



Infraestructura Verde para la Adaptación de la Ordenación Territorial al Cambio Climático

Informe técnico: cálculo del potencial de provisión del servicio ecosistémico, 2.2.6.1 Regulación de la composición química de la atmósfera y los océanos.

23 de septiembre de 2021

Organiza:



Con el apoyo de:



Contenido

Introducción	2
Variables	3
Metodología.....	4
Captura de carbono a corto plazo	4
Almacenamiento de carbono en el ecosistema a medio plazo.....	6
Almacenamiento de carbono a largo plazo.	7
Bibliografía.....	10

Organiza:



Con el apoyo de:



Introducción

Según el documento de síntesis del quinto informe del IPCC (2014), la causa más probable del cambio climático es el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por el crecimiento económico y demográfico. De entre los gases emitidos por la actividad humana el CO₂ es considerado el principal causante del aumento de temperatura, suponiendo el 78% del aumento total de emisiones de GEI entre 1970 y 2010. Se calcula que el 40% de las emisiones antropógenas de CO₂ emitidas entre 1750 y 2011 han permanecido en la atmósfera, mientras que el resto han sido almacenadas en plantas, suelo y océanos por diferentes mecanismos. Por lo tanto, los ecosistemas juegan un papel importante en la regulación y mantenimiento de las condiciones físicas y químicas de la atmósfera.

La clasificación CICES 5.1 (HAINES-YOUNG y POTSCHIN, 2018) reconoce este papel de los ecosistemas en el servicio 2.2.6.1 de “regulación de la composición química de la atmósfera”. La fotosíntesis es el principal mecanismo por el que las plantas absorben CO₂ atmosférico, almacenando el carbono en sus propios tejidos o bien traspasándolo al suelo mediante la liberación de restos orgánicos consecuencia de su ciclo vital. Una vez en el suelo, el carbono es almacenando en diferente grado en función de las condiciones ambientales existentes y de las alteraciones antrópicas o naturales que pueda sufrir.

El cálculo del potencial de captura y almacenamiento de carbono por parte de los ecosistemas se basa en la metodología descrita en GARCÍA et al. (2020), que contempla tres supuestos que representan los potenciales de secuestro y/o almacenamiento de carbono en diferentes fases del ciclo del carbono, teniendo en cuenta también la evolución de las coberturas terrestres. Estos supuestos reflejan la capacidad de captura de carbono de la biomasa, las principales transferencias de carbono entre la biomasa y el suelo, y el almacenamiento de carbono en el suelo.

Estas tres etapas del ciclo del carbono pueden asimilarse también a diferentes periodos de tiempo, lo que permite reflejar la permanencia de la biomasa en el ecosistema y, por lo tanto, evaluar su contribución al almacenamiento de carbono durante ese periodo. Bajo este punto de vista, se ha considerado que la biomasa que no es aprovechada durante el periodo de tiempo estimado, según los turnos de aprovechamiento más usuales, puede ser considerada como parte del almacenamiento de carbono del ecosistema en ese intervalo temporal. En el momento en que se produce su aprovechamiento, el carbono almacenado desaparece del propio ecosistema, por lo que deja de ser considerada su contribución al almacenamiento de carbono.

Por otra parte, el suelo es el principal almacén potencial de carbono a largo plazo en los ecosistemas terrestres; especialmente los suelos que no han sufrido grandes alteraciones durante un periodo elevado de tiempo.

A continuación se muestran las variables y la metodología para cada uno de los supuestos de captura y almacenamiento de carbono descritos en GARCÍA et al. (2020):

- Captura de carbono a corto plazo.
- Almacenamiento de carbono en el ecosistema a medio plazo.

Organiza:



Con el apoyo de:



- Almacenamiento de carbono en el ecosistema a largo plazo.

Variables

Para el mapeado del servicio ecosistémico considerando estos supuestos serán necesarios los siguientes datos:

- Mapa de coberturas del suelo del SIOSE 2014. Este puede descargarse en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>. El mapa del SIOSE tiene coberturas mixtas. Es decir, compuestas por porcentajes de varias coberturas. Por ello Es necesario reclasificar el mapa de coberturas del suelo del SIOSE 2014 asignando a cada cobertura mixta la cobertura mayoritaria (la que ocupa más del 60% de la cobertura del SIOSE. En caso de que no haya una cobertura mayoritaria, se asigna a una cobertura mixta (Por ejemplo, matorral y afloramientos rocosos). Para hacer la reclasificación del mapa del SIOSE se han considerado las siguientes 30 categorías: afloramientos rocosos, aguas continentales, aguas marinas, acantilados, coberturas artificiales, coníferas, cultivos y prados, cultivos, especies caducifolias, eucaliptos, eucaliptos y coníferas, humedales, instalaciones deportivas, matorral, matorral y especies arbóreas, matorral y afloramientos rocosos, mezcla de especies arbóreas, mosaico agrícola y matorral, mosaico agrícola y urbano, mosaico de cultivos y especies arbóreas, prados, playas, repoblaciones forestales, sistemas generales de transporte, vertederos, viñedos y cultivos leñosos, zonas de extracción o vertido, zonas quemadas, zonas urbanas y zonas verdes.
- Variables climáticas: Atlas Climático de Galicia (MARTÍNEZ CORTIZAS y PÉREZ ALBERTI, 1999) o base de datos Worldclim (<https://www.worldclim.org/>)
- Mapa litológico de Galicia, elaborado por el Instituto de Estudios del Territorio de la Consellería de Medio Ambiente, Territorio y Vivienda de la Xunta de Galicia a partir de consultas realizadas sobre la base cartográfica geológica obtenida por digitalización del mapa geológico de España a 1:50.000. Esta información puede descargarse en el siguiente enlace: <http://mapas.xunta.gal/centro-de-descargas>.
- MDT25 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Resolución espacial 25x25 metros. Este puede descargarse a partir del siguiente enlace: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

A partir de estos datos se calcularon las siguientes variables:

- o Mapa de las coberturas del suelo SIOSE reclasificado.
Se ha empleado el mapa de coberturas del suelo del SIOSE 2014 como *proxy* para identificar los diferentes ecosistemas del territorio. Las coberturas del suelo de este mapa se han reclasificado para obtener grupos de coberturas adecuados para la evaluación de este servicio, atendiendo a la especie o especies vegetales dominantes en cada categoría. La reclasificación se hizo con la herramienta

Organiza:



Con el apoyo de:



“Reclasificar por tabla” de QGIS. También se puede emplear la herramienta “reclassify” del paquete “raster” del software estadístico “R”. Las categorías de coberturas empleadas para el análisis han sido las siguientes:

1. *Terrenos forestados*. En este tipo de coberturas se han identificado las siguientes clases: zonas con predominio de *Eucaliptus spp*, zonas con predominio de *Pinus spp*, zonas mixtas de *Pinus spp* y *Eucaliptus spp*, zonas con predominio de frondosas autóctonas, zonas mixtas de *Eucaliptus spp* y *Pinus spp*. y frondosas autóctonas.
 2. *Terrenos de matorrales y superficies húmedas*. En esta categoría se han distinguido las turberas, los matorrales húmedos, los matorrales secos y los humedales tanto costeros como terrestres. La información sobre estas categorías proporcionada por el SIOSE fue complementada y mejorada con datos suministrados por el Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER) sobre la situación y extensión de las turberas, los matorrales húmedos y los humedales.
 3. *Otras coberturas*. En este apartado se incluyen los cultivos, las áreas urbanizadas, las vías de comunicación, etc.
- o Precipitación media anual en cada cuadrícula, obtenida a partir de un mapa de 100x100 m de resolución elaborado mediante una interpolación 3D de datos de 214 estaciones meteorológicas extraídos del *Atlas Climático de Galicia* (MARTÍNEZ CORTIZAS y PÉREZ ALBERTI, 1999). Un mapa similar también se puede descargar directamente de la base de datos “Worldclim”
 - o Temperatura media anual en cada cuadrícula, obtenida a partir de un mapa de 100x100 m de resolución elaborado mediante una interpolación 3D de datos de 129 estaciones meteorológicas extraídos del *Atlas Climático de Galicia* (MARTÍNEZ CORTIZAS y PÉREZ ALBERTI, 1999). Un mapa similar también se puede descargar directamente de la base de datos “Worldclim”
 - o Mapa de índice de posición topográfica (TPI) de Galicia. Obtenido a partir del del MDT del Instituto Geográfico Nacional de 25x25m de resolución a través de la herramienta “Índice de Posición Topográfica” del paquete de herramientas “GDAL” de QGIS. También se puede emplear la herramienta “terrain” del paquete “raster” del software estadístico “R”.

Metodología

El software estadístico que se utiliza para obtener los supuestos es Rstudio. Y los paquetes necesarios para ello: ‘sp’, ‘rgdal’ y ‘raster’.

Captura de carbono a corto plazo

El mapa resultante de este análisis representa la capacidad de captura del carbono atmosférico por parte de la biomasa, pasando este a formar parte integrante de la misma por medio de los procesos metabólicos. En este cálculo no se ha considerado el destino final de la biomasa evaluada sino sólo su mayor o menor capacidad de captura neta de carbono por hectárea y año. El periodo de tiempo evaluado en este caso corresponde a un intervalo de entre 0 y 20 años, que es equivalente al turno de corta medio de las especies forestales de turno corto en Galicia.

Organiza:



Con el apoyo de:



Para el cálculo de la captura de carbono a corto plazo, las coberturas del SIOSE 2014 se reclasifican según los pesos de la tabla 1. Estos fueron extraídos del estudio de GARCÍA et al. (2020). Posteriormente, se aplicó una máscara para eliminar las superficies artificiales, siendo 0 las artificiales y 1 las naturales (ecuación 1).

(ecuación 1) Captura de carbono a corto plazo = Coberturas reclasificadas * máscara

Tabla 1. Pesos asignados a las coberturas del suelo en función de su potencial para capturar carbono

Cobertura SIOSE 2014	Pesos asignados
Afloramientos rocosos	0
Aguas continentales	0
Aguas marinas	0
Acantilados	0
Coberturas artificiales	0
Coníferas	0,31
Cultivos y prados	0
Cultivos	0
Especies caducifolias	0,13
Eucaliptos	1
Eucaliptos y coníferas	0,65
Humedales	0,06
Turberas y matorrales húmedos	0,06
Instalaciones deportivas	0
Matorral	0,05
Matorral y especies arbóreas	0,05
Matorral y afloramientos rocosos	0,05
Mezcla de especies arbóreas	0,48
Mosaico agrícola y matorral	0
Mosaico agrícola y urbano	0
Mosaico de cultivos y especies arbóreas	0
Prados	0
Playas	0
Replantaciones forestales	0,65
Sistemas generales de transporte	0
Vertederos	0
Vinedo y cultivos leñosos	0
Zonas de extracción o vertido	0
Zonas quemadas	0,05
Zonas urbanas	0
Zonas verdes	0

Organiza:



Con el apoyo de:



Almacenamiento de carbono en el ecosistema a medio plazo

El mapa resultante es un indicador del grado de transferencia de carbono entre la biomasa y el suelo, así como de la capacidad de almacenamiento de carbono en la propia biomasa, en concreto en aquellas coberturas que no son aprovechadas de forma intensiva por el hombre en el período de tiempo considerado (GARCÍA et al., 2020). El intervalo temporal orientativo establecido para este supuesto se ha estimado entre 20 y 150 años, en función de los turnos de corta de las especies forestales de turno corto y turno largo en Galicia. En la tabla 2 se presentan los pesos asignados a las diferentes coberturas del suelo para la evaluación del almacenamiento de carbono en este período según lo establecido en GARCÍA et al. (2020). Igual que en el supuesto anterior, después de reclasificar las coberturas para asignarles los pesos, se aplica una máscara para eliminar las coberturas artificiales.

Tabla 2. Pesos asignados a las coberturas del suelo en función de su capacidad para almacenar carbono a medio plazo.

Cobertura SIOSE 2014	Pesos asignados
Afloramientos rocosos	0
Aguas continentales	0
Aguas marinas	0
Acantilados	0
Coberturas artificiales	0
Coníferas	0,44
Cultivos y prados	0
Cultivos	0
Especies caducifolias	1
Eucaliptos	0
Eucaliptos y coníferas	0,25
Humedales	0,55
Turberas y brezales húmedos	0,55
Instalaciones deportivas	0
Matorral	0,47
Matorral y especies arbóreas	0,47
Matorral y afloramientos rocosos	0,47
Mezcla de especies arbóreas	0,5
Mosaico agrícola y matorral	0
Mosaico agrícola y urbano	0
Mosaico de cultivos y especies arbóreas	0
Prados	0
Playas	0
Repoblaciones forestales	0,25
Sistemas generales de transporte	0
Vertederos	0
Víñedo y cultivos leñosos	0
Zonas de extracción o vertido	0
Zonas quemadas	0,47
Zonas urbanas	0

Organiza:



Con el apoyo de:



Cobertura SIOSE 2014	Pesos asignados
Zonas verdes	0

Almacenamiento de carbono a largo plazo.

El mapa de potencial de almacenamiento de carbono a largo plazo evalúa principalmente el potencial del suelo para almacenar carbono de manera continuada. El carbono contenido en los suelos es el que potencialmente puede permanecer durante más tiempo almacenado en los ecosistemas, ya que los suelos se desarrollan durante grandes períodos temporales y acumulan carbono en su estructura a la vez que se desarrollan y evolucionan. Los principales factores que influyen en el desarrollo de los suelos, y por lo tanto en su capacidad para almacenar carbono son: el sustrato litológico, el relieve, el clima (precipitación y temperatura), el grado de hidromorfía y la estabilización química de los suelos (GARCÍA et al., 2020). Para el cálculo de este potencial de almacenamiento se han ponderado los factores citados anteriormente según lo establecido en GARCÍA et al. (2020) en función de su influencia en la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo.

La precipitación afecta principalmente al carbono retenido en los horizontes superficiales, siendo los suelos situados en áreas con más precipitaciones los que tienen un contenido en carbono más elevado, y en Galicia coinciden con las sierras más elevadas. En las depresiones sedimentarias interiores y a sotavento de las zonas montañosas, donde las precipitaciones son menores, surgen los suelos con menos potencial de retención de carbono (MACÍAS et al., 2004). Dado que el contenido en carbono es función de la precipitación, se emplea el mapa de precipitaciones normalizado entre 0 y 1 (ecuación 2).

$$(ecuación 2) \text{ Valor normalizado} = \frac{\text{Valor} - \text{Valor mínimo}}{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}}$$

La temperatura tiene una influencia inversa en el almacenamiento de carbono en los suelos (RODRÍGUEZ-LADO y MARTÍNEZ-CORTIZAS, 2015), de modo que a más temperatura menos potencial para la retención de carbono y viceversa. La variable temperatura es considerada dentro de los factores climáticos, empleando el mapa inverso de temperatura media anual normalizado entre 0 y 1 (ecuación 2).

El sustrato litológico sobre el que se desarrollan los suelos tiene también una influencia importante en el carbono almacenado en ellos. Los suelos sobre rocas básicas (gabros, anfíbolitas, granulitas) suelen tener más potencial de almacenamiento de carbono que los desarrollados sobre rocas graníticas, rocas metamórficas (pizarra, esquisto), rocas cuarcíticas y terrenos sedimentarios, por este orden. Los suelos con menos potencial de retención de carbono son los que se desarrollan sobre suelos hipermagnésicos derivados de rocas ultrabásicas y, finalmente, los que se desarrollan sobre rocas calcáreas. Aunque no directamente determinados por el sustrato sobre el que se desarrollan, sino por una mezcla de factores climáticos y orográficos, se han incluido los suelos hidromorfos (turberas y terrenos húmedos), siendo, dentro de este factor, los suelos con mayor capacidad de almacenamiento de carbono. Los pesos otorgados a cada tipo de suelo fueron extraídos de los datos que relacionan la cantidad de carbono en suelo y el factor

Organiza:



Con el apoyo de:



litológico (MACÍAS et al., 2004), añadiendo el caso de los suelos hidromorfos que se han puntuado con el valor máximo. Posteriormente se han estandarizado los valores entre 0 y 1 (tabla 3).

Tabla 3. Pesos asignados a cada tipo de litología en función de su potencial para capturar carbono a largo plazo

Tipo de litología: categorías del mapa geológico nacional	Substrato litológico	Captura media de carbono	Peso
Rocas carbonatadas	Rocas calizas	4,2	0
Depósitos detríticos cuaternarios	Sedimentarias	5,55	0,04
Depósitos detríticos terciarios			
Depósitos pliocuaternarios			
Rocas metamórficas	Cuarcitas (tipo de metamórficas), esquistos y pizarras: metamórficas	6,19	0,06
Rocas filonianas	Granitos	7,01	0,09
Rocas graníticas			
Zona de greisenización			
Rocas básicas y ultrabásicas	Rocas básicas: gabros, anfibolitas, granulitas	8,81	0,15
*(combinación de coberturas de SIOSE y mapas de ecosistemas del IBADER)	Histosoles de turberas, gleisoles	35,09	1

En cuanto a la posición topográfica de los suelos, como norma general, los terrenos donde el suelo sufre más erosión (como áreas con fuerte pendiente o riscos) almacenan menos carbono y los situados en áreas con pendiente baja o llanuras, donde la erosión es menor, tienen un potencial de almacenamiento mayor. Por este motivo, se han asignado diferentes pesos a los tipos de geomorfología identificados a partir del TPI según su capacidad de acumulación de carbono (tabla 4).

Tabla 4. Pesos asignados a los tipos de geomorfología en función de su influencia en la capacidad del suelo para almacenar carbono a largo plazo.

TPI - pendiente	Orografía	Peso
TPI > 1	Cresta	0,2
$0.5 < \text{TPI} \leq 1$	Ladera alta	0,2
$-0.5 \leq \text{TPI} \leq 0.5$ y pendiente > 8.75	Ladera media	0,6
$-0.5 \leq \text{TPI} \leq 0.5$ y pendiente ≤ 8.75	Ladera llana	1
$-1 \leq \text{TPI} < -0.5$	Ladera baja	0,8
TPI < -1	Valle	0,4

El mapa de potencial de almacenamiento de carbono a largo plazo se obtiene mediante la suma ponderada de las variables analizadas anteriormente (climáticas, litológicas y topográficas), según la metodología descrita en GARCÍA et al. (2002). Entre todas las variables estudiadas, el clima afecta más al contenido en carbono en horizontes superficiales. Sin embargo, en el total de carbono almacenado en todos los estratos edáficos, influye más la litología y el espesor del suelo

Organiza:



Con el apoyo de:



(MACÍAS et al., 2005). Por ello, GARCÍA et al. (2002) otorgan un peso mayor a la litología (0.6) que a los factores climáticos (0.3 en conjunto, siendo 0.1 el peso asignado a la temperatura y 0.2 a la precipitación). Los valores resultantes se corrigen también en función de geomorfología, asignando a este factor (TPI) un peso de 0.1 en el mapa final. Dado que la geomorfología ya se evalúa implícitamente a través de los mapas de temperatura y precipitación, puesto que ambas variables dependen entre otros factores de la primera, se asigna un peso bajo a esta variable para evitar sobreponderar el factor relieve. El objetivo de incluir la variable geomorfología es el de aumentar el detalle del mapa resultante, dado que su resolución espacial es mayor que la de las restantes variables. La ecuación para el cálculo del amancenamiento de carbono a largo plazo es la que se muestra a continuación:

$$\text{(ecuación 3) Almacenamiento de carbono a largo plazo} = 0.2 * \text{precipitación normalizada} + 0.1 * \text{temperatura normalizada} + 0.1 * \text{TPI normalizado} + 0.6 * \text{litología normalizada}$$

Posteriormente se aplica, como en los dos supuestos anteriores, una máscara para eliminar las superficies artificiales.

Organiza:



Con el apoyo de:



Bibliografía

- GARCÍA, A. M., SANTÉ, I., LOUREIRO, X., MIRANDA, D. (2020). Green infrastructure spatial planning considering ecosystem services assessment and trade-off analysis. Application at landscape scale in Galicia region (NW Spain). *Ecosystem Services*, 43, 101115.
- HAINES-YOUNG, R., POTSCHEIN, M. B. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. R.K. Pachauri and L.A. Meyer.
- MACÍAS, F., CALVO DE ANTA, R., RODRÍGUEZ LADO, L., VERDE, R., PENA PÉREZ, X., CAMPS ARBESTAIN, M. (2004). El sumidero de carbono de los suelos de Galicia. *Edafología*, 11(3), 341-376.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., Pérez Alberti, A. (1999). *Atlas Climático de Galicia*. Xunta de Galicia.
- RODRÍGUEZ-LADO, L., MARTÍNEZ-CORTIZAS, A. (2015). Modelling and mapping organic carbon content of topsoils in an Atlantic area of southwestern Europe (Galicia, NW-Spain). *Geoderma*, 245-246, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.015>
- WEISS, A. D. (2001). *Topographic position and landforms analysis*. ESRI Users Conference, San Diego (CA). http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf

Organiza:



Con el apoyo de:

