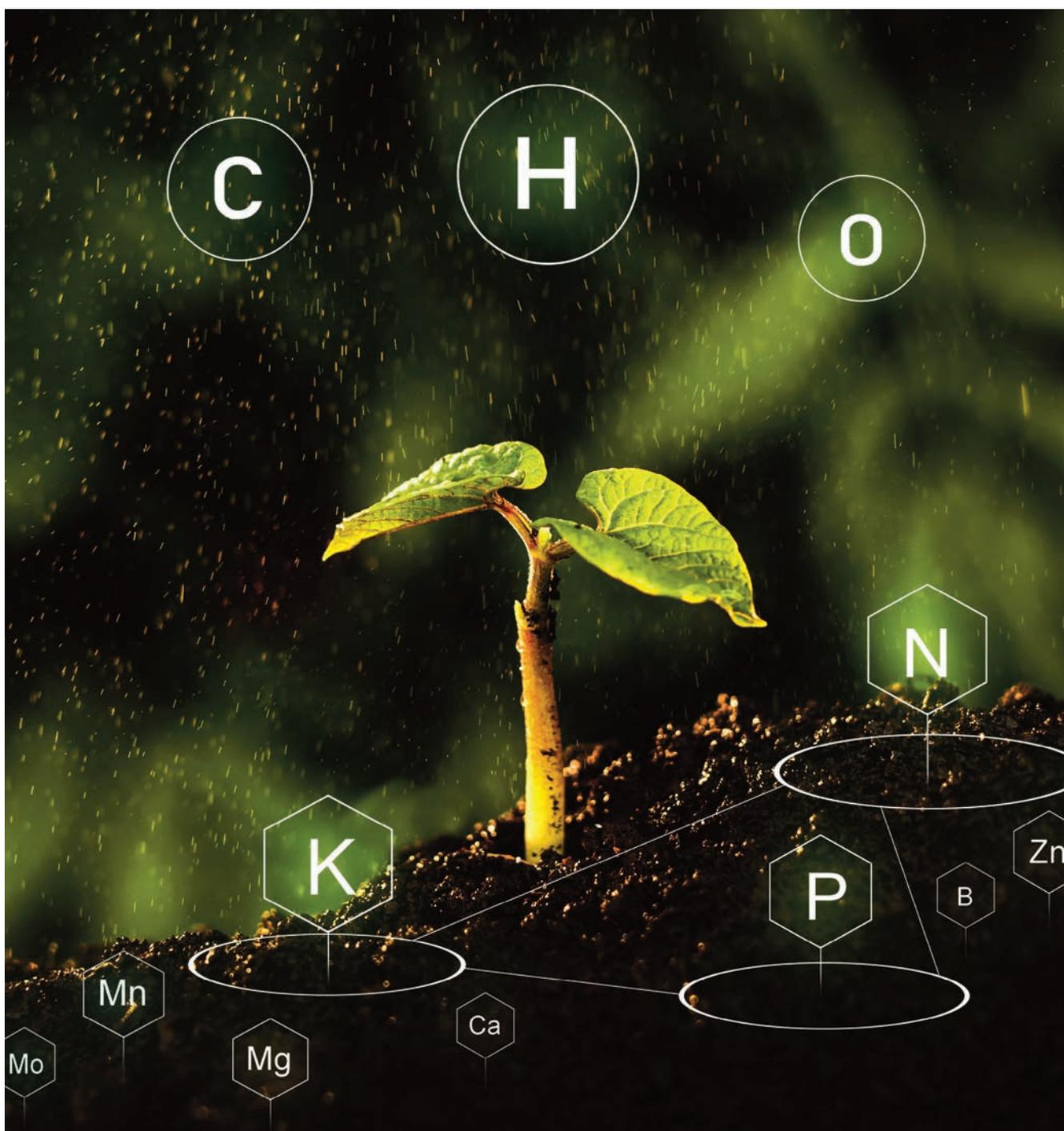


# Analítica aplicada a la viabilidad del hidrógeno: caso de estudio

*“Lo que se puede medir, se puede gestionar”*  
Peter Drucker<sup>65</sup>



## **Caso de estudio: selección de la ubicación óptima para proyectos de hidrógeno**

En esta sección se presenta un caso práctico centrado en la identificación y selección de ubicaciones óptimas en proyectos de hidrógeno. La implementación de este modelo proporciona a los actores del mercado del hidrógeno la capacidad de evaluar con precisión las ventajas y desventajas de diferentes ubicaciones para la producción de hidrógeno renovable, lo que facilita una toma de decisiones más informada y robusta.

### **Introducción del modelo**

La Cátedra de Estudios sobre el Hidrógeno de la Universidad Pontificia de Comillas (ICAI-ICADE), y de la que Management Solutions es patrono, ha desarrollado una aplicación basada en herramientas GIS<sup>66</sup> (Sistemas de Información Geográfica) que permite analizar bajo diferentes criterios la ubicación óptima de emplazamientos para la construcción de proyectos de hidrógeno renovable.

La aplicación permite calcular un índice de compatibilidad de H<sub>2</sub> que puntúa la idoneidad de los emplazamientos. El caso de uso que se desarrolla a continuación se ha realizado sobre España, pero esta tecnología sería aplicable en cualquier región, lógicamente supeditada a la disponibilidad de la información necesaria o con la necesaria adaptación de las variables a evaluar en su defecto.

En primer lugar, se ha dividido el mapa de España por cuadrículas (por ejemplo, 2x2 km<sup>2</sup>, aunque el tamaño podría ajustarse en función del área de estudio) y mediante el modelo generado se ha evaluado compatibilidad de producción de hidrógeno para cada una de ellas.

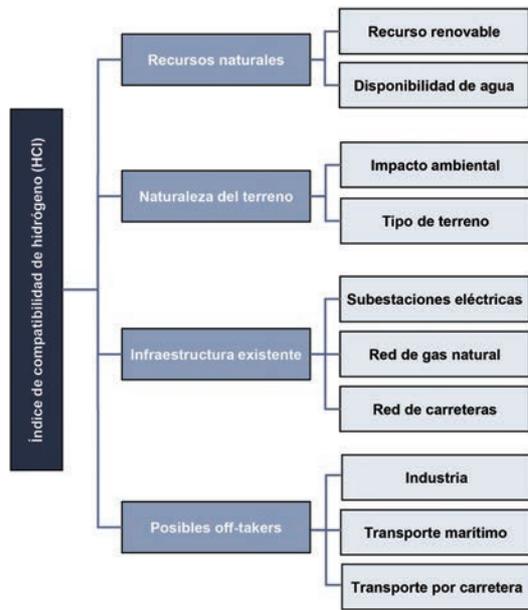
El modelo propuesto, permitiría a los agentes participantes en el mercado del hidrógeno identificar las fortalezas y debilidades de las potenciales ubicaciones para la producción de hidrógeno renovable, lo que se traduciría en una mejor toma de decisiones al respecto. Además, este modelo podría ayudar a responder algunas preguntas, por ejemplo:

- ▶ ¿Cómo se comparan diferentes ubicaciones en términos de su idoneidad para la producción de hidrógeno renovable?
- ▶ ¿Cuáles son las ubicaciones más prometedoras para la producción de hidrógeno verde?
- ▶ ¿Dónde se espera que estén ubicados los futuros off-takers y cuál es su potencial demanda?
- ▶ ¿Cómo elegir las mejores ubicaciones para evitar conflictos en los usos del agua, del terreno o en cuanto a los impactos ambientales?
- ▶ ¿Dónde se puede construir una planta de hidrógeno renovable para maximizar su eficiencia y rentabilidad?
- ▶ ¿Cuál es el potencial de producción de hidrógeno renovable en diferentes áreas?
- ▶ ¿Cómo se pueden minimizar los costes de transporte del hidrógeno verde de la planta a los puntos de consumo?

<sup>65</sup>Peter Drucker, conocido como el padre de la gestión moderna, y reconocido por sus aportaciones al ámbito de la gestión empresarial.

<sup>66</sup>Geographic Information Systems.

Figura 23. Variables del modelo



Fuente: Elaboración propia.

## Explicación del modelo

El modelo desarrollado se basa en el estudio de distintas variables para calcular la ubicación óptima para la construcción de un proyecto de hidrógeno.

A continuación, se analiza y desarrolla como estas variables se aplican como inputs en el modelo:

### Recursos naturales

#### Disponibilidad de energía solar y eólica

El modelo evalúa las alternativas de producción de H<sub>2</sub> mediante fuentes de energía solar o eólica conforme al factor capacidad<sup>67</sup> de cada fuente renovable. Dependiendo de la zona geográfica, este factor de capacidad variará. Un mayor factor de capacidad implica una mayor utilización potencial del electrolizador y por lo

tanto una mayor capacidad de producción de hidrógeno mediante electrólisis.

Debido a que, en ocasiones, es difícil comparar dos ubicaciones atendiendo únicamente a los factores de capacidad, estos pueden traducirse a un coste nivelado del hidrógeno (LCOH por sus siglas en inglés). El LCOH indica el coste estimado por Kg de hidrógeno teniendo en cuenta los costes de inversión (CAPEX) y la producción de hidrógeno, relacionada con las horas de operación, y, por tanto, con el factor de capacidad.

Cuanto menor sea el LCOH más barato será producir hidrógeno en el emplazamiento estudiado. Además, el LCOH permite la comparativa directa entre energía eólica o solar para la producción de hidrógeno.

### Disponibilidad de agua

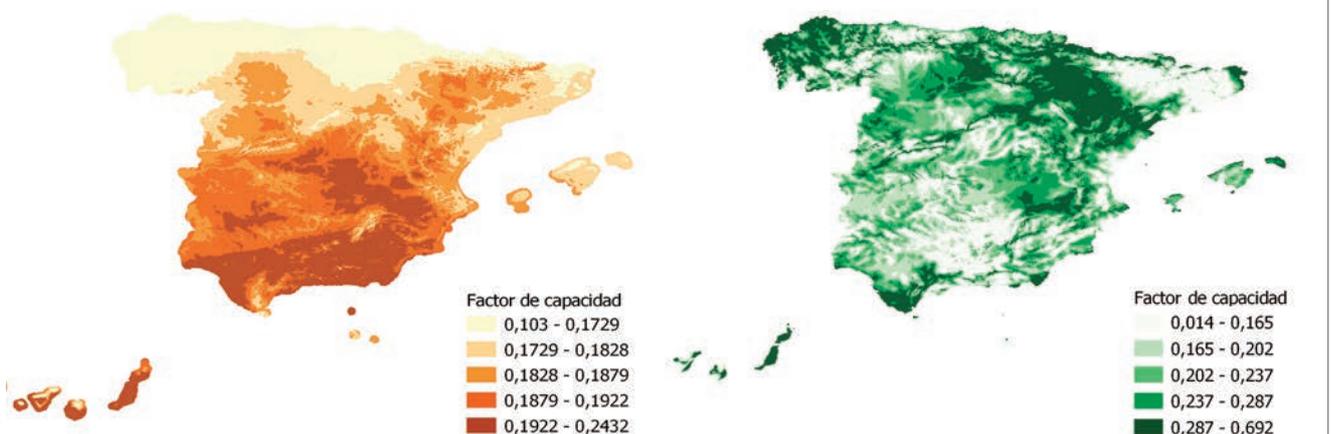
De forma equivalente, la disponibilidad de agua es un input clave como materia prima para la producción de hidrógeno renovable. En este caso, se integra información sobre disponibilidad de aguas superficiales (figura 25, gráfico de la izquierda) y ubicaciones de EDAR (estaciones depuradoras de aguas residuales; figura 25, gráfico de la derecha), pero se podrían incluir otras preferencias de desarrolladores como podrían ser la distancia a las fuentes de agua o el tipo de agua.

### Naturaleza del terreno

**Índice de sensibilidad ambiental (ISA).** Este índice mide el impacto ambiental de construir una planta de generación renovable en un emplazamiento determinado en base a diversos factores que influyen en la vulnerabilidad ambiental como la calidad del suelo o la presencia de espacios naturales protegidos, entre otros. El índice clasifica el territorio en 5 categorías de sensibilidad ambiental (Máxima, Muy alta, Alta, Moderada y Baja), y las ubicaciones con sensibilidad máxima se excluyen del modelo.

<sup>67</sup>Factor de capacidad: mide la frecuencia con la que una central funciona a máxima potencia. Una central con un factor de capacidad del 100% produce energía todo el tiempo.

Figura 24. Factor de capacidad solar y eólica en España en 2021.



Fuente: Global Solar Atlas y Global Wind Atlas.

Figura 25. Distancia a diferentes suministros de agua en España.

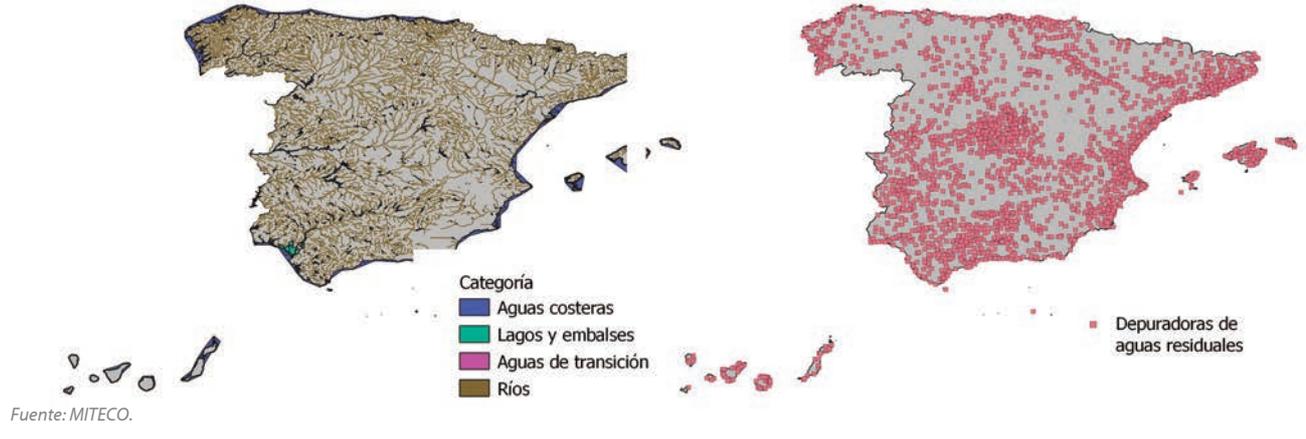


Figura 26. Índice de sensibilidad ambiental (ISA) en España.

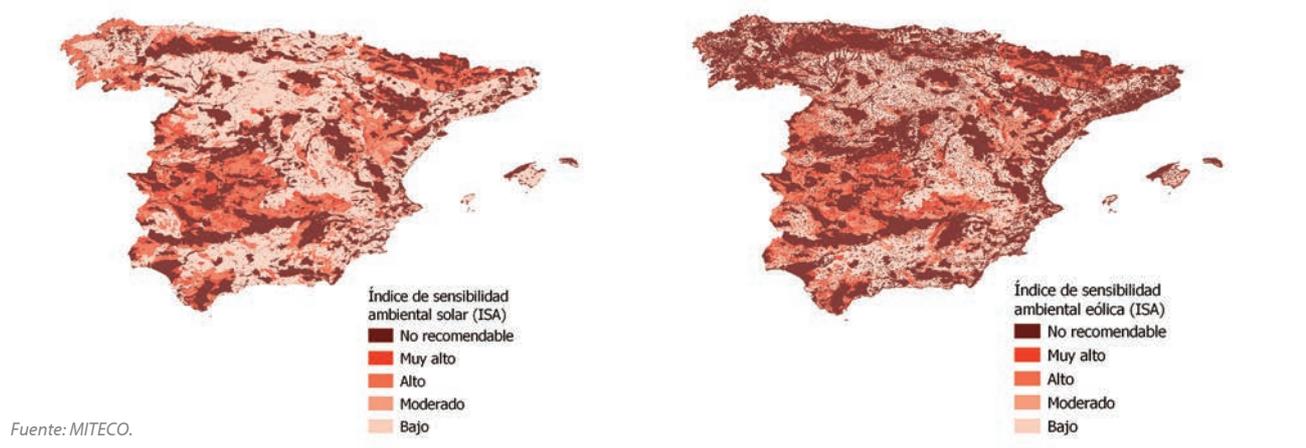


Figura 27. Pendiente de terreno que implica emplazamientos excluidos.

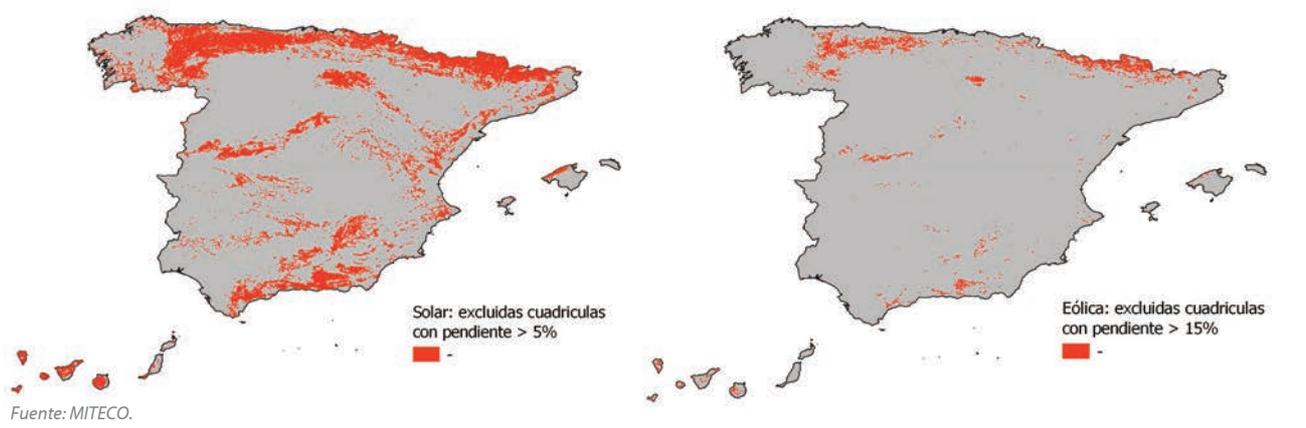


Figura 28. Disponibilidad de terreno en España.

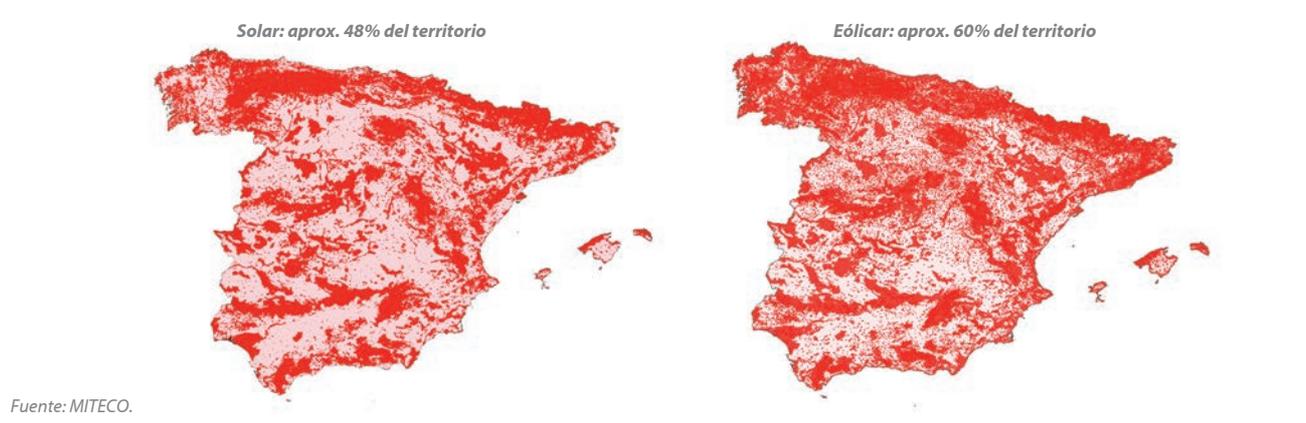
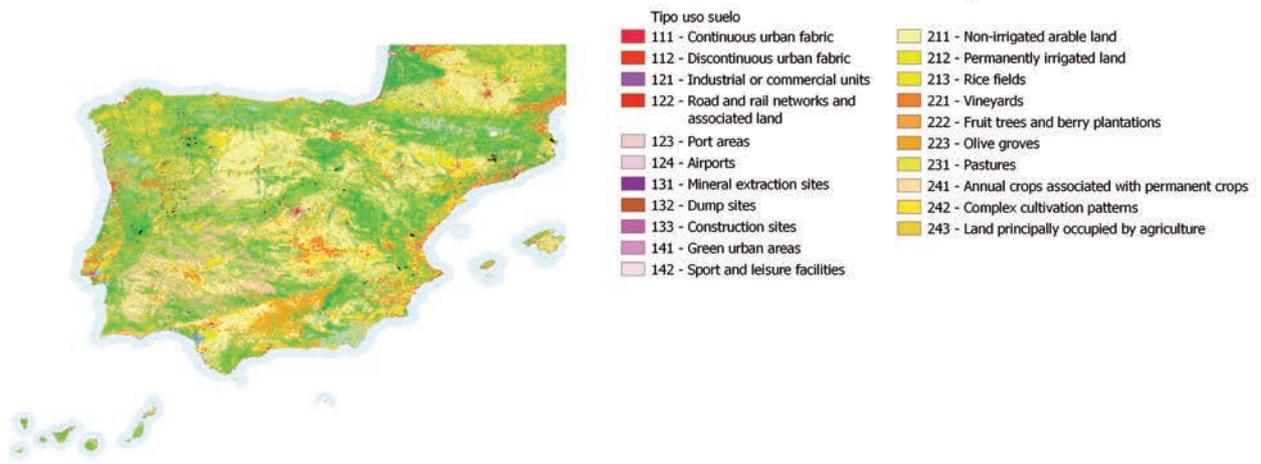


Figura 29. Tipos de suelo en España.



Fuente: programa Copernicus.

Este factor es relevante para plantas de producción de hidrógeno con fuentes renovables dedicadas ya que, en este tipo de proyectos, el estudio de impacto ambiental es uno de los procesos administrativos más complejos. Aunque el modelo no exime del pertinente procedimiento de evaluación ambiental, sí permite una aproximación orientativa desde fases tempranas del proyecto.

**Pendiente del terreno.** En base a la literatura científica existente, se excluyen emplazamientos a partir de una determinada pendiente (mayor al 5% para la construcción de instalaciones solares y del 15% para instalaciones eólicas).

**Disponibilidad del terreno.** Sumando las ubicaciones excluidas por el ISA con las excluidas por la pendiente, se observa que aproximadamente el 48% de las cuadrículas serían excluidas para la producción de hidrógeno con energía renovable dedicada, y alrededor del 60% para la energía eólica. Estas cifras reflejan las áreas que no serían viables para la instalación de plantas de generación de hidrógeno con renovable dedicada debido a las restricciones ambientales y topográficas.

**Tipo de suelo.** Para cada una de las cuadrículas, se caracteriza el tipo de suelo dependiendo de su uso (secano, regadío, praderas naturales, prado, núcleos urbanos, etc.).

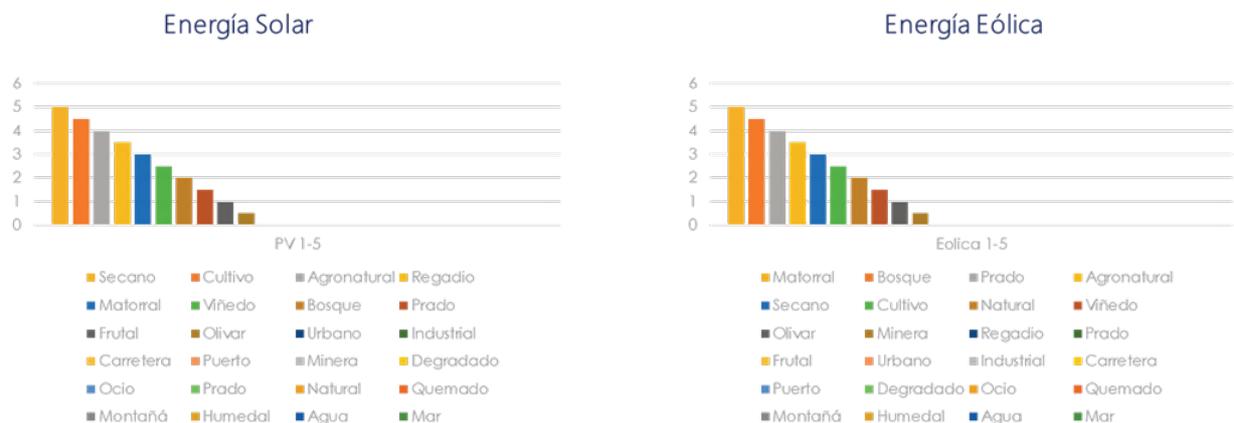
Además, se vinculan los usos con la adecuación para la construcción de parques solares y eólicos y se calcula una puntuación de 0 a 5, siendo 0 un uso nunca utilizado para ese tipo de construcciones.

### Infraestructura existente

#### Red eléctrica: distancia a subestaciones

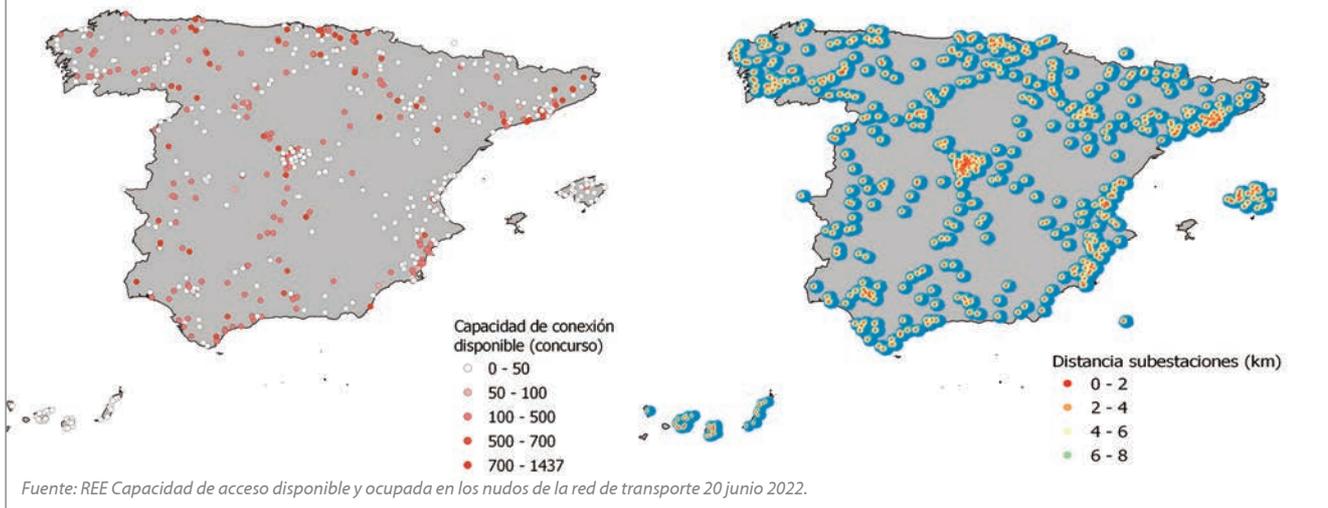
Un enfoque muy habitual en proyectos de hidrógeno verde es sobredimensionar la planta de producción renovable respecto al electrolizador. Por este motivo, habrá momentos donde el electrolizador no pueda consumir toda la energía generada, en este caso, los excesos de producción de energía se deberán verter a la red eléctrica siendo la distancia a la subestación un criterio importante, pues a mayor distancia mayor coste y mayores pérdidas de electricidad por transporte.

Figura 30. Clasificación del tipo de suelo dependiendo de si es para una instalación solar o eólica.



Fuente: Valoración de Bases de Datos de Usos de Suelo para la localización y distribución espacial de la energía solar y eólica en España (2018).

Figura 31. Distancia a subestaciones eléctricas en España.



Adicionalmente a la distancia respecto a una subestación eléctrica, también puede ser relevante la capacidad de conexión para generación disponible en cada nodo. En el ejemplo, esta información se toma de las publicaciones mensuales realizadas por el operador del sistema (Redeia).

### Red de gas natural: distancia a la red

La distancia a la red de transporte de gas puede ser una variable representativa por dos motivos. En primer lugar, porque el blending puede ser un aspecto importante en muchos proyectos (aunque todavía hay una gran incertidumbre acerca de la viabilidad técnica y los límites aceptables), y en segundo lugar porque se espera que la futura infraestructura de transporte de hidrógeno siga los mismos trazados que la red de gas natural existente, siendo una variable importante en el caso de considerarse potenciales opciones de transporte de hidrógeno, como ya se está viendo con la red troncal que se está planteando.

### Red de carreteras

Se incluye información respecto a la red de carreteras según el tipo de vía (autovía, nacional, entre otras) y su pertenencia a la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Tanto para la construcción como para la operación de las plantas es importante contar con una red de carreteras cercana. Esto facilitaría el transporte de hidrógeno en camiones cisterna hasta los puntos de consumo final.

### Potenciales off-takers

### Industria

El modelo considera la distancia a potenciales consumidores industriales de hidrógeno, analizando la existencia de industrias cercanas a los emplazamientos. Adicionalmente, se hace una estimación de la demanda potencial de hidrógeno en algunas de estas industrias (refino, amoníaco, acero, producción de cerámica, producción de vidrio y cemento). Esta estimación se

basa en información pública acerca de capacidades de producción, factores de emisión o consumo de energía de las diferentes instalaciones.

### Transporte marítimo

El hidrógeno y los derivados del hidrógeno como el amoníaco o el metanol jugarán un papel clave en la descarbonización del transporte marítimo. Por este motivo, se ha incluido información relevante respecto a los principales puertos de España, por ejemplo:

- Se dispone de información acerca del tráfico y tamaño de buques que atracan en cada puerto, así como de la demanda de combustible en cada uno.
- Se dispone de información acerca de la disponibilidad de infraestructura para exportar amoníaco y metanol en los diferentes puertos. Con adaptaciones mínimas, estos puertos podrían suministrar estos combustibles a buques.

Figura 32. Distancia a la red de gas natural. Fuente: REE Capacidad de acceso disponible y ocupada en los nudos de la red de transporte 20 junio 2022.



## Transporte terrestre

Estimar dónde y cuál será la futura demanda de hidrógeno para la movilidad terrestre es complejo, aunque parece claro que el transporte pesado concentrará la mayor demanda de hidrógeno en este segmento. Por este motivo, se ha incluido en el modelo información respecto a intensidad de tráfico de vehículos pesados en las principales autovías del país o acerca de los nodos logísticos existentes o planificados.

## Aplicaciones del modelo

Este modelo tiene dos posibles aplicaciones directas.

### Mapa de capas/emplazamientos interactivos

La visualización del valor de los distintos criterios para cada nodo o cuadrícula permite identificar de forma sencilla las fortalezas y debilidades de distintos emplazamientos. Esto puede facilitar la comparación entre varias ubicaciones potenciales definidas previamente, o incluso localizar alternativas cercanas. Por ejemplo, en la figura 35 se muestran los emplazamientos idóneos tanto para energía eólica como solar, si se seleccionan los siguientes criterios:

### Cálculo del índice de compatibilidad de hidrógeno (ICH)

Mediante las variables anteriormente definidas, se puede calcular el índice de compatibilidad de H<sub>2</sub> (ICH) multiplicando el valor de cada criterio (previamente normalizado) por su peso específico:

$$ICH_2 = \sum Criterio_i * Peso\_criterio_i$$

Estos pesos, se pueden asignar bien por métodos de decisión multicriterio, mediante los cuales se efectuarán encuestas a expertos y se asignarán los pesos mediante un método comparativo (p. ej., proceso jerárquico analítico), bien por

Figura 33. Red de carreteras.



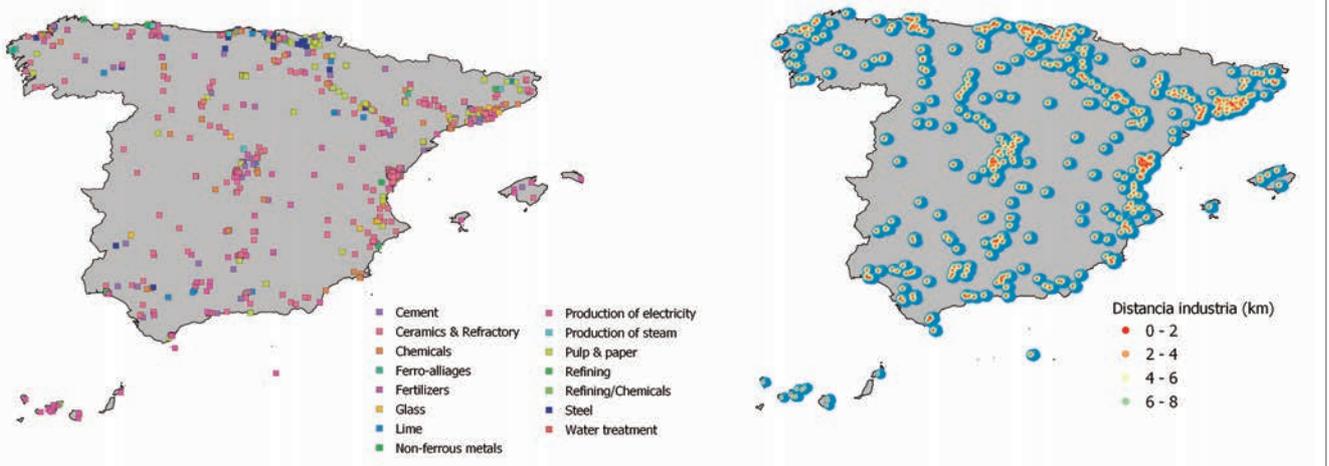
Fuente: MITMA.

asignación en base a los proyectos actuales, asignando pesos en base a la ubicación de los proyectos ya existentes. Estos pesos podrían ser específicos para cada valor teniendo en cuenta las preferencias (p. ej., planta renovable dedicada, diferentes tipos de off-takers, tipo de transporte, etc.). Además, el peso de estos criterios, o la inclusión de estos, dependerá de cada caso específico. Por ejemplo, en el caso de la producción de hidrógeno para transporte marítimo, sin inyección de hidrógeno en la red, no se tendría en cuenta el criterio de distancia a puntos de inyección de hidrógeno.

Algunos ejemplos de criterios son:

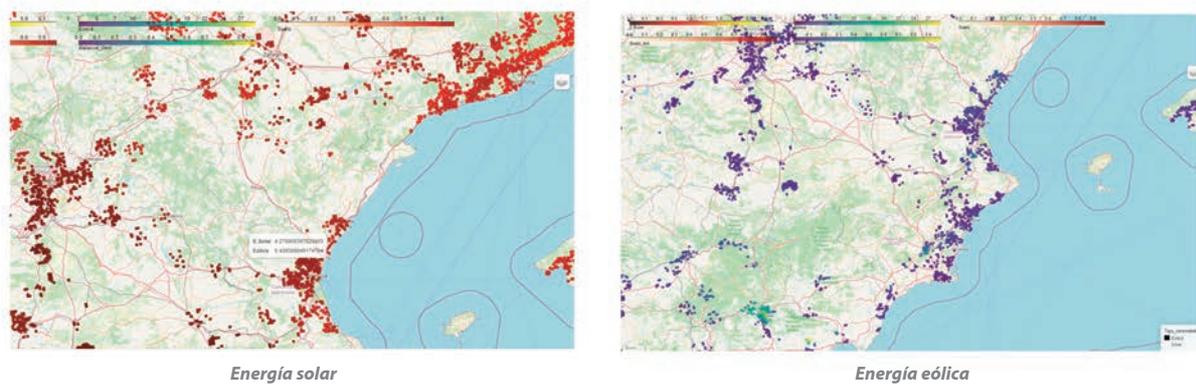
- Factor capacidad solar/eólica.
- Índice de sensibilidad ambiental.
- Tipo de terreno (secano, regadío, etc.).
- Distancia a subestaciones eléctricas.
- Distancia a puntos de inyección de red de gas.
- Etc.

Figura 34. Potenciales consumidores dentro de España.



Fuente: Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (E-PRTR).

Figura 35. Ejemplo de emplazamientos idóneos seleccionando las variables de ISA y distancia a subestaciones.



### Distribución de proyectos existentes

La dinámica del sector del hidrógeno está experimentando un crecimiento sin precedentes en España y Europa. Como parte de su misión de difundir información, la Catedra de Estudios Sobre el Hidrógeno creó la plataforma de visualización de proyectos de hidrógeno, una herramienta que ofrece una visión global de los proyectos de producción de hidrógeno existentes o planificados en España y Portugal, incluyendo información relevante como:

- Estado de los proyectos.
- Inversión.
- Capacidad de electrólisis.
- Año de finalización.
- Esquema de conexión y capacidad de generación renovable instalada (si aplica).
- Promotor.
- Tipo de *off-taker*: industria (por ejemplo, amoníaco, metanol, refino o acero), movilidad terrestre, movilidad marítima, entre otros.

De esta forma, se contribuye al cumplimiento de la Hoja de Ruta del Hidrógeno permitiendo monitorizar el cumplimiento de los objetivos de esta en relación con la capacidad de electrólisis, número de hidrogeneras, número de vehículos o inversión.

La información proporcionada en estos mapas está preparada utilizando la mejor información pública disponible procedente de fuentes de información externas referenciadas. El mapa se actualiza periódicamente, aunque debido a la limitación en información pública disponible puede ser impreciso para algunos proyectos individuales, pero útil como visión global del despliegue de la economía del hidrógeno en España.

La herramienta interactiva está disponible vía web<sup>68</sup>. La figura 36 muestra una imagen del interfaz creado.

<sup>68</sup>Cátedra de Estudios Sobre el Hidrógeno: <https://www.comillas.edu/catedra-de-estudios-sobre-el-hidrogeno/mapa-proyectos>.

Figura 36. Interfaz web del mapa de proyectos de producción de hidrógeno renovable en España y Portugal.

