

RESUMEN DE ENTREGABLE:

HERRAMIENTAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE HIDRÓGENO RENOVABLE

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

Contexto y alcance

El objetivo de este documento es resumir las características principales de la herramienta desarrollada dentro del proyecto AIHRE para el dimensionamiento de sistemas de hidrógeno renovable en POCTEP. La herramienta consta de dos fases o alcances. La primera, un dimensionamiento en base a parametrización, y que dé al usuario una evaluación tecnoeconómica y medioambiental del sistema parametrizado. La segunda, centrada en alcanzar un dimensionamiento optimizado en base a diferentes criterios.

Sistemas, demandas, entradas e indicadores

Las herramientas de dimensionamiento desarrolladas en el proyecto AIHRE se plantean de forma que se **compara el sistema con tecnologías del hidrógeno (o sistema mejorado) con un sistema de referencia**. Esta comparación sirve para obtener los **indicadores energéticos, económicos o medioambientales**.

El **sistema de referencia** (Ilustración 1, superior) es tal que todas las demandas (térmicas, eléctricas o de transporte/logística interna) se satisfacen con entradas externas (electricidad de red, suministro de combustibles, etc.). Los combustibles para este sistema de referencia pueden ser de origen fósil (gas natural, diésel) o hidrógeno con emisiones asociadas indicadas por el usuario.

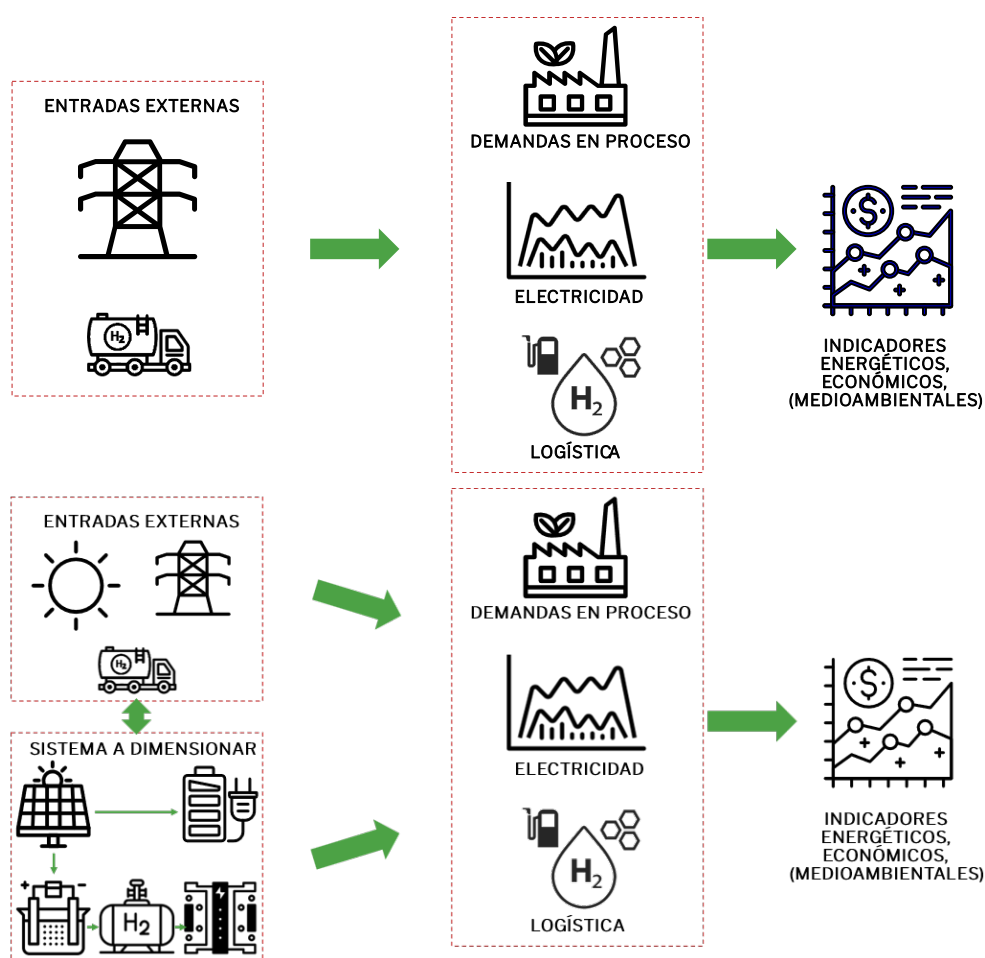


Ilustración 1. Sistema de referencia (superior) y sistema mejorado (inferior).

Para el **sistema mejorado** (Ilustración 1, superior) se modelan una serie de tecnologías que permiten la generación renovable de electricidad, el almacenamiento de electricidad, y la

generación, almacenamiento y utilización de hidrógeno. Estas tecnologías, que son el sistema a dimensionar, son entradas para la evaluación realizada con los modelos. Considerando iguales demandas que para el sistema de referencia, se calcularían los nuevos indicadores asociados a dicho sistema mejorado (salidas del cálculo).

Poniendo el foco en el sistema a dimensionar, habría multitud de **parámetros** que se podían considerar a la hora de **parametrizar u optimizar el dimensionamiento**. Para hacer práctica la resolución del problema de dimensionamiento, se limita cada evaluación (paramétrica u optimizada) a seis parámetros de entrada (Ilustración 2). Los diferentes componentes, dimensionados a través de dichos parámetros, tendrán unas características definidas por el usuario, y que podrá modificar entre un análisis y el siguiente.

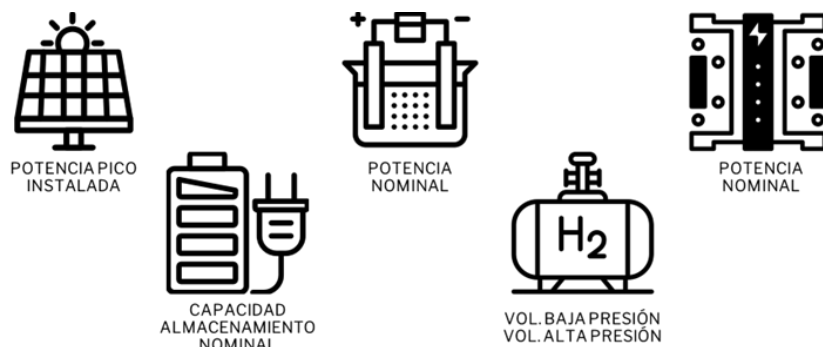


Ilustración 2. Representación de los seis parámetros considerados por las herramientas para el dimensionamiento.

Las herramientas desarrolladas permiten la introducción de tres tipos de **demandas o consumos** a satisfacer: eléctricas, térmicas (a través de caldera) o para transporte (dispensando el combustible, hidrógeno o fósil). Los perfiles anuales horarios pueden introducirse a través de archivos tipo .csv o utilizar perfiles predefinidos de la herramienta.

Las **entradas** principales al sistema (ver Ilustración 1) son la electricidad, de red o a través de un Power Purchase Agreement (PPA), la compra de combustibles y la generación renovable in situ.

Las herramientas calculan una serie de **indicadores** que pueden utilizar para comparar soluciones en el análisis paramétrico, o buscar óptimos en la herramienta de optimización. Los indicadores que se plantean para el proyecto son de tipo económico¹, de tipo energético (porcentajes de autoconsumo) o medioambientales.

Modelos de las diferentes tecnologías

Los modelos técnicos/energéticos y de costes para las diferentes tecnologías son relativamente simplificados, ya que el objetivo de estas herramientas son las evaluaciones tecnoeconómicas y medioambientales en la vida de proyectos, con duraciones de varias décadas y con pasos temporales para el cálculo típicamente horarios. Ir a modelos de mayor complejidad sería muy costos computacionalmente. En general, los modelos se basan en que exista un cumplimiento del balance energético y de masas a nivel componente y de sistema en cada paso temporal, y utilizando modelos paramétricos de los equipos. Se aplican factores de deterioro en función del año o del uso de la tecnología.

¹ Se aplican factores de descuento (flujos de caja descontados por tanto) y factores de incremento de precios generales y de energía. El usuario puede ajustar dichos parámetros.

A nivel de **costes**, se ha utilizado la metodología propuesta por Robin Smith (2005)², que se basa en que los costes del equipamiento para una determinada potencia/capacidad/tamaño se pueden calcular si se conoce un coste referencia para un equipo de potencia/capacidad/tamaño dada³. En el entregable completo se proponen diferentes referencias de costes en función de la tecnología. Los valores derivados de estos costes se introducen en el modelo, aunque el usuario puede seleccionar otros si dispone de dichas referencias.

La **generación renovable in-situ** se modela como producción fotovoltaica, a partir de un cálculo que depende de los coeficientes aportados por el fabricante del módulo fotovoltaico en condiciones STC. Las temperaturas e irradiancias en cada hora se determinan con la librería pvlib de Python, que simula la generación fotovoltaica para una determinada localización y disposición/orientación de los paneles fotovoltaicos. Con el número de módulos (calculado en base a la potencia pico instalada), se puede determinar la generación horaria. Esta generación va destinada a autoconsumo (eléctrico) en primer lugar, luego a carga de baterías o producción de hidrógeno (según la prioridad definida por el usuario) y, en caso de existir un excedente, se permite la venta del mismo.

La **carga y descarga de baterías** se modela con unas eficiencias de carga y de descarga fijadas por el usuario. En este caso, solo se permite la carga cuando existe excedente de generación renovable, y la descarga para cubrir demandas eléctricas internas (no para venta de electricidad ni para producción de hidrógeno).

Los **electrolizadores, almacenamiento de hidrógeno y compresión** se modelan de forma conjunta, ya que su operación está muy interconectada. La Ilustración 3 explica, de forma gráfica, cómo se relacionan los equipos del sistema de hidrógeno en cuanto a flujos másicos de hidrógeno y flujos energéticos.

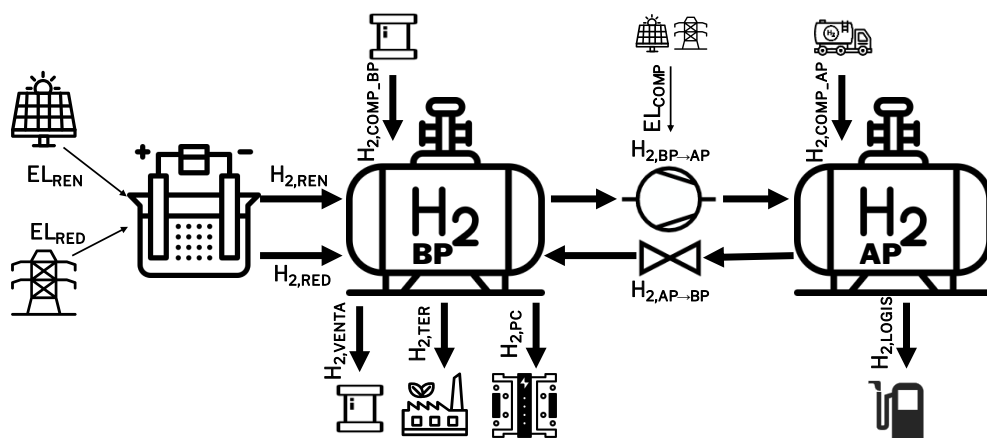


Ilustración 3. Diagrama explicativo del funcionamiento del sistema de electrolizador + almacenamiento + compresión + consumos de hidrógeno, tal y como se usa en la herramienta desarrollada.

En primer lugar, se trata de calcular si el conjunto de demandas de hidrógeno en el paso temporal, la capacidad de almacenamiento en los tanques, etc.; y la disponibilidad de electricidad para alimentar el electrolizador (ya sea de origen renovable o de la red, en base a lo permitido por el usuario) justifican su operación en dicho paso temporal. Después, se

² Chemical Process Design and Integration – Robin Smith (2005).

³ Esta metodología se debe aplicar con cierta precaución, evitando usar como referencia equipamientos varios órdenes de magnitud por encima o por debajo del que se quiere calcular.

va cubriendo, de forma secuencial, las demandas de alta presión para logística/transporte ($H_{2,LOGIS}$) y a menor presión para procesos térmicos ($H_{2,TER}$), utilizando para ello el hidrógeno almacenado y/o producido en dicho paso temporal. Si fuese necesario, se procedería a la compra de hidrógeno al precio indicado por el usuario para dicha evaluación (y con las emisiones asociadas que se indiquen). Si resta capacidad del electrolizador, se procede a la carga de los tanques (comenzando por el de baja presión), y finalmente, se procedería a la venta de excedentes de hidrógeno, si esta funcionalidad está permitida por el usuario.

El cálculo de la masa de hidrógeno producida en el electrolizador por unidad de energía disponible se realiza con el consumo específico o eficiencia eléctrica del electrolizador. Este factor depende, en gran medida, de la tecnología utilizada y de si se viene definida a nivel stack o sistema electrolizador. Para el almacenamiento, se relaciona la capacidad en masa de hidrógeno y la presión a la que se encuentra el tanque a través de la ley de gases ideales adaptada al comportamiento de gases reales con el factor de compresibilidad del hidrógeno en función de la presión⁴. Los consumos del compresor se calculan, de forma simplificada, con un factor de eficiencia del proceso de compresión y en función de las presiones de aspiración y de descarga en cada paso temporal, o lo que es lo mismo, en función de la presión del almacenamiento de baja y alta presión, respectivamente.

El **dispensado de hidrógeno** para transporte/logística, desde el tanque de alta presión, solo se calcula a nivel costes. Se considera que no existen pérdidas, ineficiencias o consumos adicionales en este proceso.

En cuanto a la **pila de combustible**, se determina la producción específica (por kg de hidrógeno) de energía eléctrica a partir de un parámetro de eficiencia (establecido por el usuario) y del poder calorífico inferior del hidrógeno. Además, en el modelo se considera que la pila se operará, únicamente, si no se pueden cubrir las demandas eléctricas con energía renovable producida in situ y si existe suficiente hidrógeno disponible en los tanques. No se permite que este hidrógeno se haya podido producir con electricidad de red, ya que en tal caso es más eficiente cubrir demandas eléctricas de forma directa con la red. Por último, solo se permite que el consumo de la pila se realice con hidrógeno comprado en caso de ser un sistema desconectado de la red eléctrica.

A nivel de código, la **herramienta** se **estructura** en una serie de módulos (Ilustración 4), cuyas principales funcionalidades se listan a continuación:

- main_opt_v8b.py. Módulo principal. Establece el tipo de estudio, en base a las entradas de usuario, siendo posible definir una evaluación de una parametrización única, barrido de parámetros, u optimización. También registra los resultados principales.
- inputs_v8b.py. Módulo para entradas de usuario (demandas, equipos, parámetros para dimensionamiento, tipo de estudio y criterios de optimización).
- scenario_v8b.py. Módulo de evaluación del escenario de referencia y mejorado. Se obtienen resultados de flujos de caja y variables energéticas y de emisiones para cada caso simulado.
- pv_functions_v8b.py. Módulo dedicado a la definición de la generación fotovoltaica (in-situ), cálculo de la producción en base a localización, etc.
- battery_funcitons_v8b.py. Módulo para definición de las baterías, y cálculo de

⁴ Se asume temperatura constante en el almacenamiento.

- carga/descarga de las mismas.
- electrol_functions_v8b.py. Módulo relacionado con los electrolizadores, con funciones para establecer prioridades en la operación del electrolizador, actualización de su estado en base a sus horas de uso y cálculo de la producción de hidrógeno y su reparto.
- h2_functions_v8b.py. Módulo ligado a la definición de almacenamientos a presión de hidrógeno y el compresor, incluyéndose funciones ligadas a la carga y descarga de los depósitos, al compresor y al dispensado de hidrógeno.
- fuel_cell_functions_v8b.py. Módulo relacionado con las pilas de combustible, para el cálculo de la generación eléctrica a partir del hidrógeno.
- props_v8b.py. Módulo que recoge algunas propiedades o factores de conversión usados en otros módulos.
- functions_v8b.py. Módulo que compila funciones más generales, por ejemplo, relacionadas con la generación de perfiles de demanda horaria, distribución de precios de energía, el cálculo de las inversiones con la ley de potencia y factores de escala, entre otras.
- indicators_v8b.py. Módulo para el cálculo de los indicadores económicos, energéticos y medioambientales para cada caso estudiado.

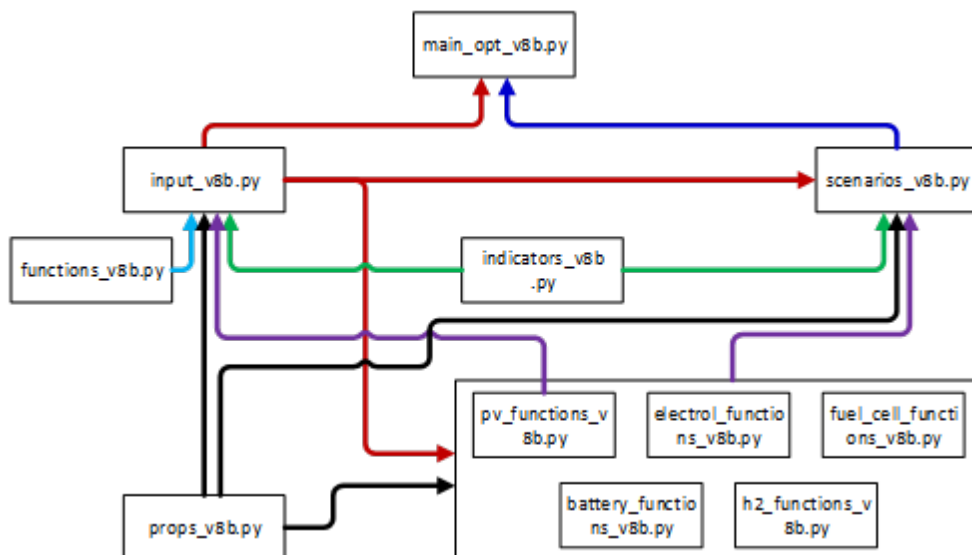


Ilustración 4. Diagrama de estructura de módulos de código en la herramienta desarrollada.

Conclusiones

Este documento resume la filosofía, metodología y estructura del código detrás de la herramienta desarrollada para el dimensionamiento de sistemas de hidrógeno renovable. La herramienta se encuadra en la acción A.2.1 – “Herramientas de dimensionado de sistemas de hidrógeno renovable” del proyecto AIHRE, que tiene un resultado asociado consistente en trasladar la parte de parametrización de sistemas de hidrógeno a una herramienta web (R.2.1). Esta estará disponible a partir del 31/03/2026.



RESUMEN AIHRE

Título

AIHRE: Análisis e Impulso del H2 RENovable en la región POCTEP

Fecha de inicio - Fecha de fin del proyecto

01/07/2023 - 30/06/2026 (36 meses)

Tipo de Proyecto

Análisis e Impulso de H2 Renovable

Programa

INTERREG POCTEP – tercera convocatoria

Financiación

1,5M€ - Cofinanciado al 75%

Coordinador

Fundación CIDAUT

Visión general del proyecto

El proyecto AIHRE pretende impulsar la implementación del hidrógeno en la zona POCTEP, desarrollando la tecnología necesaria para su valorización y analizando las diferentes etapas de la cadena de valor del hidrógeno renovable en dicha zona.

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

AIHRE



info@aihre.eu



[@aihre](https://twitter.com/aihre)



[@aihre](https://www.linkedin.com/company/aihre)