9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL
2025 | 16-20 GIJÓN | JUNIO

Un visualizador cartográfico para la determinación de la clase de uso de la madera en aplicaciones de exterior y semiexterior en España

FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I. (1), CONDE GARCÍA, M. (1), CONDE GARCÍA, M. (2), GARNICA MUÑOZ, J. (2) y MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. (1)

(1) Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-INIA-CSIC)
(2) Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba

Resumen
Empleando los datos de viento, precipitación, temperatura y humedad medios diarios suministrados por la AEMET para el periodo 2011-2021 en todas las estaciones climáticas nacionales, se han calculado datos relevantes referidos a la dirección de los vientos de lluvia en cada estación, al índice Scheffer, al índice de Riesgo de Degradación y Agrietamiento (RDA) así como otros necesarios para el cálculo de la clase de uso con la herramienta MADEXTER publicada por el ICIFOR (Fernández-Golfin *et al*, 2018).
Esta nueva herramienta online permitirá a cualquier proyectista determinar en cualquier punto de la geografía nacional (peninsular e insular, incluyendo Ceuta y Melilla) los datos necesarios para la optimización de su diseño en madera y orientarle respecto de la selección de la madera más adaptada a la función y ubicación, así como del mejor tratamiento posible para conseguir la durabilidad de la solución adoptada.

Palabras clave
Construcción con madera, madera, durabilidad, MADEXTER, visualizador cartográfico.

1. Introducción

Desde las primeras décadas del siglo XXI, la madera está ocupando una mayor presencia en el sector de la construcción, en parte, debido al gran elenco de productos innovadores en base madera desarrollados por la industria, tales como el tablero contralaminado, la madera microlaminada, los tableros mixtos y la madera laminada, entre otros. Por otra parte, la creciente demanda que experimenta la madera por la mejora de la sostenibilidad en el sector conduce a un aumento en el empleo de materiales naturales, renovables y mejor adaptados al uso, que ayudan a reducir la huella ambiental del proceso edificatorio.

Se observa en muchos casos que la madera ha sido incorporada a las diferentes soluciones constructivas con un escaso conocimiento del material, empleando para ello las mismas reglas utilizadas con el hormigón, el acero o los materiales cerámicos. La carencia de diseños específicos para las soluciones constructivas con madera ha puesto en riesgo, en muchos casos, la durabilidad de las soluciones adoptadas, lo que ha conducido a rehabilitaciones tempranas, con el consiguiente consumo de recursos y generación de impactos ambientales.

Las preocupaciones ambientales, de salud y seguridad han llevado a muchos gobiernos a regular el uso de protectores químicos de la madera. Las familias más antiguas de productos (p. ej. sales CCA), utilizadas en la industria durante décadas, fueron retiradas del mercado en algunas áreas geográficas bajo la influencia de tales regulaciones y sustituidas por nuevas formulaciones, en general menos eficaces. Entre estas normativas es necesario señalar muy especialmente la Directiva Europea 98/8/CE relativa a biocidas, publicada en 1998 (DOUE-L-1998-80690) y posteriormente modificada por el Reglamento (UE) nº 528/2012, que establece la

creación de un Registro único y un estricto sistema de aprobación de las sustancias activas. Es precisamente este carácter restrictivo hacia el uso de protectores químicos de la madera el que ha hecho ganar interés sobre un aspecto casi hasta entonces olvidado: el diseño constructivo.

La durabilidad de la madera y sus productos derivados presentes en una edificación depende en gran medida del microclima al que se enfrentan en servicio. Por tanto, la predicción de la vida útil requiere el conocimiento de dicho microclima, lo que obliga, a su vez, a conocer aspectos tales como el macroclima propio de la localidad geográfica en la que la edificación se sitúa, el mesoclima propio de la ubicación concreta en la que el edificio se ubica y los aspectos del diseño que hacen que el clima en contacto directo con el material (microclima) sea como es.

El conocimiento sobre el comportamiento de los productos de la madera en el interior de los edificios hace que sea fácil establecer las bases de un modelo probabilístico basado en el empleo de límites de servicio cuando la madera es empleada al interior de edificios dotados de envolvente térmica e incluso sin ella, pero no sometidos a la presencia de condensaciones. No ocurre lo mismo cuando se trata de establecer las bases del cálculo para el diseño de soluciones al exterior, en las que hace acto de presencia la lluvia. En este último caso son muchos los factores climáticos, de comportamiento del material y de diseño que es necesario integrar para conocer tanto las acciones que gravitan sobre el material y que le pueden llevar a su degradación como la resistencia biológica que el material realmente tiene en servicio (Conde Garcia, M., 2023).

Con el presente trabajo se ponen a disposición del proyectista todos los datos necesarios relacionados con el clima del material para que pueda evaluar su diseño empleando la herramienta MADEXTER (Fernández-Golfin y Peraza, 2017).

2. Objetivos

El principal objetivo del trabajo radica en aportar datos relacionados con la afectación climática de todo producto de madera ubicado en una construcción, tanto en condiciones de uso exterior como semiexterior, que cualquier proyectista pueda necesitar para caracterizar la solución de diseño y prescripción adoptadas. Así, en el presente trabajo se recogen valores locales del índice Scheffer y del índice de lluvia batiente para condiciones de uso exterior, junto con el valor del índice de Riesgo de Deformación y Agrietamiento (RDA) para condiciones de uso semiexterior, obtenidos todos ellos para cada localidad nacional, a través del empleo de las bases de datos climáticos de AEMET para el periodo 2011-2021 (ambos incluidos). Adicionalmente se incluyen los valores calculados de los índices de exposición exterior y semiexterior, de utilidad para su uso con la herramienta de asignación paramétrica de las clases de uso MADEXTER (Fernández-Golfin y Peraza, 2017).

Un objetivo secundario del presente trabajo consiste en presentar todos estos datos haciendo uso de un visualizador cartográfico online, que permita de forma fácil y sencilla caracterizar climáticamente cada localidad nacional y el *riesgo* asociado al diseño con madera, ayudando al proyectista a optimizar el diseño adoptado y/o a prescribir adecuadamente los productos de madera en base a la demanda climática que gravita sobre ellos.

3. Metodología

Una vez solicitadas y utilizando las bases de datos climáticas para el periodo 2011-2021 (ambos incluidos), correspondientes a todas las estaciones climáticas nacionales (en total 836) con valores medios diarios de dirección de viento, velocidad del viento,

precipitación, temperatura y humedad relativa, se procedió al cálculo de las variables más abajo detalladas en cada una de las estaciones consideradas:

1) Variables primarias. Se trata del conjunto de variables obtenidas directamente de los valores medios diarios suministrados por AEMET. Estas variables fueron:
   a) Velocidad del viento (VEL.vientoms). Valor calculado de la velocidad del viento, en m/s, a partir del recorrido del viento entre las de 00 y las 24h (REC24).
   b) Dirección del viento (Dir.viento). Se asignó como dirección diaria del viento al valor dado para la dirección del viento a las 13 h, en grados (DIR_13).
   c) Precipitación (P). Valor acumulado diario, en mm (P24).
   d) Temperatura (Tmed). Valor dado para la temperatura media diaria, en ºC (TMED).
   e) Humedad relativa (HR). Se asignó como valor medio diario de la humedad relativa, en %, al valor dado para la Humedad Relativa medido a las 13h (HU13).
2) Variables secundarias. Con los valores de las variables primarias anteriores, se calcularon los valores medios diarios, mensuales, anuales y para el periodo 2011-2021 (ambos años incluidos). Las variables así calculadas fueron:
   a) Octante (Oct). Se asignó el octante de dirección diaria del viento en función del valor del rumbo de la dirección del viento (Dir.viento), de acuerdo con la siguiente tabla:

Rumbo en grados	Octante
338-22	**N**
23-67	**NE**
68-112	**E**
113-157	**SE**
158-202	**S**
203-247	**SW**
248-292	**W**
293-337	**NW**

Nota: la denominación de octantes se realizó en sentido contrahorario (S-N será por la derecha y N-S será por la izquierda)

   b) Índice de lluvia media batiente anual (IA), calculado para cada año mediante la expresión
$$IA = \sum_{1}^{365} \left(\frac{2}{9} * \left((Vms) * (P)^{\left(\frac{8}{9}\right)}\right)\right)$$
, de acuerdo con lo establecido en la norma ISO15927-3.
   c) Índice de lluvia media batiente anual (daDRI), calculado anualmente mediante la expresión $daDRI = \sum_{1}^{365}(Vms * P)$.
   d) Oct1, octante en el que se produce el máximo valor acumulado medio anual de la IA en el periodo.
   e) Día de Precipitación (DP). Se consideró día de precipitación (asignando el valor de 1) a aquél en el que el valor de la precipitación diaria (P) era igual o superior a 0,2 mm. Valores inferiores a 0,2 mm llevaron a considerar el día como día como de no precipitación y, por tanto, a asignar a DP un valor de 0.
   f) OV, octante en el que se produce el máximo valor medio de la velocidad del viento de lluvia (se consideran solo los valores de Oct correspondientes a los días de lluvia, es decir con DP=1).
   g) OP, octante que da la máxima precipitación acumulada media anual durante el periodo.
   h) C50, cuadrante de dirección de vientos de lluvia (dos octantes contiguos) en el que se genera un % de IA superior o igual al 50% del total anual.
   i) S70, semicírculo por adición de dos cuadrantes contiguos para el que la IA representa un % superior o igual al 70% del total anual.

El reparto de octantes (a, d, f, y g), cuadrantes (h) y semicírculos (i) según rumbos quedaría como sigue:

Rumbo en grados	Octante	Cuadrante		Semicírculo	
338-22	**N**	**SW-SE**	S+SE+SW	**W-E**	E+W+S+SE+SW
23-67	**NE**	**SE-NE**	E+NE+SE	**S-N**	E+N+NE+S+SE
38-112	**E**	**NE-NW**	N+NE+NW	**SE-NW**	E+N+NE+NW+SE
113-157	**SE**	**NW-SW**	NW+W+SW	**E-W**	E+N+NE+NW+W
158-202	**S**	**W-S**	W+S+SW		
203-247	**SW**	**SE-E**	E+S+SW		
248-292	**W**	**E-N**	E+N+NE		
293-337	**NW**	**N-W**	N+NW+W		

j) Valor medio diario del contenido de humedad para la condición de bajo cubierta (CH), calculado mediante el uso de la expresión CH=((-(Tmed+273)*LN(1-(HR/100)))/(0,13*((1-((Tmed+273)/647,1))^(-6,46))))^(1/(110*((Tmed+273)^(-0,75))))), de acuerdo con lo establecido por Zuritz *et al* (1979) y Avramidis (1989). Con el valor diario se calculan los valores medios mensuales (CHMES), anuales y del periodo (CHMED).

k) Número medio anual de meses con valor de CHMES menor o igual que 10% (N10).

l) Número medio anual de meses con valor de CHMES mayor o igual que 18% (N18).

m) Riesgo de Deformación y Agrietamiento (RDA), calculado anualmente como la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de CHMES.

n) Índice Scheffer (IS), calculado mensualmente mediante la expresión

$$IS = \sum_{ene}^{dic} \frac{(T_{med-2)*(DP-3)}}{16,7}$$

, de acuerdo con lo establecido por Fernández-Golfin *et al* (2016).

o) I_{s0ext}, valor del índice de exposición básica para la condición exterior, calculado como media de los valores anuales del índice Scheffer (IS) durante el periodo y considerando la siguiente tabla de asignación:

Valor calculado del índice Scheffer (IS)	Calificación de la estación	Índice de exposición básica exterior *Is0_ext*
***IS*≤35**	**Seca**	**3**
***35< IS*≤70**	**Húmeda**	**3,3**
***70< IS*≤100**	**Muy húmeda**	**3,5**
IS>100	**Extremadamente húmeda**	**3,7**

p) I_{s0_se}, valor del índice de exposición básica para la condición semiexterior (bajo cubierta), calculado como media de los valores anuales de CHMED, CHMES, N10 y N18, considerando la siguiente tabla de cálculo (Fernández-Golfin *et al*, 2018):

Valor CHMED	Puntuación	Valor CHMES	Puntuación (por mes)	*Is0_se*
≤12%	1	≤10%	-0,15 (*N10)	Suma
12%<CHMED≤18%	2	≥18%	0,3 (*N18)	Suma
>18%	3			

El visualizador cartográfico ha sido generado en la plataforma en la nube de la Empresa ESRI conocida como ArcGIS Online o AGOL (ESRI, 2024). Para ello primero se han elaborado unos mapas básicos con las capas correspondientes en el Sistema de Información Geográfica de escritorio ArcGIS Pro de ESRI, y desde allí se han compartido o publicado los servicios REST alojándolos directamente en los servidores de AGOL. A partir de estos servicios se han generado los mapas web (webmaps) utilizando la herramienta *Map Viewer*. Estos mapas web son los que se han incluido en la aplicación final que ha sido elaborada con el constructor interactivo "*Experiencie Builder*" de AGOL utilizando sus plantillas, widgets, herramientas y elementos de diseño disponibles.

4. Resultados

Los mapas o representaciones visuales de las variables geoclimáticas calculadas de cada estación climática (apartado 3) se pueden consultar en el visualizador cartográfico mediante la siguiente URL o enlace, y código QR:

https://experience.arcgis.com/experience/3fa031ae706b4edb87ad9e887c7243cd (ver QR).

Más adelante se habilitará un duplicado de esta aplicación alojado en un servidor institucional del INIA cuya URL es https://gis.inia.es/madexter y que será el enlace oficial para la divulgación. En el momento de redacción de esta publicación no ha sido posible tenerlo habilitado por problemas técnicos.

Esta aplicación, aunque puede consultarse desde móviles, está diseñada actualmente para visualizarse principalmente en pantallas grandes o medianas (ordenadores y tablets). Más adelante se pretende realizar una versión optimizada para visualizarse en pantallas más pequeñas de móvil, y que se cargará de forma automática siempre y cuando la aplicación se consulte desde uno de estos dispositivos.

El visualizador está organizado en dos paneles o sub-visualizadores, cuyas capas están sincronizadas para que se muestre la misma extensión cada vez que el usuario se desplace, se acerque o aleje en uno de ellos, facilitando así su comparación inmediata. El panel de la izquierda está dedicado a los índices o variables de utilidad para la construcción y arquitectura y el panel de la derecha a la orientación de los vientos húmedos dominantes.

El usuario pinchando en cada punto o estación meteorológica puede consultar mediante una ventana emergente los valores de las variables descritas en el apartado 3. En los paneles de los extremos se pueden activar o desactivar las capas de visualización que se deseen y consultar la leyenda. En cada uno de los mapas se dispone de herramientas o widgets para hacer búsqueda por nombres o topónimos, localizar en la posición actual, cambiar los mapas base (por defecto aparece el mapa topográfico de fondo), hacer mediciones, zoom, navegar por extensiones, etc.

En la Figura 1 quedan representados los puntos correspondientes a cada una de las estaciones peninsulares y de las Islas Baleares (panel izquierdo del visualizador). En la Figura 2 quedan representados con flechas los cuadrantes de las direcciones de los vientos dominantes de lluvia (C50), por estación (Península y Baleares) y que se corresponde con el panel derecho.

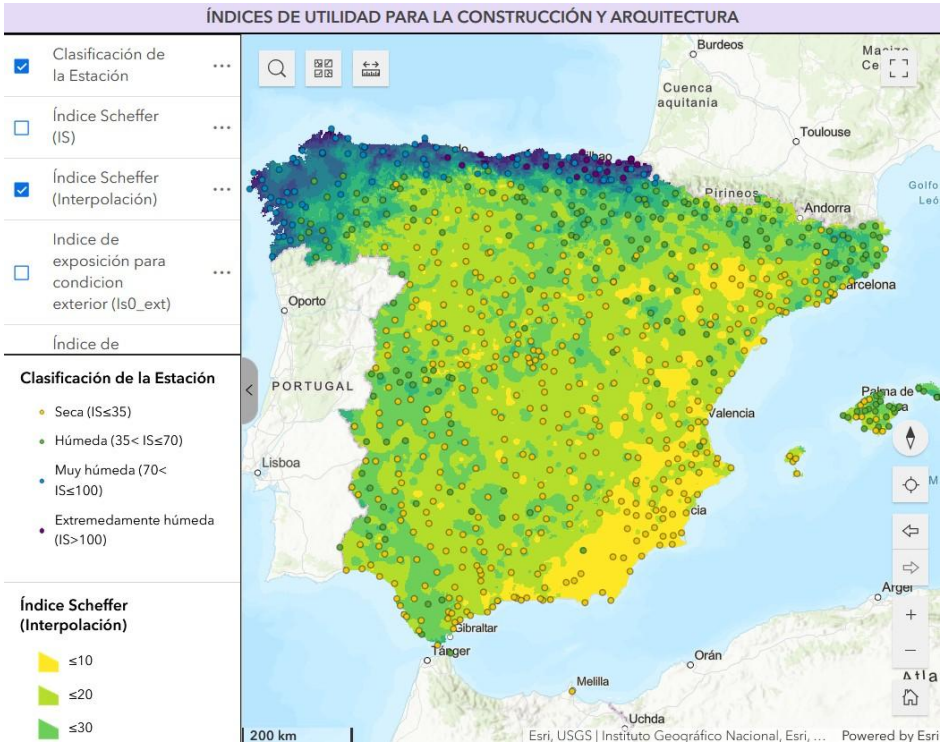

Figura 1. Panel de visualización de datos por estación (Península y Baleares)

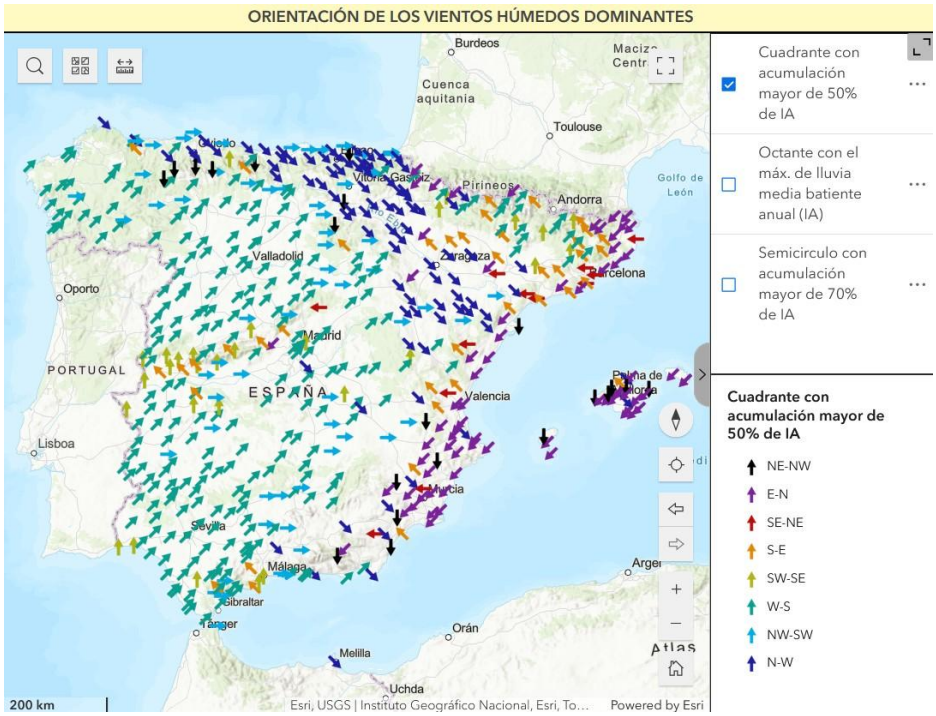

Figura 2. Panel de visualización del cuadrante de dirección de vientos de lluvia (C50), por estación (Península y Baleares)

Idénticas figuras se tienen para las estaciones correspondientes a las Islas Canarias.

En el caso de necesitar obtener los datos correspondientes a una estación no contenida en los visores anteriores, no se recomienda proceder directamente a interpolar los datos de estaciones más próximas sin comprobar previamente que las estaciones de interpolación corresponden a ubicaciones con la misma orientación y altura geográficas que las de la ubicación en estudio. Por tanto, para una estación no considerada en los visores anteriores se interpolarán los valores de las estaciones climáticas más cercanas que tengan la misma altura y orientación geográfica.

5. Conclusiones

El trabajo efectuado permite aportar de forma gráfica e interactiva el conjunto de datos climáticos (clima geográfico y clima del material) de carácter local que pueda necesitar cualquier prescriptor de madera y productos derivados para asignar las clases de uso de la norma UNE-EN 335 y, con ello optimizar el diseño de las soluciones constructivas empleadas, la prescripción de la familia técnica de producto más adecuada y el tratamiento químico complementario que, en su caso, fuera necesario aplicar.

Los datos aportados para las direcciones dominantes de lluvia permitirán, así mismo, efectuar las evaluaciones del comportamiento del material y de las soluciones constructivas adoptadas tomando en consideración las orientaciones geográficas, lo que resultará de especial utilidad en el caso de fachadas y carpintería exterior.

6. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Agencia Estatal de Meteorología del Gobierno de España (AEMET), el suministro de los datos medios diarios de dirección del viento, precipitación total, temperatura y humedad relativa, para el periodo 2011-2021 (ambos años incluidos), correspondientes al conjunto de las estaciones climáticas nacionales. El suministro de dichos datos se produjo el 17/3/2022 en el seno del expediente 990220357.

7. Bibliografía

AVRAMIDIS S. (1989). Evaluation of “three-variable” models for the prediction of equilibrium moisture content in wood. Wood Sci and Technol. 23:251-258. http://dx.doi.org/10.1007/BF00367738.

CONDE GARCÍA, M. (2023). Evaluación del comportamiento funcional de la madera maciza en condiciones de uso exterior. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Forestal, Programa de doctorado de Biociencias y Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Córdoba. https://helvia.uco.es/handle/10396/26015.

ESRI; 2024. Environmental Systems Research Institute. Inc. Redlands, CA, USA. https://www.esri.es.

FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I., LARRUMBIDE, E., RUANO, A., GALVÁN, J., CONDE, M., (2016). Wood decay hazard in Spain using the Scheffer index: proposal for an improvement. Eur. J. Wood Prod., 74 (4): 591-599. https://doi.org/10.1007/s00107-016-1036-z

FERNÁNDEZ-GOLFÍN JI.; PERAZA, F.; (2017). Herramienta para la asignación de clases de uso de la norma UNE EN 335. Boletín AITIM. 2017 (308):70-76. https://infomadera.net/modulos/publicaciones.php?id=380

FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO JI.; PERAZA SÁNCHEZ, F.; TOUZA VÁZQUEZ M.; ARRIAGA MARTITEGUI F. (2018). Guía para la asignación de clases de uso y de servicio a los productos de la madera. Monografía INIA Serie Forestal nº 30. 95 pp. España. ISBN: 978-84-7498-582-5. https://cpage.mpr.gob.es/producto/guia-para-la-asignacion-de-clases-de-uso-y-de-servicio-a-los-productos-de-la-madera/

UNE-EN ISO 15927-3: 2011. Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y de lluvia. Asociación Española de Normalización, UNE.

ZURITZ, C.; SINGH, R.P.; MOINI, S.M.; HENDERSON, S.M. (1979). Desorption isotherms of rough rice from 10°C to 40°C. Trans ASAE 22:433-440.