i-Tree Eco como motor de innovación en el ACV de biomateriales forestales para la construcción

Garnica Muñoz, Teresa[1]; Montilla Moreno, Soledad[1]; Abad Garrido, Belén[2]; Tenorio Ríos, José Antonio[3]; Conde García, Marta[1*] ~ *marta.conde@uco.es

[1] Universidad de Córdoba · [2] Maderia - Sociedad Española de la Madera · [3] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja - CSIC

Introducción

La madera se ha utilizado desde la antigüedad como material de construcción por sus propiedades estructurales y su disponibilidad. En España, numerosos edificios históricos emplearon madera aserrada en muros, forjados y cubiertas (Trobajo, 2008). Sin embargo, a partir del siglo XX la madera perdió su predominio en el sector de la construcción, sustituida progresivamente por materiales como el hormigón y el acero. Hoy la madera ofrece una oportunidad renovada para el sector, impulsada por la necesidad de reducir su impacto ambiental (Gosselin et al., 2016).

En la Península Ibérica, cuatro de las principales especies empleadas en construcción son el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), el pino marítimo (*Pinus pinaster* Ait.), el pino laricio (*Pinus nigra* Arn.) y el castaño (*Castanea sativa* Mill.) (Conde et al., 2021). Estas especies se clasifican para uso estructural conforme a la norma EN 1912 (Madera estructural — Clases resistentes — Asignación de calidades visuales y especies). No obstante, a pesar de su relevancia en la construcción, persisten importantes carencias en la caracterización de su desempeño ambiental como biomateriales forestales. Como resultado, los análisis comparativos frente a materiales de construcción de origen no biológico no logran captar todo su potencial para reducir el impacto ambiental del sector de la edificación y mitigar el cambio climático.

Otra limitación es que la metodología más utilizada, la norma EN 15804, no contempla el conjunto de beneficios ambientales que la madera aporta durante su crecimiento. Los servicios ecosistémicos, que van más allá del simple almacenamiento de carbono, pueden cuantificarse e integrarse para ofrecer una evaluación más completa de los impactos y beneficios ambientales del uso de biomateriales forestales en construcción. Además, los indicadores de impacto como los de la EN 15804 resultan difíciles de interpretar para actores no expertos. Para superar esta brecha, se aplica el marco Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators and Methods (GLAM), desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que incorpora indicadores más fácilmente interpretables y comprensibles, facilitando la comunicación de los resultados a los usuarios finales.

Este trabajo caracteriza el desempeño ambiental de estas cuatro especies, poniendo esta información a disposición de arquitectos, ingenieros y prescriptores para su incorporación en las primeras fases del diseño de edificios. Al contabilizar los servicios ecosistémicos incorporados en los biomateriales forestales, se contribuye a reducir el impacto ambiental de los edificios a lo largo de todo su ciclo de vida.

Resultados clave

Carbono almacenado en raíces +13,0 (media pinos) / +80,4 (castaño) kg C/m³

El carbono radicular supone un incremento sobre el carbono almacenado en la biomasa aérea de +7,4% (media pinos) a +48,0% (castaño).

Salud humana −0,0087 DALY/m³

Años de vida sana perdidos evitados por m³: el CO_2 (compensación fósil + secuestro LULUC radicular), SO_2, PM2,5 y NOx eliminados de la atmósfera aportan ≈3,18 días de vida sana

Potencial de acidificación (AP) −3,71 (media pinos) / −2,34 (castaño) $molH^+$-eq/m³

La capacidad de determinados gases y compuestos químicos de contribuir a la formación de lluvia ácida, afectando a los ecosistemas terrestres y acuáticos

POTENCIAL DE MITIGACIÓN DE GWP POR LAS RAÍCES

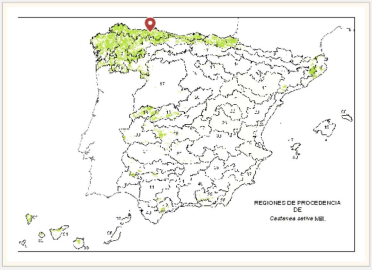
294,85% *C. sativa* ~ 47,68% media *Pinus* spp

Metodología

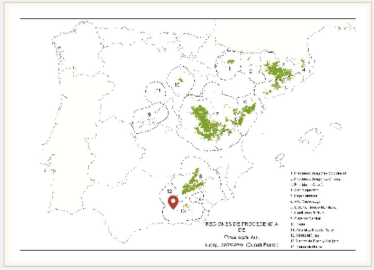
Este estudio caracteriza el desempeño ambiental de la madera en rollo de las cuatro especies forestales más empleadas en España para la fabricación de productos de construcción: castaño (*Castanea sativa* Mill.), pino laricio (*Pinus nigra* Arn.), pino marítimo (*Pinus pinaster* Ait.) y pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), procedentes de sus zonas de aprovechamiento más representativas — Mieres (Asturias), Jódar (Andalucía), Lugo (Galicia) y Burgos (Castilla y León), respectivamente. Utilizando el turno de corta y el diámetro final de cada especie, junto con datos meteorológicos y de calidad del aire de dichas localidades, se empleó la herramienta i-Tree Eco para cuantificar los servicios ecosistémicos (SE) de eliminación de carbono, SO_2, NO_2, PM2,5 y PM10.

La Universidad de Córdoba, junto con los socios de la Unidad Mixta UCO–CSIC en Bioconstrucción, ha desarrollado un modelo para calcular el potencial de mitigación de impacto de los biomateriales forestales: el BioCons Impact Compensation Model. En el marco de BioCons ICM, estos valores de SE se aplicaron para evaluar el potencial de mitigación de impacto de estos biomateriales forestales. Finalmente, a partir de los mismos datos de SE obtenidos mediante i-Tree Eco, se calcularon los indicadores endpoint de GLAM (UNEP Life Cycle Initiative) para facilitar la transferencia de los resultados al público general.

(1) Mieres (Asturias) para castaño

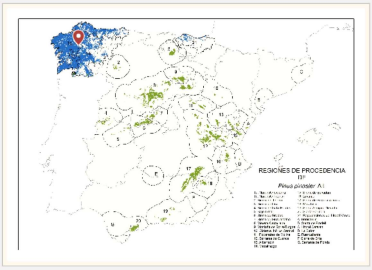


(2) Jódar (Andalucía) para pino laricio

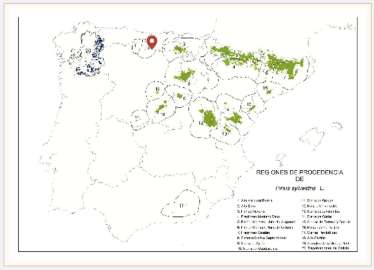


DAP: 40 cm · Turno de corta: 100 años · Densidad básica: 480 kg/m³ · C: 48,0% · Superficie foliar: 0,2 ha DAP: 40 cm · Turno de corta: 100 años · Densidad básica: 485 kg/m³ · C: 50,9% · Superficie foliar: 1,2 ha

(3) Lugo (Galicia) para pino marítimo



(4) Burgos (Castilla y León) para pino silvestre



DAP: 35 cm · Turno de corta: 50 años · Densidad básica: 435 kg/m³ · C: 51,1% · Superficie foliar: 1,2 ha DAP: 40 cm · Turno de corta: 80 años · Densidad básica: 430 kg/m³ · C: 50,9% · Superficie foliar: 1,2 ha

El tesoro escondido: el carbono radicular

El carbono total almacenado combina dos componentes, cada uno con un papel distinto bajo la EN 15804: el componente biogénico capta el CO_2 fijado en la biomasa aérea (tronco, ramas, hojas) mediante el indicador estándar de GWP biogénico, mientras que el componente LULUC capta el CO_2 fijado en la biomasa subterránea (raíces) ampliando el indicador GWP_{LULUC} — un indicador que, en la práctica habitual, no está diseñado para registrar el carbono radicular. Al reutilizar GWP_{LULUC} para esta función, BioCons ICM otorga valor a la fracción de carbono radicular que el método estándar EN 15804 dejaría de otro modo imperceptible, incrementando el carbono total almacenado entre +7,4% (media pinos) y +48,0% (castaño) respecto al total aéreo solo.

Resultados

Flujos de SE cuantificados a lo largo del turno

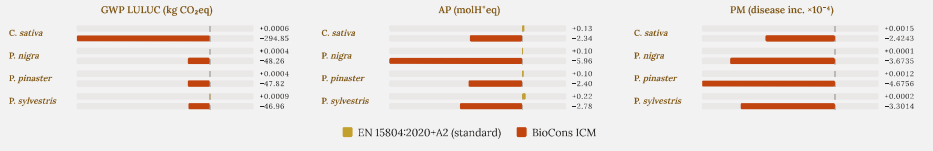
Tabla 1. Mapa de calor por especie

Especie	Origen biogénico	LULUC	Acidificación (AP)		Material particulado (PM)			
	C biog. kg C/m³	C LULUC kg C/m³	NO_x AP kg/m³	SO_2 AP kg/m³	NO_x PM kg/m³	SO_2 PM kg/m³	PM2,5 kg/m³	PM10 kg/m³
C. sativa	167.42	80.38	1.3285	0.9987	1.3285	0.9987	0.5559	1.6300
P. nigra	171.50	13.15	4.9259	1.5260	4.9259	1.5260	0.2525	5.8517
P. pinaster	188.63	13.03	2.1197	0.5759	2.1197	0.5759	0.3163	6.8503
P. sylvestris	167.63	12.80	2.3734	0.7885	2.3734	0.7885	0.3584	4.0897

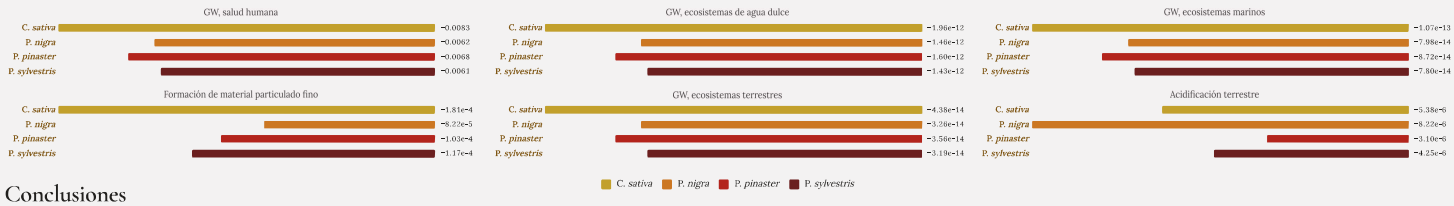
0% 20% 40% 60% 80% 100%

Cada celda muestra el valor absoluto del flujo de SE (kg/m³ de madera en rollo); el color se normaliza dentro de cada columna, del más claro (valor más bajo entre las cuatro especies) al más oscuro (más alto), de modo que el sombreado compara especies dentro de un mismo indicador y no entre indicadores.

EN 15804 vs BioCons ICM *(indicadores midpoint)*



Contribución de los SE a las categorías de impacto GLAM *(indicadores endpoint)*



Conclusiones

Este trabajo amplía el alcance de **i-Tree Eco** más allá de la gestión forestal urbana, posicionándolo como una herramienta clave para evaluar la **sostenibilidad de los biomateriales forestales de construcción**.

i-Tree Eco abre la puerta a la **prescripción técnica fundamentada en servicios ecosistémicos**, demostrando que **arquitectos, ingenieros y prescriptores** pueden incorporar ahora el desempeño ambiental completo de los biomateriales forestales en el diseño de edificios.

QR