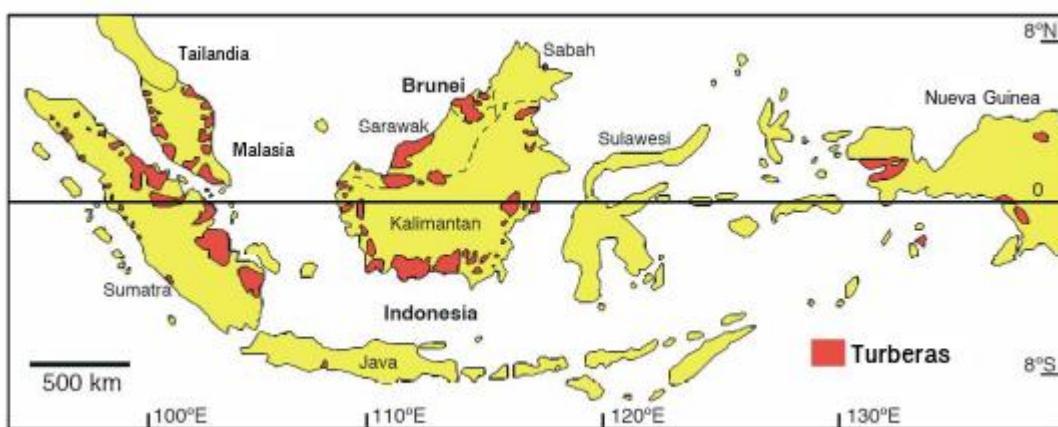


Figura 27: Distribución de las turberas tropicales que se encuentran en todo el sudeste asiático. Figura de Page et al. (2004).

Las turberas representan el 12% de la superficie terrestre del sudeste asiático (que comprende Indonesia, Malasia, Brunéi y Papúa Nueva Guinea) (Figura 27). Esto equivale a unos 270,000 km<sup>2</sup>. Indonesia alberga 225,000 km<sup>2</sup>, Malasia 20,000 km<sup>2</sup> y Papúa Nueva Guinea 26,000 km<sup>2</sup>.

Los bosques de turberas del sudeste asiático se encuentran entre las últimas extensiones vastas de selva tropical en el área. Hasta hace poco, el bosque tropical de turberas del sudeste asiático era un ecosistema descuidado con baja prioridad de conservación. Sin embargo, ahora está claro que estos bosques contienen una gran diversidad de fauna y flora, y desafortunadamente, algunas de estas especies están en peligro de extinción. Un 45% de mamíferos y 33% de aves registradas en bosques de pantano de turba se clasifican como vulnerables, en peligro de extinción o en peligro crítico de extinción por la UICN. Por último, debido a las características únicas de los bosques tropicales de pantano de turba como su agua ácida; los ríos y las aguas de estos bosques son importantes hábitats de peces que contienen varias especies endotópicas endémicas (especies que solo son capaces de tolerar un rango restringido y específico de hábitats o condiciones ecológicas). Estas áreas también son de particular importancia para la supervivencia del orangután, el tigre de Sumatra, el rinoceronte de Sumatra, así como especies raras menos conocidas, como el pato de alas blancas, la cigüeña de tormenta y el farsar, que tienen poblaciones pequeñas que están confinadas principalmente a los bosques de pantano de turba.

Sin embargo, más del 90% de los bosques de pantano de turba del sudeste asiático se han ya visto afectados por el drenaje agrícola, la conversión o la tala. Entre 1985 y 2005, las turberas del sudeste asiático fueron deforestadas a una tasa promedio de 1.3% por año; el valor más alto se encuentra en Kalimantan Oriental (2.8%) y el más bajo en Papua (0.5%). Esto es el doble de la tasa de deforestación en otros tipos de bosques en la región. Vastas áreas de turberas han sido explotadas rápidamente para obtener beneficios económicos; impulsando la conversión de

tierras por deforestación, drenado e incendios. En consecuencia, solo el 6% de los bosques de turberas en Malasia peninsular, Borneo y Sumatra son considerados actualmente prístinos. La conversión de los bosques de pantano de turba a otros usos de suelo contribuye significativamente a las emisiones antropogénicas globales de gases de efecto invernadero (GEI), con diversos tipos de tierras administradas que contribuyen con el 78% de las emisiones totales de oxidación de turba del sudeste asiático (146.2 Mt C/año).

Los bosques tropicales de pantano de turba de Kalimantan Central se encuentran entre los más extensos del sudeste asiático. Kalimantan Central posee aproximadamente el 13.5% de las turberas de Indonesia, con una quinta parte de la provincia cubierta por turba. El Bosque de Sebangau en Kalimantan Central es el hogar de las poblaciones de orangutanes y de gibón de Borneo (*Hylobates albarbis*) más grandes del mundo.

Sin embargo, la provincia indonesia de Kalimantan Central ha sido testigo de una importante deforestación y degradación de sus bosques debido a las operaciones ilegales y legales de tala, además de la roza de terrenos y quema para la agricultura y plantaciones a pequeña escala. Con la rápida expansión de la tala y de las plantaciones de aceite de palma, Kalimantan Central es ahora la provincia con la mayor tasa de deforestación en Indonesia. Esta pérdida de bosque no sólo ha afectado negativamente a la biodiversidad en el área, sino también a las comunidades humanas locales, muchas de las cuales dependen de los bosques para su sustento.

El ejemplo más grande y más desastroso de la degradación de las turberas es el MRP en Kalimantan Central. A mediados de los años noventa, este proyecto de recuperación a gran escala intentó convertir 1.5 millones de hectáreas de bosque de turba en áreas agrícolas para la producción de arroz, a pesar de las muchas advertencias de los científicos y conservacionistas de que esto no sería posible. Miles de personas se mudaron a esta área, muchas de ellas como parte de **esquemas de transmigración** (véase el cuadro a continuación). La producción de arroz parecía ser posible en menos del 2% del área total. Los ingresos se derivaron principalmente de la tala en y alrededor del área del MRP. Muchas personas se mudaron, pero los aldeanos que se quedaron en las turberas se enfrentaron a inundaciones cada vez más frecuentes debido a la subsidencia del suelo. Hoy en día, las áreas que fueron taladas y drenadas son el escenario de incendios anuales en la turba. Además de esta forma visible de degradación, se está produciendo una más invisible a un ritmo más acelerado que incluye la subsidencia y la descomposición (oxidación) de la turba.

### **Transmigración en Indonesia**

*La transmigración fue un esquema creado por el gobierno indonesio para aliviar la sobre población en la capital de Java y en las áreas sobre pobladas al trasladar a las personas a áreas menos pobladas de Indonesia, como el Borneo indonesio. El gobierno proporcionó tierras, dinero y fertilizantes para aquellos que se mudaron y fueron apoyados para comenzar a cultivar en su nueva ubicación. La transmigración provocó una multitud de problemas relacionados con los derechos indígenas (a veces a los transmigrantes se les otorgaba tierras que ya eran utilizadas por comunidades indígenas sin derechos formales), la gestión de las tierras y la degradación de los bosques debido al aumento de la población y las prácticas insostenibles.*

*Para más información (enlaces en inglés):*

- <http://gcsegeographyhelp.blogspot.co.uk/2016/06/transmigration-in-indonesia.html>
- <https://geographyatmanor.wikispaces.com/Transmigration>
- <http://www.downtoearth-indonesia.org/old-site/ctrans.htm>

### **Ideas para actividades:**

*Haga que los estudiantes exploren las siguientes preguntas:*

- *¿Qué fue el Proyecto Mega Rice? ¿Por qué se inició y por qué falló?*
- *¿Cuáles son las consecuencias sociales, medioambientales y económicas del MRP?*
- *¿Qué se está haciendo ahora para contrarrestar la degradación de la turba en el MRP?*

### **Enlaces útiles:**

1. 'Bomba de carbono: El proyecto fallido mega arroz (MRP) en Indonesia' (enlace en inglés): <http://www.environmentandsociety.org/arcadia/carbon-bomb-indonesias-failed-mega-rice-project>
2. 'Indonesia bloquea una arteria importante en la red de canales de Mega Rice causante de neblina' [artículo en inglés]: <https://news.mongabay.com/2017/2017-indonesia-blocks-major-artery-in-haze-causing-mega-rice-canal-network/>

## 8. ESTUDIO DE CASO 2: LAS TURBERAS AFRICANAS Y LA CUENCA DEL CONGO

A principios de 2017, se supo que los científicos habían descubierto la turba más grande del mundo en los remotos pantanos del Congo (Figura 28). Los investigadores mapearon las turberas de Cuvette Central en la cuenca central del Congo y encontraron que cubren 145,500 km<sup>2</sup>, un área más grande que la de Inglaterra. Los pantanos podrían contener 30 mil millones de toneladas de carbono que antes no se sabía que existieran y equivalen a tres años de las emisiones totales de combustibles fósiles del mundo. Estas turberas también almacenan el equivalente a casi el 30% del carbono de las turberas tropicales del mundo.



Figura 28: Científicos que trabajan en la cuenca del Congo. Foto: Simon Lewis.

¡Es asombroso que tan recientemente como en 2017 aún se puedan hacer descubrimientos como el complejo de turberas más extenso del mundo!

Estas turberas no solo son importantes a nivel mundial por ser grandes almacenes de carbono, sino que también son refugios para especies en peligro de extinción, como los gorilas de tierras bajas y los elefantes de bosque; animales amenazados por los sucesos en las áreas circundantes.

Este hallazgo también coloca a la República Democrática del Congo (RDC) y a la República del Congo (RC) como el segundo y tercer país más importantes en el mundo en reservas de carbono de turba tropical, en primer lugar está Indonesia. La República del Congo está considerando ampliar el área de pantano protegido al expandir la Reserva Comunitaria de Lac Tele en hasta 50,000 km<sup>2</sup>. Esperemos que eso suceda en esta área tan vital.

Debido a su ubicación remota, las turberas de la cuenca del Congo están relativamente intactas, pero tampoco están protegidas actualmente por planes de conservación. Pueden enfrentar amenazas de drenaje para plantaciones agrícolas, como la palma aceitera, como ocurre en Indonesia.

África se ha convertido en la nueva frontera de la producción industrial de aceite de palma. Desde 2016 hasta 2021, hasta 220,000 km<sup>2</sup> de tierra en África occidental y central podrían convertirse en plantaciones de palma aceitera. Tras las experiencias de Indonesia y Malasia, surgen dudas sobre si es posible establecer una industria sostenible de aceite de palma que funcione de una manera que proteja los derechos humanos y ambientales, y que brinde genuinas oportunidades a las comunidades locales.

#### *Ideas para actividades:*

*Haga que los estudiantes exploren las siguientes preguntas:*

- - ¿Qué significa aceite de palma sostenible?
- - ¿Es posible el aceite de palma sostenible?
- - ¿Cuáles son las implicaciones ambientales y humanas del aceite de palma?  
*Consideren una comparación entre países o regiones.*

*Tengan en cuenta las cuestiones relativas al derecho a la tierra, las necesidades alimentarias locales, las necesidades culturales y de ingresos.*

- - ¿Qué es el libre consentimiento previo e informado?

### *Enlaces útiles:*

1. Una comparación entre la industria del aceite de palma en Liberia e Indonesia (enlace en inglés): <http://rightsandresources.org/en/publication/view/industrial-oil-palm-development-liberias-path-to-sustained-economic-development-and-shared-prosperity-lessons-from-the-east/>
2. Dargie et al. (2017), 'Edad, extensión y almacenamiento de carbono del complejo central de turberas de la Cuenca del Congo' [artículo en inglés]: <https://www.nature.com/nature/journal/v542/n7639/full/nature21048.html>

## 9. ESTUDIO DE CASO 3: TURBERAS Y PANTANOS DE PALMERA PERUANOS

Perú tiene, después de Indonesia, RDC y RC, la cuarta mayor extensión de turberas en los trópicos.

Las turberas de Perú también son importantes para el fruto del aguaje. Ayudan a purificar el agua y proporcionan el hábitat de reproducción para los peces. El aguaje es una fruta que es producido por la palma flexuosa de Mauritia que crece en toda la Amazonía peruana en pantanos conocidos como aguajales. Miles de personas dependen de la cosecha de esta fruta para su sustento.

Al igual que los pantanos de turba en Indonesia y África, los de Perú enfrentan amenazas por cambio de uso de suelo, agricultura y gente que cosecha el aguaje.

La cosecha del aguaje a menudo implica cortar las palmas. Las palmas crecen tan altas que es más rápido y más fácil cortar todo el árbol en lugar de trepar y cortar los grupos colgantes de aguaje.



Figura 29: La palma flexuosa de Mauritia en el sitio de Quistococha. Foto: Grupo de trabajo sobre turberas del Reino Unido.

Cortar las palmas, combinado con la tala de diversas especies de madera en los pantanos, puede cambiar el microclima de un pantano, secarlo y exacerbar la degradación de la turba. Si se quita la cubierta del dosel del árbol, entra más sol y aumenta la evaporación; esto cambia la temperatura del aire, la temperatura del suelo y la humedad del suelo.

En varias partes de la Amazonía peruana, los pantanos de turba han sido talados, drenados y convertidos en arrozales o plantaciones de palma aceitera.

Al igual que las turberas del Congo, las turberas de Perú son todavía un misterio. Se desconoce su extensión exacta, aunque se estima que cubren al menos 50,000 kilómetros cuadrados: un área casi tan grande como Costa Rica. Además, no todos los pantanos de palmeras son turberas, y los científicos no están seguros de cuáles tienen depósitos de turba o por qué, es decir, ¿cuáles son las condiciones ambientales precisas que favorecen el inicio de la formación de turba? Nosotros, por lo tanto, necesitamos más investigadores de turba en campo.

En 2015, los investigadores reportaron una gran turba sin mapear que cubría 35,000 kilómetros cuadrados en la cuenca superior del Amazonas en el noreste de Perú. El pantano de Pastaza-Marañón es el paisaje más denso en carbono de la Amazonía. Cubre solo el 3% de la superficie boscosa en Perú, pero contiene 3 mil millones de toneladas de carbono: casi la mitad que en todos los bosques del país. La Pastaza-Marañón está amenazada por la expansión de la agricultura comercial vinculada a la nueva infraestructura de transporte. Los productores se han mudado a la región vecina de Ucayali, donde se despejaron 89 km<sup>2</sup> de bosque primario para una plantación de palma aceitera. El gobierno peruano también tiene planes para la primera carretera hacia las turberas, que la conectará con el resto de Perú, así como con Brasil y Colombia.

#### *Ideas para actividades:*

*Haga que los estudiantes exploren las siguientes preguntas:*

- *¿Para qué se usa el aguaje y por qué es importante?*
- *¿Se puede cosechar el aguaje de forma sostenible?*
- *¿Qué otros aspectos de sustento dependen de los pantanos de turba? Consideren una comparación de las turberas y su importancia para el sustento de las comunidades locales de diferentes países.*

#### *Enlaces útiles:*

1. *Dentro de las turberas de Perú, un científico explica (enlace en inglés):*  
[https://www.youtube.com/watch?v=VD4YD\\_602Pk](https://www.youtube.com/watch?v=VD4YD_602Pk) [4.50 minutos]
2. *Draper et al. (2014), "La distribución y la cantidad de carbono en el complejo de turberas más grande de la Amazonía" [artículo en inglés]:*  
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/12/124017>

## 10. EL CAMINO A SEGUIR. ESCRITO POR LA DRA. SOPHIE GREEN Y LA PROFA. SUSAN PAGE

Se requieren cambios fundamentales en el manejo de las turberas tropicales y del norte para que sus grandes reservas de carbono se gestionen de manera responsable, al tiempo que se garanticen el mantenimiento o la protección del uso del suelo, la biodiversidad y el sustento (Figura 30).



Figura 30: Una familia de pescadores verifica su captura en el río de la turbera de Sebangau en Indonesia. Foto: Sara Thornton/CIMTROP/BNF.

En el sudeste asiático, Europa y América del Norte, es alentador que los científicos y aquellos que se encargan del manejo de las turberas, comiencen a colaborar en la búsqueda de soluciones más responsables de gestión de la tierra a largo plazo y de medidas provisionales para mitigar las tasas actuales de pérdida de turba en el marco de las políticas existentes. La investigación y el conocimiento práctico sobre los enfoques y las consecuencias de la eliminación del drenado activo y de la re-humidificación de las turberas del norte avanzan rápidamente, pero se encuentran en una etapa menos avanzada en los trópicos, aunque es aquí donde se necesita con mayor urgencia el conocimiento y las soluciones.

En el sudeste asiático, la conversión continua de las turberas al uso agrícola y su degradación por incendios forestales repetidos junto con un mayor riesgo de inundación, en última instancia, conducirá a una pérdida de rendimiento económico, a un aumento en la pobreza de las comunidades que viven en y alrededor de las turberas y la consecuente presión sobre el resto de

los recursos naturales. Sin embargo, de manera alentadora, estos problemas ahora están siendo reconocidos por la industria de las plantaciones y por varias compañías productoras de pulpa y de aceite de palma más experimentadas y de mayor tamaño. Éstas han detenido su desarrollo en las turberas, implementando políticas de cero quema y control de incendios, además de haber comenzado a introducir requisitos más rigurosos para la gestión del agua en plantaciones existentes. Como un paso más en la dirección de la gestión responsable de las turberas, el presidente de Indonesia, a raíz de los incendios en 2015 estableció una Agencia nacional de restauración de turberas. Con el mandato de planificar e implementar la restauración de aproximadamente 20,000 km<sup>2</sup> de turberas degradadas, la agencia también está coordinando la investigación sobre actividades económicas alternativas y más sostenibles para las turberas cultivadas, incluidos los métodos para cultivar cultivos en condiciones de alta y mediana humedad.

El uso "responsable" de los suelos orgánicos implicará inevitablemente una disminución de opciones del uso del suelo. No existe una solución universal, pero en esencia debe existir una prevención de una mayor degradación, que puede implicar el cese o la reducción de la intensidad del drenado artificial. En un extremo del espectro, el uso responsable de las turberas cultivadas requerirá un uso más eficiente de un recurso finito; si bien la agricultura de alto nivel freático representa el punto final ideal, se necesita más investigación para desarrollar cultivos económicamente viables en este escenario. En el otro extremo del espectro, la protección de las reservas de carbono de turba y la biodiversidad puede requerir el cese de todo drenaje y de una restauración quasi-natural de los regímenes hidrológicos y de las comunidades de plantas (Figura 31).



Figura 31: Una presa que bloquea un canal de drenaje agrícola en un bosque tropical de pantano de turba en Indonesia. Foto: Sara Thornton.

En apoyo de los usos más responsables de las turberas, hay un pequeño pero creciente número de buenos ejemplos que demuestran las oportunidades para cambiar la gestión de las turberas. Estos incluyen la paludicultura (es decir, una combinación de humedecimiento y cultivo de humedales) y la diversificación de las fuentes de ingresos a través de mecanismos tales como pagos por servicios ecosistémicos, fondos para la mitigación del cambio climático y desarrollo turístico.

En Indonesia, se están llevando a cabo un pequeño número de proyectos piloto para 'retirar' y volver a humedecer los bloques de plantaciones que se unen a los bosques intactos mediante el bloqueo de los canales de drenaje y la replantación con especies de árboles nativos. Esto, en un esfuerzo por aumentar la resistencia hidrológica del bosque de turberas para así proteger la biodiversidad y reducir el riesgo de incendios.

Las turberas de todo el mundo han servido como sumideros de carbono a largo plazo. Sin embargo, sin las medidas de protección adecuadas, los cambios climáticos predichos que resultan en condiciones más secas y temporadas de incendios más largas combinadas con perturbaciones humanas continuas, inevitablemente conducirán a un aumento de las tasas de pérdida de carbono y, por lo tanto, a mayores flujos de carbono hacia la atmósfera. En el sudeste asiático, como en otras partes del mundo, las medidas para proteger las turberas intactas y para gestionar las turberas degradadas de manera más responsable son de vital importancia si queremos garantizar el papel continuo de las turberas en la mitigación del cambio climático.

#### 10.1. RESTAURACIÓN DE TURBERAS: BLOQUEO DE CANALES

Una de las principales iniciativas para la restauración de las turberas es la recuperación de su funcionamiento hidrológico mediante el bloqueo de los canales de drenaje. Un ejemplo de la restauración de las turberas con este método se está llevando a cabo en el área original del MRP al sur de Borneo (por favor consulta las secciones 6.1 y 7). Esta es un área que experimentó una fuerte deforestación debido a los planes para convertir 17,000 km<sup>2</sup> de bosques de turberas en campos de arrozales. Con el fracaso del proyecto (debido a que el arroz no puede crecer en suelos de turba ácida), la mayor parte del área original del MRP se encuentra en estos momentos en una condición altamente degradada.

Al comparar las turberas drenadas y degradadas del MRP con el bosque vecino de Sebangau (un bosque tropical de pantano de turba relativamente sin perturbación), está claro que la restauración de las funciones hidrológicas de las turberas es el prerequisito clave para establecer un balance positivo o neutral de carbono en las turberas, así como proporcionar condiciones adecuadas para la revitalización de la vegetación forestal.

El bloqueo de canales se ha llevado a cabo a pequeña escala en el bosque de Sebangau. Esto implica la construcción de represas en canales estrechos y poco profundos utilizados con anterioridad para transportar madera fuera del área de turberas (que ahora solo producen un mayor drenaje de las turberas), para elevar los niveles de agua (Figura 32). Durante un período de 5 semanas después de la instalación de represas en Sebangau, hubo un aumento en los niveles de agua en los canales bloqueados en un promedio de 8 cm. Si bien estos resultados son preliminares, sugieren que el bloqueo de canales puede tener un impacto positivo en los niveles de agua y, por lo tanto, en la recuperación hidrológica del bosque.

Sin embargo, los esfuerzos para bloquear los canales mucho más amplios y profundos en el MRP original han demostrado las complicaciones asociadas con las operaciones de construcción de represas. Si bien las represas provocaron inicialmente un aumento en el nivel del agua subterránea adyacente a la turba que disminuía el hundimiento y las emisiones de CO<sub>2</sub>, todavía existía el problema de que los canales se "comían" a las turberas; creando así escurrimiento adicional, así como un aumento del hundimiento de la turba cerca de los canales. La rotura de las represas por parte de los habitantes locales, es también una de las principales causas del fallo de esta estrategia. Los científicos, por lo tanto, concluyeron que debe haber mejores estrategias en el bloqueo de canales para permitir la restauración de las turberas tropicales, lo que requerirá una mejor comprensión e investigación de los efectos de que tienen las represas sobre la topografía e hidrología de las turberas. Esto también requerirá comprender por qué las personas rompen las represas y trabajar junto a las comunidades locales para encontrar estrategias de bloqueo de canales que funcionen para las comunidades. Si bien está claro que existen oportunidades para que los proyectos de restauración restablezcan la función hidrológica, que es un prerrequisito para el retorno de la diversidad biológica de las turberas tropicales, se necesita más trabajo para identificar los métodos más efectivos para hacerlo.



Figura 32: Construcción de una presa en un canal de drenaje en el bosque de pantano de turba de Sebangau en Indonesia. Foto: BNF.

En particular, se necesita más investigación sobre los métodos para abordar la restauración de grandes áreas de turberas tropicales degradadas. Cuanto más tiempo haya sido drenada un área de turberas, más difícil será restaurarla a su estado original. En estos casos, se logrará un "nuevo estado natural" mediante la restauración; diferente del estado original y tal vez no sea un hábitat de turberas en pleno funcionamiento, pero al menos los peores efectos de la degradación podrían mitigarse (el pleno funcionamiento implicaría la formación de turba, lo cual es improbable incluso a mediano plazo). Asimismo, se espera que el cambio climático tenga serios impactos en los humedales a través de cambios en los regímenes hidrológicos con el aumento en la variabilidad global. Esto tendrá consecuencias en la efectividad de los proyectos de restauración para restablecer los ecosistemas, además de resaltar la necesidad del manejo y la conservación adaptativos en la restauración de las turberas. Finalmente, la restauración representa, en última instancia, un compromiso de tierras y recursos indefinido y a largo plazo. Por lo tanto, requiere una cuidadosa deliberación y planificación, por lo que es vital involucrar a todas las partes interesadas, como las comunidades locales, para tomar decisiones con respecto a la implementación, planificación y monitoreo de un proyecto de restauración. Una vez que un ecosistema es autosuficiente (y, por lo tanto, se logra la restauración), el ecosistema restaurado requerirá, como un ecosistema no dañado, una gestión continua para hacer frente a los impactos de las actividades humanas y el cambio climático. Por consiguiente, esto resalta la importancia de incorporar a las comunidades locales en los proyectos de restauración de ecosistemas, ya que existe una mayor probabilidad de que estas comunidades continúen administrando el ecosistema una vez que se complete la restauración. Para hacerlo se requiere una mayor comprensión e incorporación de las necesidades sociales y económicas de las comunidades locales.

#### *Pregunta de repaso*

Elije un estudio de caso de una turba tropical, explica las amenazas que enfrenta el área y discute qué se necesita hacer para conservar los bosques y los medios de subsistencia locales.

## 11. ENLACES ÚTILES PARA MAYOR INFORMACIÓN (ENLACES EN INGLÉS)

1. "¿Por qué son importantes las turberas?":  
[http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/brief/6453-brief.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/brief/6453-brief.pdf)
2. "Por el bien de la turba: los hechos":  
[http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/posters/6448-infographic.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/posters/6448-infographic.pdf)
3. Para obtener información sobre el trabajo de CIFOR en las turberas:  
<https://www.cifor.org/?s=peatlands&submit=%EF%80%82>
4. '¿Podemos encontrar las turberas restantes del mundo a tiempo para salvarlas?'  
[Artículo]: <http://e360.yale.edu/features/can-we-discover-worlds-remaining-peatlands-in-time-to-save-them>

### *Ejemplos de preguntas para examen*

1. Discute el papel de las turberas tropicales en los ciclos del carbono y agua.
2. Los seres humanos están afectando el ciclo del carbono más que otros factores físicos; analízalos en referencia a los ecosistemas nombrados.
3. Evalúa hasta qué punto los humanos están alterando el ciclo del agua en un ambiente tropical.
4. Evalúa hasta qué punto los humanos están alterando el ciclo del carbono en un ambiente tropical.

## REFERENCIAS:

(Lecturas en inglés)

Dargie, G.C., Lewis, S.L., Lawson, I.T., Mitchard, E.T.A., Page, S.E., Bocko, Y.E. and Ifo, S.A. (2017) *Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex*. *Nature*, 542 (7639).

Huijnen, V., Wooster, M.J., Kaiser, J.W., Gaveau, D.L.A., Flemming, J., Parrington, M., Inness, A., Murdiyarso, D., Main, B. and van Weele, M. (2016). *Fire carbon emissions over maritime southeast Asia in 2015 largest since 1997*. *Scientific Reports*, 6:26886.

Page, S.E., Wust, R.A.J., Weiss, D., Rieley, J.O., Shotyk, W., Limin, S.H. (2004). *A record of late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and climate change from an equatorial peat bog (Kalimantan, Indonesia): Implications for past, present and future carbon dynamics*. *Journal of Quaternary Science*, 19: 625–635.

Page, S. E., Morrison, R., Malins, C., Hoojer, A., Rieley, J. O., and Banks, C. J. (2011a). Review of peat surface greenhouse gas emissions from oil palm plantations in Southeast Asia. ICCT White Paper No. 15. Available online at: <[http://sa.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/ICCT\\_Peat-Emissions\\_Sept2011.pdf](http://sa.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/ICCT_Peat-Emissions_Sept2011.pdf)>

Page, S. E., Rieley, J. O., and Banks, C. J. (2011b). Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology*, 17:798–818.

Rais, D.S. (2011). *Peatland hydrology and its role in tropical peatland sustainability*. Proceedings from National Symposium of Ecohydrology, Jakarta, March 2011.

Wilson, D. (2008). *Death by a thousand cuts: small scale peat extraction and the Irish peatland carbon store*. In: Farrell C. A. & Feehan J. (eds.), 13th International Peat Congress, Tullamore, June 8–13 2008, International Peat Society, Jyväskylä, Finland, pp. 700–3.