



2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022
ISBN 978-84-941695-6-4
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Gestión geoespacial y multi-criterio de los servicios ecosistémicos forestales de Cataluña a través del sistema EMDS

KRSNIK, G.¹, REYNOLDS, K.² y GONZÁLEZ OLABARRÍA, J.R.²

¹ Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC); Ctra de Sant Llorenç de Morunys, km 2. 25280 Solsona (Lleida), España.

² USDA-FS Pacific Northwest Research Station; 3200 SW Jefferson Way, Corvallis OR 97331, EEUU.

Resumen

El entorno forestal es uno de los ecosistemas más complejos que se pueden encontrar en nuestro planeta. Nos provee con numerosos servicios resultantes de complejos procesos espaciales presentes en estas comunidades ecológicas. Por eso, la gestión multifuncional, multiobjetiva y sostenible de los bosques y sus servicios ecosistémicos es fundamental. Es importante definir espacialmente los servicios de los ecosistemas forestales para que luego puedan ser correctamente manejados. En este estudio decidimos utilizar herramientas innovadoras de sistemas de apoyo a la toma de decisiones, que brindan resultados más precisos en la gestión de criterios múltiples. El sistema EMDS funciona como una extensión del software de TIG y nos ayuda a procesar una gran cantidad de datos espaciales de diferente naturaleza en varias escalas, poniéndolos en relación y estudiando el nivel de su inter-correlación. La herramienta utiliza un modelo de lógica difusa con el objetivo de evaluar la presencia y el efecto que tiene un determinado proceso espacial en un área geográfica definida. Se ha realizado una investigación sobre los servicios ecosistémicos forestales en Cataluña con el objetivo de obtener una zonificación espacial precisa de la idoneidad del uso forestal y aplicarla en la gestión forestal sostenible.

Palabras clave

Servicios ecosistémicos, gestión forestal, análisis multicriterio, análisis espacial, EMDS.

1. Introducción

Los servicios ecosistémicos son los beneficios a la sociedad, esenciales para el bienestar humano (Castro, A. et al, 2011). Este relativamente nuevo enfoque científico intenta mejorar la gestión de los ecosistemas de la tierra, garantizando la conservación y la sostenibilidad, y dando a las funciones ecológicas un significado conceptual más antropogénico. El concepto intenta conseguir un balance entre la demanda de la sociedad y la capacidad de los ecosistemas de proveer ciertos servicios ecosistémicos (MEA, 2005; García-Nieto, A.P. et al, 2013). El objetivo es incorporar los servicios ecosistémicos en procesos de la toma de decisiones, utilizando un enfoque multidisciplinario y garantizando una gestión sostenible (Wang, S. et al, 2013).

La Mapificación de los servicios ecosistémicos y su análisis espacial son el primer paso hacia un plan de gestión exhaustivo. En el espacio geográfico, cada servicio ecosistémico, definido por sus complejos procesos geoespaciales, forman parte de una única realidad geoespacial donde cada contenido geográfico tiene su valor correspondiente. Mapificar esos valores significa cuantificar la participación de cada variable, evaluándola a través del espacio y, por tanto, aproximar la realidad geoespacial de cada área. No obstante, la cuantificación es un proceso desafiante, pues está fuertemente ligado a la elección del plan metodológico del estudio (Schägner, L. et al, 2013; Luck, W. et al, 2009; Crossman, D. et al, 2012; Hou, Y. et al, 2013).

Este estudio se centra en el análisis de los servicios ecosistémicos de espacios forestales siguiendo la normativa metodológica del MEA, considerando tres tipos de servicios: de provisión, de regulación y culturales (MEA, 2005). Los ecosistemas forestales tienen un rol crucial en la

biodiversidad terrestre, son el componente central en procesos biogeoquímicos y tienen una importancia esencial para el bienestar humano. Por esas razones, la gestión adecuada de los servicios ecosistémicos forestales se impone como una necesidad imprescindible para una sociedad sostenible (Lead, C. et al, 2000).

No obstante, la toma de decisiones sobre el uso de recursos forestales se presenta como un proceso dificultoso, pues implica la competición entre estrategias de planificación heterogéneas. Con el incremento del número de las estrategias que considerar, se complica considerablemente la elección de la alternativa más apropiada. Por eso, la definición de una variable que indique esa alternativa es imprescindible. Definir la idoneidad del uso forestal, a partir de los datos reales de la provisión y el balance de servicios ecosistémicos forestales, maximizaría su provisión y tendría una influencia significativa a la hora de indicar las estrategias de gestión adaptadas para mantener o aumentar la provisión de servicios deseados (Ananda, J. y Herath, G., 2009; Diaz-Balteiro, L. y Romero, C., 2008; Selkimäki, M. et al, 2020).

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es analizar la provisión de servicios ecosistémicos forestales en Cataluña para posteriormente definir la idoneidad de uso forestal. Con este fin, se tiene que llevar a cabo la selección de variables para la aproximación de la realidad geoespacial, modelar los procesos geoespaciales y representar en un mapa los resultados. La finalidad es utilizar una herramienta innovadora de toma de decisiones multiobjetivo, que cumpla con todos los requisitos a la hora de analizar la complejidad de la realidad geoespacial.

3. Metodología

El área de estudio es la comunidad autónoma de Cataluña. En el análisis entran exclusivamente zonas con cubierta forestal continua y los polígonos que se clasifican como tal en el Mapa Forestal Español (MFE) 1:50000. El estudio se lleva a cabo a dos niveles geoespaciales diferentes: el MFE, para todas las variables espacialmente continuas o con una densidad espacial considerable, y a nivel de municipio, para todas las variables con continuidad espacial menor.

Para la evaluación de los servicios ecosistémicos se ha elegido un conjunto de indicadores a partir de datos disponibles. Cada uno de los servicios ecosistémicos se definió utilizando uno o varios indicadores que describen detalladamente su provisión. En total, definimos 12 servicios ecosistémicos a partir de 32 indicadores.

Los servicios de provisión son productos que se obtienen de los ecosistemas (MEA, 2005). En esta categoría se eligieron 8 indicadores con el fin de definir 3 servicios: provisión de madera, provisión de comida, y provisión de agua. Los indicadores que los definen son: densidad de caminos, coste de tiempo para acceder a cada rodal, la cantidad de biomasa existente, productividad forestal, producción de piñas, producción de corcho, y producción de setas.

Los servicios de regulación son los beneficios que se obtienen a partir de la regulación de procesos ecosistémicos (MEA, 2005). Se definieron 4 servicios ecosistémicos: protección de suelo y regulación de agua, clima, y biodiversidad. Esos servicios se definen a partir de 14 indicadores: densidad de bosques de ribera, cobertura forestal, almacenamiento de CO₂, erosión laminar, movimientos en masa, erosión eólica, riesgo de desertificación, reservas naturales, zonas periféricas de protección, especies amenazadas, hábitats singulares, red Natura 2000, puntos de interés nacional, y parques naturales.

Finalmente, los servicios culturales son los beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, recreación, o experiencias visuales (MEA, 2005). Aquí definimos 4 servicios: turismo, recreación, herencia cultural o sentido de lugar, y valor estético. Se definen a partir de 12 indicadores: índice de belleza paisajística, densidad de senderos, zonas de caza, densidad de población, árboles monumentales, puntos de interés cultural dentro de bosques, alojamiento rural, áreas de camping, centros de información turística

relativos a zonas forestales, puntos de interés nacional, y parques naturales. Adicionalmente, se introdujo una categoría aparte, la de bosques periurbanos, considerando su estatus específico en cuanto a las diferencias a la hora de gestionarlos.

Con el fin de evaluar los servicios ecosistémicos se ha aplicado el sistema EMDS. Se trata de una aplicación para diseñar e implementar la toma de decisiones espaciales basadas en conocimientos específicos en el ámbito medioambiental (Reynolds, K. et al, 2015). Se utiliza este sistema porque cumple con todos los requisitos de obtener los objetivos previamente enumerados. El sistema incorpora software de toma de decisiones y lógicos en el ambiente SIG teniendo capacidades de ejecutar evaluaciones muy abstractas multiobjetivas espaciales. Se utilizó NetWeaver Developer para aproximar lógicamente la realidad espacial. Sus modelos se definen como redes de redes, donde la evaluación de cada red lógica depende de otras redes dentro del mismo árbol jerárquico (Reynolds, K., 2006). Metodológicamente, cada red sin descendientes, es decir, la que se sitúa en el fondo de cada árbol de redes, se denomina la red primaria y corresponde a cada uno de los 32 indicadores de servicios ecosistémicos previamente mencionados. Cada red primaria se interpreta mediante funciones de lógica difusa, donde los valores observados se comparan con las funciones de membresía difusa. Es decir, los valores observados se convierten en una unidad de "fuerza de la evidencia" y se propagan hacia arriba dentro del modelo lógico. Así, cada red dentro del árbol jerárquico resulta afectada por los valores de la "fuerza de la evidencia" de sus descendientes. El rango de valores de cada red, una vez convertidos en la escala de evidencia, se sitúa entre -1 y 1, donde el -1 indica que no hay evidencia y el 1 que la evidencia es máxima. En nuestro caso, el valor -1 indica que los valores observados de un indicador son tan bajos que el indicador no es capaz de proveer el servicio ecosistémico forestal en cuestión. Al contrario, si el valor es 1, los valores de dicho indicador son tan altos que el indicador provee completamente el servicio en cuestión. Los valores entre -1 y 1 se establecen automáticamente mediante reglas de lógica difusa. Los umbrales de valores observados que establecen la posición de corte en la escala de evidencia se definen particularmente para cada indicador tras el análisis de histograma de cada uno (Miller, B. y Saunders, M., 2002). El ejemplo del modelo NetWeaver y un árbol de redes jerárquico se pueden observar en la Figura 1.

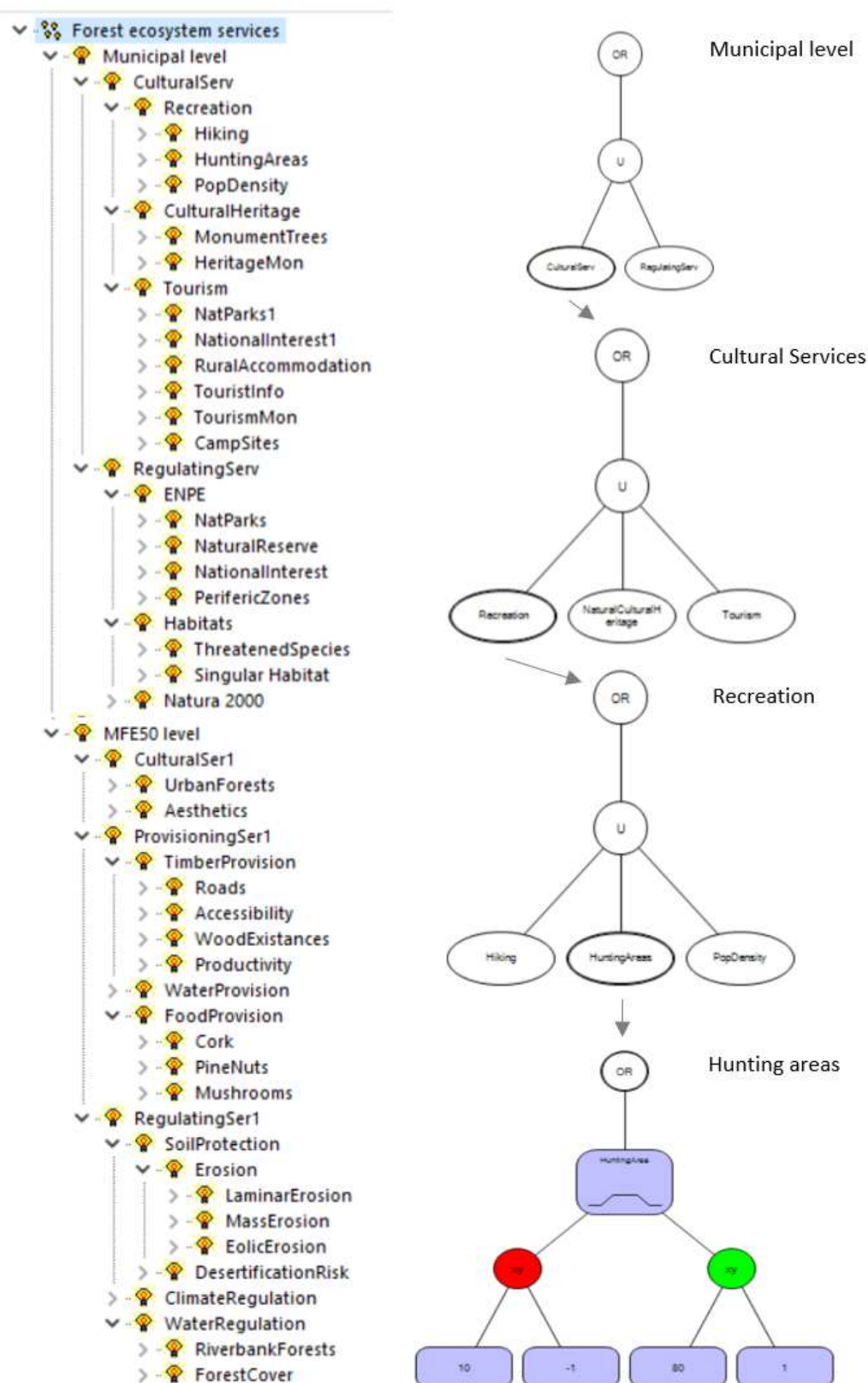


Figura 1. Modelo lógico de NetWeaver para la modelización de la realidad geoespacial. A la izquierda se observa el árbol de redes entero con todas las variables y la estructura jerárquica. A la derecha se muestra detalladamente una red primaria (indicador) y sus ascendentes en el árbol jerárquico.

4. Resultados

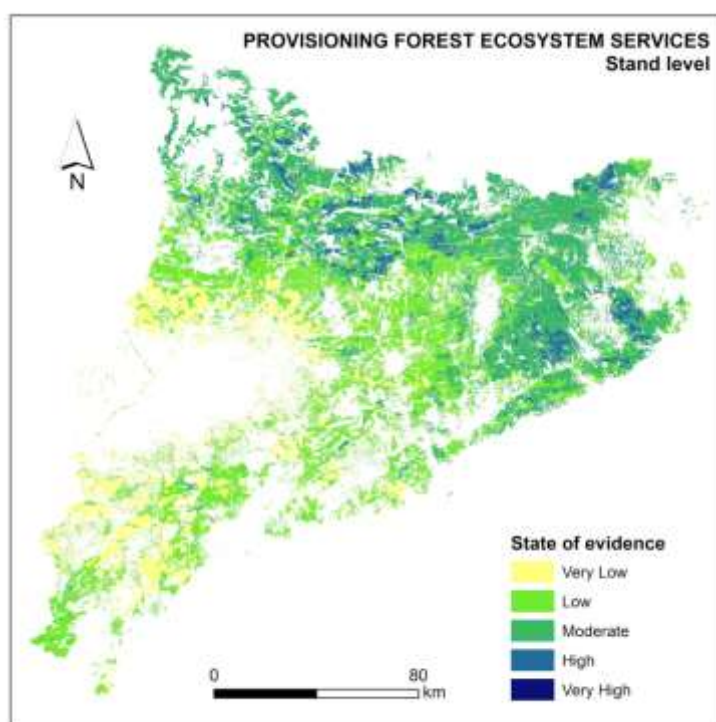


Figura 2. Mapa de evidencia de provisión de servicios ecosistémicos forestales de provisión.

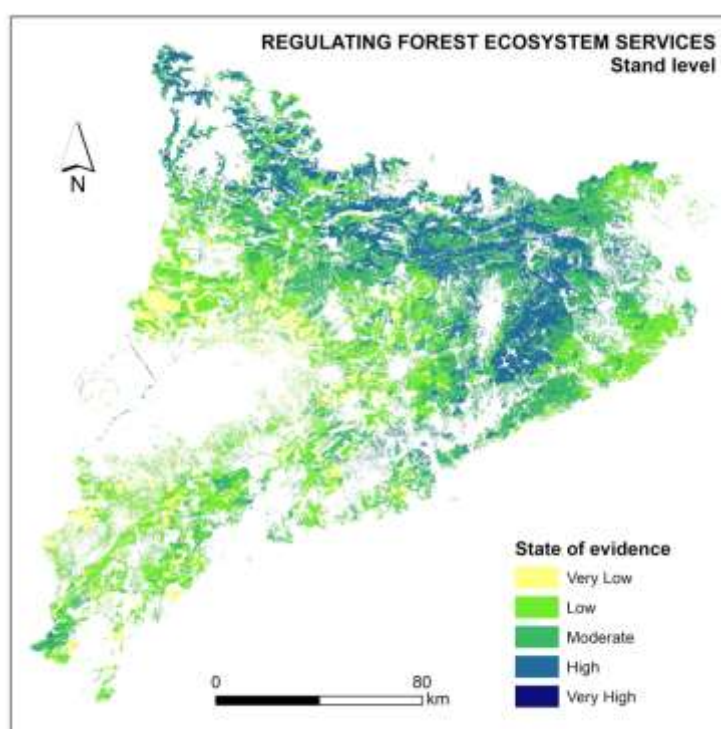


Figura 3. Mapa de evidencia de provisión de servicios ecosistémicos forestales de regulación

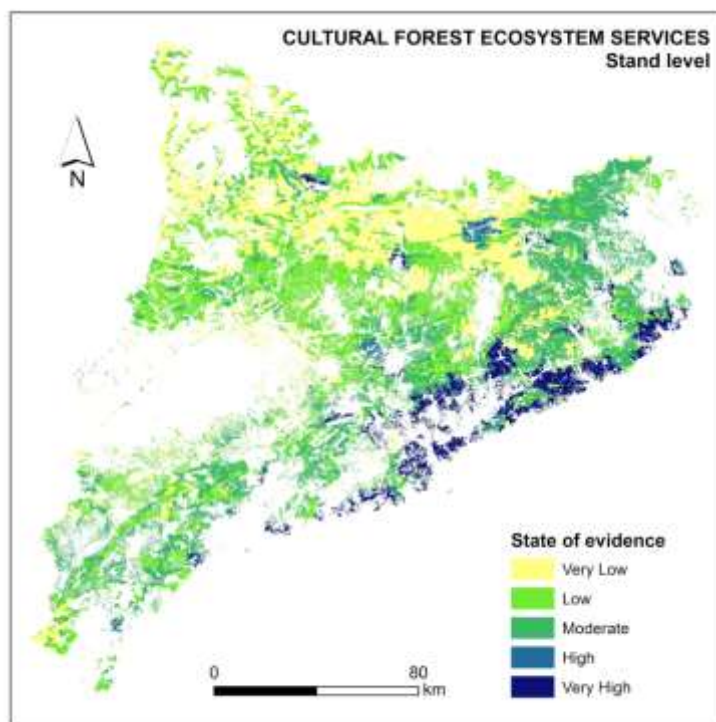


Figura 4. Mapa de evidencia de provisión de servicios ecosistémicos forestales culturales

En las Figuras 2, 3 y 4 se pueden observar los resultados relativos a la distribución espacial de la provisión de cada uno de los grupos de servicios ecosistémicos según MEA. Los resultados se muestran con la resolución espacial del MFE 1:50000 y engloban el conjunto de mapas de evidencia de todos los indicadores correspondientes a cada uno de los grupos de servicios ecosistémicos. Se observa una distribución mayoritariamente irregular, no obstante, se pueden contemplar ciertos patrones espaciales en cada uno de los mapas.

El estado de evidencia de servicios de provisión es muy alto o alto en ciertas zonas del Pirineo ilerdense y gironés, igual que en las zonas boscosas de las comarcas La Selva y Baix Empordà. Esos resultados se deben a valores altos de biomasa y productividad forestal, gran potencial de obtención de productos forestales no madereros y buena accesibilidad por carretera para el aprovechamiento de servicios de producción. La evidencia es muy baja en zonas planas de la provincia de Lleida, que carecen de grandes cantidades de precipitaciones, y el uso de bosques para obtener productos no madereros o acumular el agua es mínimo o nulo.

El estado de evidencia de servicios de regulación es muy alto o alto en casi todo el Pirineo catalán, zona central de la provincia de Girona y en la depresión pre litoral de la provincia de Barcelona. Esos valores corresponden a las zonas con una cobertura forestal densa, bosques con grandes capacidades de almacenamiento de CO₂, o bien a zonas boscosas con pendientes considerables, entre otras. En cambio, dichas características son poco comunes en el sur de Cataluña y en la plana de Lleida, las zonas donde la evidencia es baja o muy baja.

Finalmente, el estado de evidencia de provisión de servicios culturales es muy alto o alto en las zonas costeras, cerca de las ciudades grandes, o correspondiente a ciertos bosques específicos en el interior de Cataluña; pues, se trata de bosques con dominante uso social o recreativo, bosques periurbanos o áreas con el índice de belleza paisajística elevado.

5. Discusión

En este estudio se implementa una nueva metodología en el análisis de servicios ecosistémicos. El sistema EMDS ha sido utilizado hasta hoy en día en diversas aplicaciones

científicas; no obstante, es la primera vez que se usa en la gestión geoespacial de provisión de servicios forestales. Dicho uso tiene como resultado un avance en el análisis de servicios ecosistémicos, obteniendo resultados más exhaustivos y con la resolución espacial más detallada. Se han podido incluir más variables a la hora de definir indicadores que describen la provisión de servicios, en total 32 indicadores, lo cual ha mejorado considerablemente la modelización y aproximación de la realidad geoespacial. También se han podido implementar variables intangibles difíciles de medir, que ha sido posible gracias a las funciones de lógica difusa, obteniendo así un análisis más completo. Finalmente, de esta manera los resultados se pueden seguir utilizando en el mismo programa, profundizando aún más en el marco de estudio de los servicios ecosistémicos forestales, con el fin de definir la alternativa de uso forestal más idónea y, así, ir un paso más allá en la investigación utilizando técnicas innovadoras, nuevos enfoques terminológicos, y dando posibles direcciones y soluciones en cuanto a las estrategias de gestión.

Por otro lado, se tiene que tener en cuenta que los resultados obtenidos dependen directamente de las variables utilizadas, cuyo uso, aplicación en los modelos, e interpretación se basan en el conocimiento y la percepción de la realidad geoespacial y la manera de aproximarla. En este estudio hemos utilizado un enfoque multidisciplinario y objetivo, donde ninguno de los servicios o grupo de servicios tiene prioridad; nos interesa la capacidad real de los bosques de proveer los servicios. Cabe destacar que la unidad utilizada es la escala de la evidencia de provisión, una novedad en la interpretación de servicios ecosistémicos, lo cual permite que los indicadores, los servicios y los grupos de servicios ecosistémicos puedan ser comparados entre sí a diferentes niveles jerárquicos.

6. Conclusiones

Se ha hecho un estudio de servicios ecosistémicos forestales en Cataluña utilizando el sistema EMDS. Los resultados son mapas de evidencia de provisión de servicios. Se observa una distribución espacial irregular, pero siguiendo unos patrones lógicos a la hora de interpretar la evidencia. Los resultados representan la capacidad real de los bosques de proveer beneficios al bienestar humano, y se utilizan posteriormente en la definición de la idoneidad del uso forestal, una nueva variable que debería facilitar la selección de la estrategia de gestión más adecuada para cada zona forestal de Cataluña. A pesar de ser un sistema relativamente nuevo y sin grandes aplicaciones en el ámbito de servicios ecosistémicos, el EMDS se representa como una herramienta completa, facilitando llevar a cabo los análisis geoespaciales multiobjetivos y abordando relativa facilidad la complejidad de la aproximación de la realidad geoespacial.

7. Agradecimientos

Agradecimientos a US Forest Service por participar en este estudio de forma continua y por la enseñanza desempeñada durante las estancias realizadas en la Pacific Northwest Station, Corvallis, Oregón. Las estancias han formado parte del Programa Suforun (Marie Curie Horizon 2020 Staff Exchange). El estudio forma parte del programa de doctorado financiado por la FSE - AGAUR - Generalitat de Catalunya, código 2020FI_B2 00147.

8. Bibliografía

A. J. Castro, B. Martín-López, M. García-Llorente, P. A. Aguilera, E. López, and J. Cabello, "Social preferences regarding the delivery of ecosystem services in a semiarid Mediterranean region," *Journal of Arid Environments*, vol. 75, no. 11, pp. 1201–1208, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.jaridenv.2011.05.013.

Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. 2005.

A. P. García-Nieto, M. García-Llorente, I. Iniesta-Arandia, and B. Martín-López, "Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries," *Ecosystem Services*, vol. 4, pp. 126–138, 2013, doi: 10.1016/j.ecoser.2013.03.003.

J. P. Schägner, L. Brander, J. Maes, and V. Hartje, "Mapping ecosystem services' values: Current practice and future prospects," *Ecosystem Services*, vol. 4, pp. 33–46, 2013, doi: 10.1016/j.ecoser.2013.02.003.

N. D. Crossman, B. Burkhard, and S. Nedkov, "Quantifying and mapping ecosystem services," *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, vol. 8, no. 1–2, pp. 1–4, 2012, doi: 10.1080/21513732.2012.695229.

S. Wang, B. Fu, Y. Wei, and C. Lyle, "Ecosystem services management: An integrated approach," *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, no. 1, pp. 11–15, 2013, doi: 10.1016/j.cosust.2013.01.003.

Y. Hou, B. Burkhard, and F. Müller, "Uncertainties in landscape analysis and ecosystem service assessment," *Journal of Environmental Management*, vol. 127, pp. S117–S131, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2012.12.002.

K. Reynolds, S. Paplanus, B. Miller, and P. Murphy, "Design features behind success of the ecosystem management decision support system and future development," *Forests*, vol. 6, no. 1, pp. 27–46, 2015, doi: 10.3390/f6010027.

C. Lead et al., "Forest and Woodland Systems," *Area*, 2000.

J. Ananda and G. Herath, "A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning," *Ecological Economics*, vol. 68, no. 10, pp. 2535–2548, 2009, doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.05.010.

L. Diaz-Balteiro and C. Romero, "Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment," *Forest Ecology and Management*, vol. 255, no. 8–9, pp. 3222–3241, 2008, doi: 10.1016/j.foreco.2008.01.038.

M. Selkimäki, J. R. González-Olabarria, A. Trasobares, and T. Pukkala, "Trade-offs between economic profitability, erosion risk mitigation and biodiversity in the management of uneven-aged *Abies alba* Mill. stands," *Annals of Forest Science*, vol. 77, no. 1, 2020, doi: 10.1007/s13595-019-0914-z.

K. M. Reynolds, "EMDS 3.0: A modeling framework for coping with complexity in environmental assessment and planning," *Science in China, Series E: Technological Sciences*, vol. 49, no. SUPPL. 1, pp. 63–75, 2006, doi: 10.1007/s11431-006-8108-y.

B. Miller and M. Saunders, "NetWeaver Reference Manual," no. September 2002, p. 127, 2006.