

CONTABILIDAD EXPERIMENTAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA MEDIANTE k.LAB¹

Pedro Miguel Guerrero Serrano²

Cátedra FYM-UMA Cambio Climático

Ángel Enrique Salvo Tierra

Cátedra UICN de SbN en la UNIA

Ferdinando Villa, Stefano Balbi, Alba Márquez

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Marcos Castro Bonaño

Departamento de Economía aplicada de la UMA

Ana Aguilar Vicario, Antonio Carlos Garrido Linares

AGUESA Agua y Energía, S.L.

Álvaro Cortés Molino

Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal de la UMA

Andrés Alcántara Valero y Lourdes Lázaro

Centro de Cooperación para el Mediterráneo de la UICN

1 La presente aportación surge de la colaboración entre el equipo de trabajo sobre Cambio Climático de la UMA, a través de la Cátedra FyM-UMA, y el Basque Centre for Climate Change (BC3), con aportaciones del Centro de Cooperación para el Mediterráneo de la UICN, a través de la Cátedra UICN de SbN de la UNIA.

2 Autor para correspondencia: pedroguerrero@uma.es

Resumen

La tecnología k.LAB permite aportar modelos y datos científicos que simulan e integran sistemas ambientales y socioeconómicos y a los usuarios obtener información sobre el ecosistema que desee a través de una interfaz de fácil utilización. Se ensaya la herramienta k.LAB basada en SEEA para calcular la evolución de la valorización de los servicios ecosistémicos durante el período 2012 a 2020 en la provincia de Málaga (Sur de España). Se presenta un balance final con el fin de determinar el sentido del progreso de cada ecosistema y del global provincial, realizando una aproximación a las causas del balance final en cada caso.

Abstract

The k.LAB technology makes it possible to provide models and scientific data that simulate and integrate environmental and socio-economic systems and allow users to obtain information about the ecosystem they want through an easy-to-use interface. Experimental accounting of ecosystem services in the province of Málaga through k.LAB. The K.LAB tool

based on SEEA is tested to calculate the evolution of the valuation of ecosystem services during the period 2012 to 2020 in the province of Malaga (Southern Spain). A final balance is presented to determine the direction of progress of each ecosystem and the provincial global, making an approximation to the causes of the final balance in each case.

Palabras claves: *Servicios ecosistémicos, Sur de la Península Ibérica, monetización ambiental, almacenamiento de C, ecosistemas mediterráneos*

Key Words: *Ecosystem services, South of the Iberian Peninsula, environmental monetization, C storage, Mediterranean ecosystems*

Área temática: *“Infraestructuras y soluciones tecnológicas sostenibles”*

1. Introducción

La Comisión de Estadística de Naciones Unidas adoptó en su 52º período de sesiones en marzo de 2021 la contabilidad de ecosistemas de SEEA (System of Environmental-Economic Accounting, en español Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica). SEEA aborda los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas y el valor de los servicios que producen en términos físicos y monetarios, respondiendo a las siguientes preguntas:

- ¿Qué servicios ecosistémicos generan los distintos ecosistemas?
- ¿Cuál es la magnitud de las contribuciones de los servicios ecosistémicos a la economía y a otras actividades humanas?
- ¿Cuáles son los ecosistemas que se encuentran en las mejores condiciones y cuáles están más degradados?
- ¿Qué cambios se han producido en el tiempo y cuál ha sido su impacto en la generación de servicios ecosistémicos?
- ¿Qué valores monetarios podrían tener los ecosistemas?

k.LAB es una herramienta diseñada para integrar modelos mediante el uso de conceptos científicos que utiliza un algoritmo sofisticado de clasificación de criterios múltiples. La herramienta ARIES es la más visible de k.LAB, se trata de un conjunto de modelos de servicios ecosistémicos de vanguardia destinados a respaldar la toma de decisiones basada en la ciencia mediante el uso de modelos respaldados por la comunidad científica. ARIES permite el acceso a modelos globales ya definidos que se pueden obtener rápidamente a través de la herramienta k.EXPLORER, una herramienta para usuarios no técnicos. Los modelos disponibles en la actualidad, se encuadran dentro de las siguientes categorías: Almacenamiento de carbono, polinización, regulación de inundaciones, recreación al aire libre, retención de sedimentos, valor total de los servicios del ecosistema, suministro de biomasa, valoración monetaria del EE de bosques no maderables, servicios de agua, fuego y pastizales y ganadería. Algunos de ellos se encuentran en constante actualización y otros están en proceso de elaboración para ponerlos a disposición de los usuarios.

En base a ello se presenta una aproximación a la Contabilidad Experimental de Ecosistemas en la Provincia de Málaga, basado en la herramienta de contabilidad del capital natural ARIES (Artificial Intelligence for Environment & Sustainability, en español Inteligencia artificial para el medio ambiente y la sostenibilidad) desarrollada por investigadores del Centro Vasco para el Cambio Climático (BC3). Esta caja de herramientas permite el modelado biofísico, el mapeo y la valoración para varias cuentas, incluida la extensión, condición, suministro y uso físico y monetario del ecosistema, cuentas de activos y cuentas de carbono.

El objetivo de esta colaboración se basa en presentar los resultados de la evolución durante la última década sobre el Almacenamiento del secuestro de CO₂ según los distintos tipos de ecosistemas, el Balance de la valoración económica para cada uno de ellos, así como el Balance global de la Provincia de Málaga.

2. Ecosistemas

La cuenta de extensión del ecosistema es la principal variable considerada en SEEA. Define la extensión espacial de cada tipo de ecosistema, mostrando cómo estos cambian con el tiempo. Los ecosistemas se definen como unidades cuyo funcionamiento se rige por los recursos, las condiciones ambientales, los regímenes de perturbación, las interacciones bióticas y la actividad humana. En este contexto, los ecosistemas no deben confundirse con los hábitats (proporcionados por los ecosistemas para especies particulares).

La Tipología de Ecosistemas Globales de la UICN (Keith et al. 2020) es el estándar para la contabilidad de ecosistemas y sirve para mejorar los datos de extensión de ecosistemas respecto a los datos aportados por otras aplicaciones anteriores que se basaban exclusivamente en datos de cobertura terrestre.

Una cuenta de la extensión del ecosistema completa debe incluir los cambios brutos (adiciones y reducciones), así como el cambio neto entre los años de apertura y cierre, entre los activos de los ecosistemas individuales de un mismo tipo y para cada período contable. Cada cambio debe clasificarse como: 1) expansión/regresión gestionada (cambios debidos a la actividad humana directa, como la tala de bosques para tierras agrícolas); 2) expansión regresión natural (cambios resultantes de procesos naturales, como la sucesión de bosques); ó 3) reevaluaciones hacia arriba o hacia abajo (ajustes a las estimaciones iniciales resultantes de datos mejorados). Con ello, la extensión del ecosistema se puede registrar como una matriz de cambios que cuantifica el cambio específico entre un año de apertura y un año de cierre de un determinado tipo de ecosistema en otro.

3. Modelos globales de oferta-demanda de servicios ecosistémicos para ARIES

La metodología seguida para nuestro caso de estudio ha sido la siguiente:

A través de la herramienta ARIES se ha buscado la provincia objeto de estudio. Una vez seleccionada, se ha introducido el periodo de tiempo para el que se desea obtener los datos de estudio, en este caso, de 2012 a 2020 y se seleccionan los modelos a consultar ofrecidos por ARIES. Como podemos observar en la figura 2, los modelos utilizados para este estudio han sido; tipos de ecosistemas en la provincia de Málaga, masa de carbono orgánico según tipo de ecosistemas en la provincia de Málaga y secuestro de carbono según tipo de ecosistema en la provincia de Málaga. La herramienta utiliza la base de datos alojada en su servidor para dar respuesta a los modelos que el usuario solicita. Se puede consultar y acceder al origen de los datos desde el apartado flujo de datos.

Los datos obtenidos en para cada modelo pueden descargarse para trabajar con ellos cómodamente en cualquier software de edición cartográfica como puede ser ArcGIS o QGIS. El modelado de base de la oferta y la demanda de servicios ecosistémicos (en adelante SSEE) se realiza en ARIES utilizando un conjunto de declaraciones lógicas, datos y modelos. En general, los modelos construidos y utilizados por ARIES tienen una resolución y detalles conceptuales similares a los disponibles en otros conjuntos de herramientas de evaluación de SSEE como InVEST (herramienta desarrollada por Nat.Cap Natural Capital Project organización que integra los institutos para el medioambiente de la Universidad de Stanford y Minnesota junto con las organizaciones The World Wildlife Fund y The Nature Conservancy [NatCap. (s. f.-a). A Powerful Tool to Map and Value Ecosystem Services - Brochure]) o

ESTIMAP (Modelado de los SSEE para la UE, Zulian et al. 2013 y 2014). Además, ARIES ofrece la opción de personalizar fácilmente modelos con datos y parámetros específicos del contexto espaciotemporal. Este enfoque permite una cuantificación rápida de SSEE, ya que los modelos se adaptan automáticamente al contexto de la aplicación y se ejecutan utilizando los mejores datos disponibles en un determinado momento. Los modelos utilizan datos a diferentes escalas según las necesidades del contexto. Estos datos están enlazados con el modelo gracias a la semántica y el *machine reasoning* (un tipo de Inteligencia Artificial), lo que hace fácilmente localizables, reutilizables, interoperables y disponibles al público. Los usuarios avanzados pueden añadir nuevos recursos y datos al k.LAB, como son las variables o las estructuras del modelo completo para aprovechar los datos de alta resolución y las formulaciones de modelos específicos.

4. Método cartográfico

Keith et al. (2020) reconocen 24 ecosistemas de Nivel 2 (denominados biomas): cuatro marinos, tres de agua dulce, siete terrestres, uno subterráneo y nueve en reinos de transición. Estos se subdividen en 108 grupos funcionales de ecosistemas de nivel 3 (EFG). ARIES actualmente permite el modelado de 29 tipos de ecosistemas de Nivel 2.5. En este nivel las estimaciones de la altura del dosel por teledetección se utilizan como indicador directo de la distribución de este grupo de ecosistemas de bosques altos, incluyendo aquellos con copas de árboles de más de 40 m, y recortadas a la extensión espacial de los tipos de clima templado. Son una mezcla de biomas de Nivel 2 y Grupos de Ecosistemas funcionales (en adelante EFG = Ecosystem Functional Group) de Nivel 3. Estos incluyen 21 biomas terrestres y siete EFGs de humedales y el bioma de aguas abiertas.

A la vista de los resultados obtenidos, la aplicación de k.LAB ha considerado los ecosistemas de nivel 2.5 para la provincia de Málaga. Se han considerado 9 tipos de ecosistemas de nivel 2.5: bosque mediterráneo, ecosistema urbano, cultivos forestales, pastizales templados subhúmedos, pedregales y zonas rocosas, llanuras aluviales áridas episódicas, matorral mediterráneo seco y tierra de cultivo y se han previsto los siguientes resultados (Tabla 1) de:

- Almacenamiento de toneladas C en 2012.
- Almacenamiento de toneladas C en 2020.
- Cambio neto de almacenamiento de toneladas C desde 2012 a 2020.
- Valor monetario de C secuestrado entre 2012 y 2020 en base al coste social anualizado del carbono en \$ @ 2015 / tonelada.

Los métodos para mapear ecosistemas de Nivel 2.5 generalmente siguen los 3 dominios de temperatura, forma de relieve y datos de elevación de Sayre et al. (2000). Esto permite la cartografía del cambio del ecosistema a lo largo del tiempo utilizando los mejores datos disponibles. Las designaciones empleadas y la presentación del material las cartografías aportadas por esta aplicación no implican la expresión de opinión alguna por parte de la Secretaría de las Naciones Unidas sobre la situación jurídica de cualquier país, territorio, ciudad o área, de sus autoridades, o respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

5. Área y método de estudio

Para llevar a cabo el ensayo se ha elegido como área de estudio la provincia administrativa de Málaga (Sur de España, Mediterráneo occidental en la Cuenca del Mar de Alborán). Tiene una superficie de 7308 km² con un relieve acusadamente montañoso, con un tercio del territorio entre los 0 y 400 m s. n. m., otro tercio entre los 400 y los 800 m s. n. m., y el último

tercio, entre los 800 y los 2000 m s. n. m. El clima es mediterráneo con un prolongado periodo seco, aunque debido a la compleja orografía y a la proximidad del Estrecho de Gibraltar se superponen distintos pisos bioclimáticos con diferentes ombrotipos. Todo ello conduce a un mosaico de ecosistemas (Fig. 1) que le confieren un alto interés para los estudios de biodiversidad y sostenibilidad.

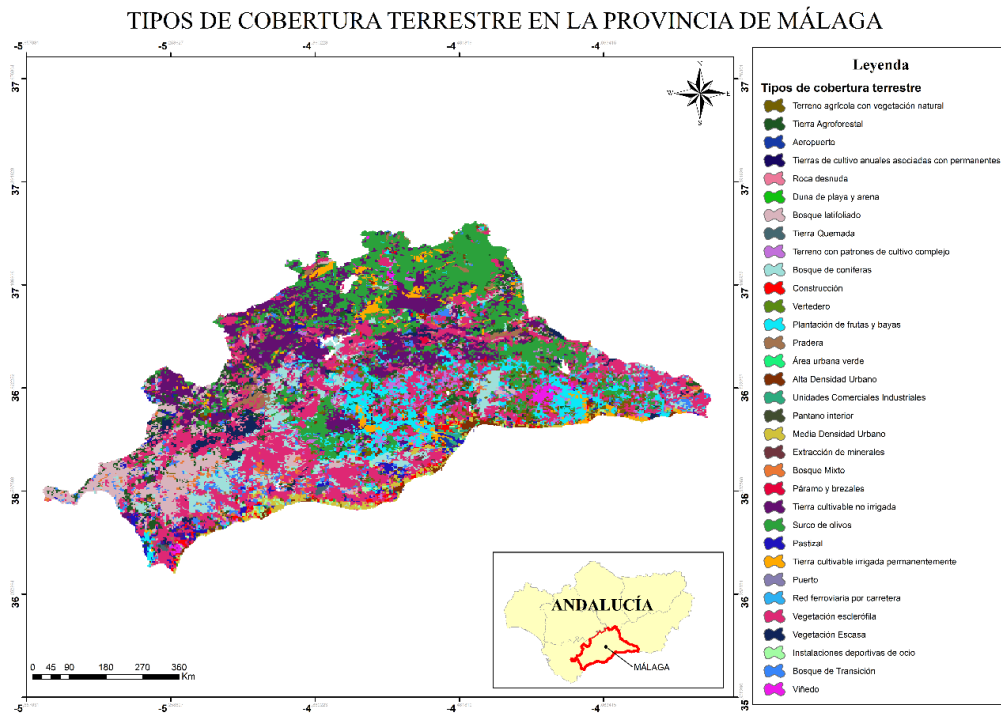


Figura 1: Tipos de cobertura terrestre de la provincia de Málaga

La metodología seguida para nuestro caso de estudio se sintetiza en la fig. 2.

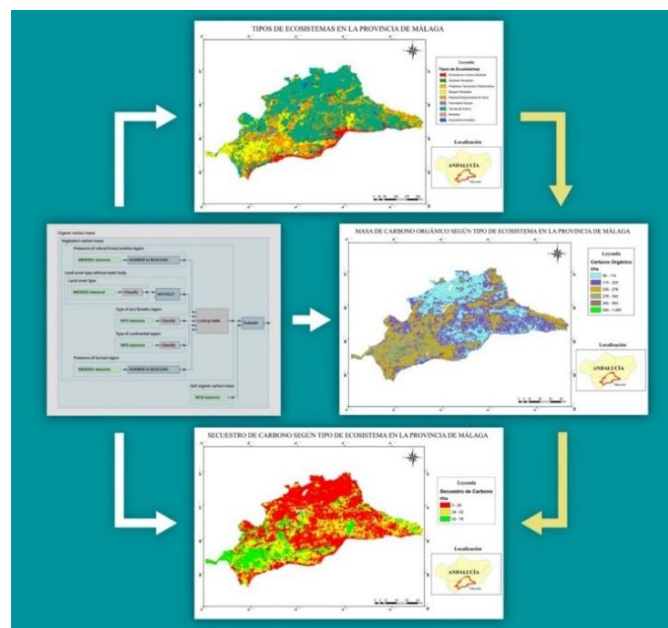


Figura 2.- Resumen de la metodología seguida.

6. Resultados

La aplicación de k.LAB a la provincia de Málaga considerando los ecosistemas de Nivel 2.5 ha provisto los siguientes resultados (Tabla 1) de:

- Almacenamiento de toneladas C en 2012.
- Almacenamiento de toneladas C en 2020.
- Cambio neto de almacenamiento de toneladas C desde 2012 a 2020.
- Valor monetario de C secuestrado entre 2012 y 2020 en base al coste social anualizado del carbono en \$ @ 2015 / tonelada.

Tabla 1. Resultados de la aplicación de K.lab

	Cantidad a principios de 2012 (almacenamiento de toneladas C)	Cantidad a principios de 2020 (almacenamiento de toneladas C)	Cambio neto	Valor monetario de C secuestrado entre 2012 y 2020 (USD de 2015)
Bosque mediterráneo	5.094.247,63	8.810.289,39	3.716.041,76	4.161.966,77
Ecosistema urbano	6.701.849,46	7.087.817,71	385.968,25	432.284,44
Cultivos forestales	31.136.955,13	31.434.780,63	297.825,50	333.564,56
Pastizales templados subhúmedos	2.667.470,07	2.934.360,14	266.890,07	298.916,88
Pedregales y zonas rocosas	4.889.256,29	5.016.862,61	127.606,32	142.919,08
Matorral mediterráneo húmedo	211.364,23	298.197,10	86.832,87	97.252,81
Llanuras aluviales áridas episódicas	0,00	44.879,60	44.879,60	50.265,15
Matorral mediterráneo seco	40.814.374,80	39.430.669,30	-1.383.705,50	-1.549.750,17
Tierras de cultivo	70.932.495,27	67.370.127,34	-3.562.367,92	-3.989.852,07
Total	162.464.335,26	162.444.306,19	-20.029,06	-22.432,55

En 2012 el almacenamiento de C se producía mayoritariamente en las tierras de cultivo (44%) y el matorral mediterráneo de ombroclima seco (25%) (Fig. 3).

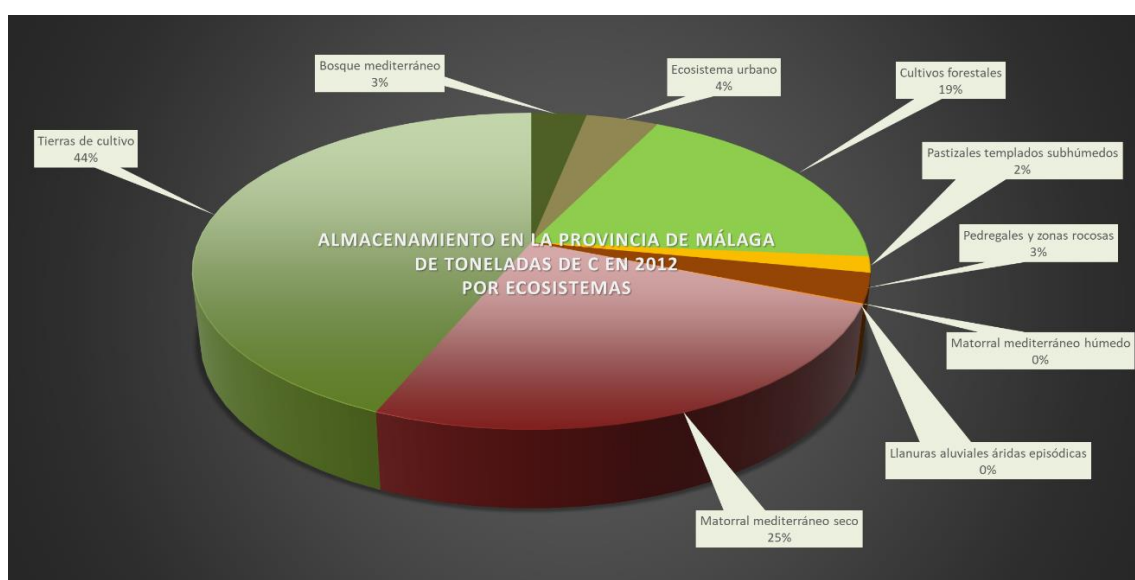


Figura 3.- Porcentaje de almacenamiento de toneladas de carbono en 2012 por ecosistemas en la provincia de Málaga

Durante la pasada década (Fig. 4) los ecosistemas encargados del almacenamiento de C han cambiado de forma drástica, en especial en aquellos más determinantes al inicio de esta (Tierras de cultivo y Matorrales mediterráneos de ombroclima seco), teniendo un incremento importante el almacenamiento por parte de los bosques mediterráneos.

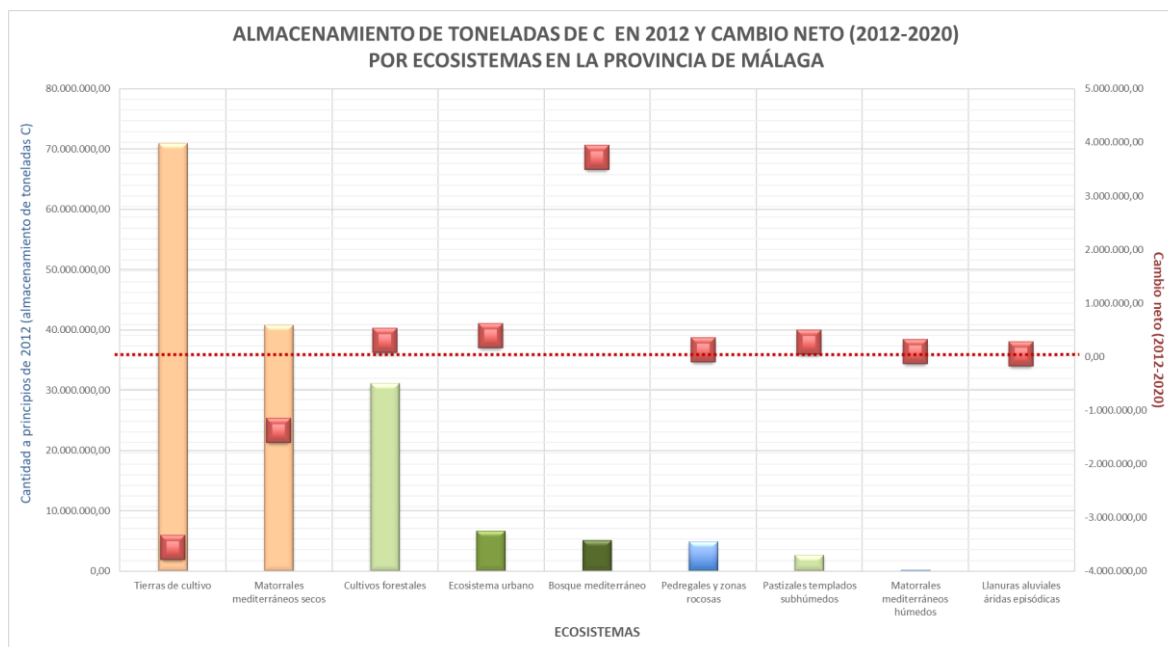


Figura 4.- Evolución del almacenamiento de C por ecosistema entre 2012 y 2020.

La monetización del C almacenado (Fig. 5) durante la pasada década para cada ecosistema de la provincia de Málaga muestra saldos negativos para dos de ellos, siendo especialmente significativa la fuerte caída del valor aportado por las tierras de cultivo. Por otro lado, es destacable la repercusión positiva del almacenamiento por parte del conjunto de bosques mediterráneos. En cualquier caso, el saldo neto global para la provincia resulta negativo, es decir se ha producido en esta década una pérdida de 1,38% del valor económico del almacenamiento de C en la provincia de Málaga.

7. Discusión y conclusiones

La base económica de la provincia de Málaga se ha sustentado en la década objeto de estudio en los sectores tradicionales de la agricultura, turismo y construcción. Durante la pasada década se incrementó la población residente provincial en cerca de cien mil habitantes hasta alcanzar los 1.685.414, si bien esta cifra es aún mayor si se considera el turismo de carácter residencial. El aumento demográfico ha llevado a una mayor extensión de los desarrollos urbanísticos, en especial en el frente litoral y la aglomeración urbana de la capital, produciéndose un cambio en los usos del suelo. Así, la principal transformación se ha producido desde los suelos agrícolas y de matorral hacia suelos urbanos. En consecuencia, se ha perdido el gran valor que estos poseen para el almacenamiento de C. En sentido contrario la mayor conservación y reforestación en áreas protegidas, en donde la base de la protección son los bosques mediterráneos maduros, fundamentalmente de alcornoques, encinares, pinares y pinsapares, ha supuesto un incremento favorable en el secuestro de C.

Los servicios ecosistemas generados por los ecosistemas de nivel 2.5 en la provincia de Málaga abarcan las 4 categorías principales de servicios, es decir, servicios de aprovisionamiento de recursos naturales (madera alimentos, agua dulce...), servicio de apoyo

de ecosistemas existentes (hábitats, ciclo de nutrientes, dispersión de semillas...), servicios de regulación de ecosistemas (polinización, dispersión de semillas, depuración de aguas...) y Servicios culturales (estudios científicos, turismo, contacto con la naturaleza...), por lo que se puede deducir que la provincia de Málaga se trata de un lugar que ofrece servicios ecosistémicos de calidad y que pueden contribuir a la economía de la provincia positivamente si los recursos que ofrecen son tratados debidamente.

Actualmente, los ecosistemas que se encuentran en mejores condiciones en la provincia de Málaga son las Tierras de cultivo y el Matorral mediterráneo seco, en contraposición del matorral mediterráneo húmedo y las llanuras aluviales áridas episódicas que se encuentran degradados. Esto se debe a los cambios producidos en las últimas décadas, donde el avance de la construcción ha llevado a la aparición de superficies urbanizables que han ido degradando los ecosistemas naturales, causando como mayor impacto la desaparición de zonas forestales que a su vez reduce la generación de los servicios ecosistémicos naturales, afectando a los 4 niveles de servicios de forma considerada.

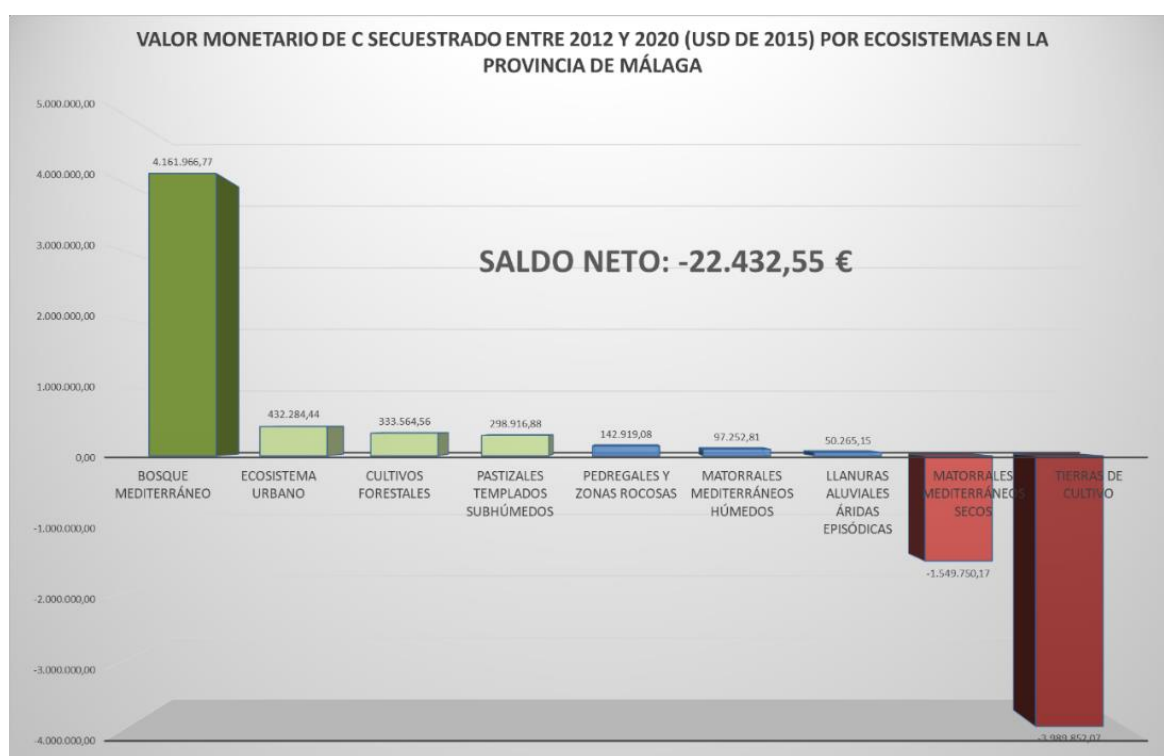


Figura 5.- Monetización del balance de almacenamiento de C para cada tipo de ecosistema de la provincia de Málaga entre 2012 y 2020 en base al coste social anualizado del carbono en \$ @ 2015 / tonelada

Referencias

- Keith, D.A., Ferrer-Paris, J.R., Nicholson, E. and Kingsford, R.T. (eds.). 2020. *The IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups*. Gland, Switzerland: IUCN. 170 pp. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>
- Sayre, R., Roca, E., Sedaghatkish, G., Young, B., Keel, S., Roca, R. & Sheppard, S. 2000. *Nature in Focus. Rapid Ecological Assessment*. Island Press. Washington DC, EE. UU. 182 pp.

Zulian, G., Paracchini, M.L., Maes, J., Liqueste, C., 2013. ESTIMAP: Ecosystem Services Mapping At European Scale, Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, Publication Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/64369>.

Zulian, G., Polce, C., Maes, J. 2014. ESTIMAP: a GIS-Based model to map ecosystem services in the European Union. Ann. Bot. 4, 1–7. <https://doi.org/10.4462/annbotrm-11807>

Correspondencia (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Pedro Miguel Guerrero Serrano

Teléfono: +34 627 52 61 91

E-mail: pedroguerrero@uma.e

Cesión de derechos

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.