

Herramienta para optimizar y viabilizar la explotación de plantas desaladoras con uso exclusivo de energías renovables

Tool to optimize and enable the operation of desalination plants using exclusively renewable energy

Estela Calero Luna - Ingeniera industrial, ingeniería Calero Luna (ICL)

María Calero Luna - Ingeniera industrial, ingeniería Calero Luna (ICL)

Roque Calero Pérez - Doctor ingeniero industrial, ingeniería Calero Luna (ICL)

Baltasar Peñate Suárez - Responsable del departamento de agua del ITC

Gustavo Melián Monroy - Técnico del departamento de agua del ITC

La desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa se ha convertido en una necesidad creciente para el consumo humano y para la agricultura. Sin embargo, y pese a su alta eficiencia, esta solución lleva implícita un alto consumo energético en forma de electricidad, lo que en último término implica, en la mayoría de los casos, una dependencia de las energías fósiles (de su suministro y de su precio) y su correspondiente impacto medioambiental. El abaratamiento de las energías renovables (eólica y solar) y los altos rendimientos y bajos costes de la desalación mediante ósmosis inversa hacen que el acoplamiento entre ambas tecnologías alcance un elevado interés.

Seawater desalination by reverse osmosis has become increasingly necessary for human consumption and agriculture. However, despite its high efficiency, this solution inherently involves high energy consumption in the form of electricity, which ultimately implies a dependence on fossil fuels (both in terms of supply and price) and their corresponding environmental impact. The decreasing cost of renewable energies (wind and solar), together with the high performance and low costs of reverse osmosis desalination, makes the coupling of both technologies highly attractive.

En este contexto, y en el marco del Proyecto IDIWATER, cofinanciado al 85% con fondos FEDER a través del Programa Interreg MAC 2021-2027, el Instituto Tecnológico de Canarias, ITC, y la Ingeniería Calero Luna, ICL, han desarrollado una metodología y una herramienta informática de cálculo para optimizar la integración de energías renovables en plantas desaladoras, tanto desde un punto de vista técnico como económico, lo que se traduce en un diseño de estación desaladora de agua de mar (EDAM) aislada de la red eléctrica (100% energías

In this context, within the framework of the IDIWATER Project, co-funded at 85% by the ERDF under the Interreg MAC 2021-2027 Programme, the Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) and Ingeniería Calero Luna (ICL) have developed a methodology and a software-based calculation tool to optimize the integration of renewable energy in desalination plants, from both a technical and an economic perspective. This has resulted in the design of an off-grid seawater desalination plant (100% renewable energy) capable



renovables) que satisfaga una demanda de agua determinada a un coste de producción mínimo.

El suministro de agua potable a la población y al sector primario es una necesidad vital e insoslayable. Este suministro puede verse constreñido por dos problemas en muchas partes del mundo: las sequías y el agotamiento y contaminación de los acuíferos subterráneos sobreexplotados.

La desalación de agua de mar o salobre por diversos procedimientos se ha convertido en una solución técnica y económicamente factible. Sin embargo, la desalación de agua de mar lleva implícita un alto consumo energético en forma de electricidad, lo que en la mayoría de los casos supone una dependencia de las energías fósiles (de su suministro y de su precio).

Una opción ideal es la utilización de las energías renovables que, aunque presentan la desventaja de su variabilidad y la necesidad de realizar una inversión inicial considerable, tienen la ventaja de su bajo coste relativo y nulo impacto ambiental durante la explotación. Por otro lado, el agua desalada y/o bombeada puede convertirse en una forma idónea de acumulación de las energías renovables y salvar su variabilidad.

En este contexto, las Islas Canarias han destacado por el estudio y aplicación de energías renovables a la desalación desde finales del siglo XX. Son numerosos los estudios, proyectos y aplicaciones encaminados a conocer y testear la viabilidad técnica y económica de la desalación de agua de mar con energías renovables, tanto eólica como solar y, muy recientemente, la energía marina. A pequeña y mediana escala, los resultados han sido altamente satisfactorios. Han sido experiencias aisladas de red o en autoconsumo donde las energías renovables son capaces de suplir de forma adecuada y viable la energía fósil en altos porcentajes. A pesar de ello, el salto para la mediana escala en instalaciones 100% renovables aún está por explorar.

En los últimos años, el acceso a la energía eólica y solar a costes razonables, así como a plantas desaladoras de ósmosis inversa, se ha vuelto más asequible. Por otro lado, los costes de la electricidad procedente de combustibles fósiles han sufrido importantes oscilaciones y un aumento progresivo, además de sus penalizaciones por su impacto ambiental, hasta el punto de convertir la energía en el capítulo más importante del coste del m³ de agua desalada.

Conocidas estas bonanzas, es el momento de profundizar en la viabilidad de apostar por soluciones de desalación a mediana escala usando exclusivamente energías renovables, al objeto de valorar su posible implantación de forma generalizada en nuestras infraestructuras hidráulicas.

En este contexto, el Instituto Tecnológico de Canarias

of meeting a given water demand at minimum production cost.

Supplying drinking water to the population and the primary sector is a vital and unavoidable necessity. In many regions of the world, however, this supply is constrained by two major challenges: prolonged droughts and the depletion or contamination of overexploited underground aquifers.

Seawater or brackish water desalination through different processes has become a technically and economically feasible solution. However, seawater desalination requires high energy consumption in the form of electricity, which in most cases leads to dependence on fossil fuels—both in terms of supply and price.

An ideal option is the use of renewable energy sources which, although they present challenges such as variability and the need for significant initial investment, offer the advantages of relatively low costs and zero environmental impact during operation. Moreover, desalinated and/or pumped water can serve as an effective means of storing renewable energy and mitigating its variability.

In this context, the Canary Islands have become a benchmark in the research and application of renewable energy for desalination since the late 20th century. Numerous studies, projects and pilot installations have been undertaken to assess the technical and economic feasibility of seawater desalination powered by renewable energy sources such as wind, solar and, more recently, marine energy. At small and medium scales, the results have been highly satisfactory. These off-grid or self consumption experiences have demonstrated that renewable energy can replace fossil fuels to a very high degree in desalination processes. Nevertheless, the transition to medium scale, fully renewable installations has yet to be explored.

In recent years, access to wind and solar energy at competitive prices, as well as to reverse osmosis desalination technology, has become increasingly affordable. In contrast, the cost of electricity generated from fossil fuels has experienced significant fluctuations and a steady upward trend, compounded by penalties associated with its environmental impact. As a result, energy has become the most important component in the cost per cubic metre of desalinated water.

Now that we are aware of these benefits, it is time to take a closer look at the feasibility of investing in medium-scale desalination solutions powered exclusively by renewable energy, with a view to assessing the potential for widespread implementation in our water infrastructure.

In this context, the Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) and engineering firm Ingeniería Calero Luna (ICL) have developed a methodology and software-based tool called ODEMAR (OPTIMISATION OF SEAWATER

(ITC), y la Ingeniería Calero Luna (ICL), han desarrollado una metodología y herramienta informática denominada ODEMAR (OPTIMIZACIÓN DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR CON ENERGÍAS RENOVABLES) que permite estudiar la viabilidad técnica y económica de la desalación de agua de mar exclusivamente con energías renovables y a cualquier escala de producción.

El diseño de estas plantas se basa en maximizar la penetración de las energías renovables aprovechando la modularidad de la desalación por ósmosis inversa (i.e. varios bastidores de pequeña potencia en lugar de uno solo de gran potencia). En las siguientes figuras se compara el consumo eléctrico (barras marrones) de una planta desaladora sin capacidad de modular su capacidad, frente a otra diseñada para ir escalonadamente incrementando su producción, para una producción de energía renovable representada por las barras verdes. Se observa claramente que la planta escalonada aprovecha mejor la energía renovable, aunque posiblemente a costa de aumentar su coste.

La herramienta ODEMAR permite optimizar estos sistemas en el sentido de maximizar la producción de agua desalada a un coste mínimo del m³.

En particular ODEMAR permite determinar:

- El tamaño de la central energética (solar, eólica o ambas);

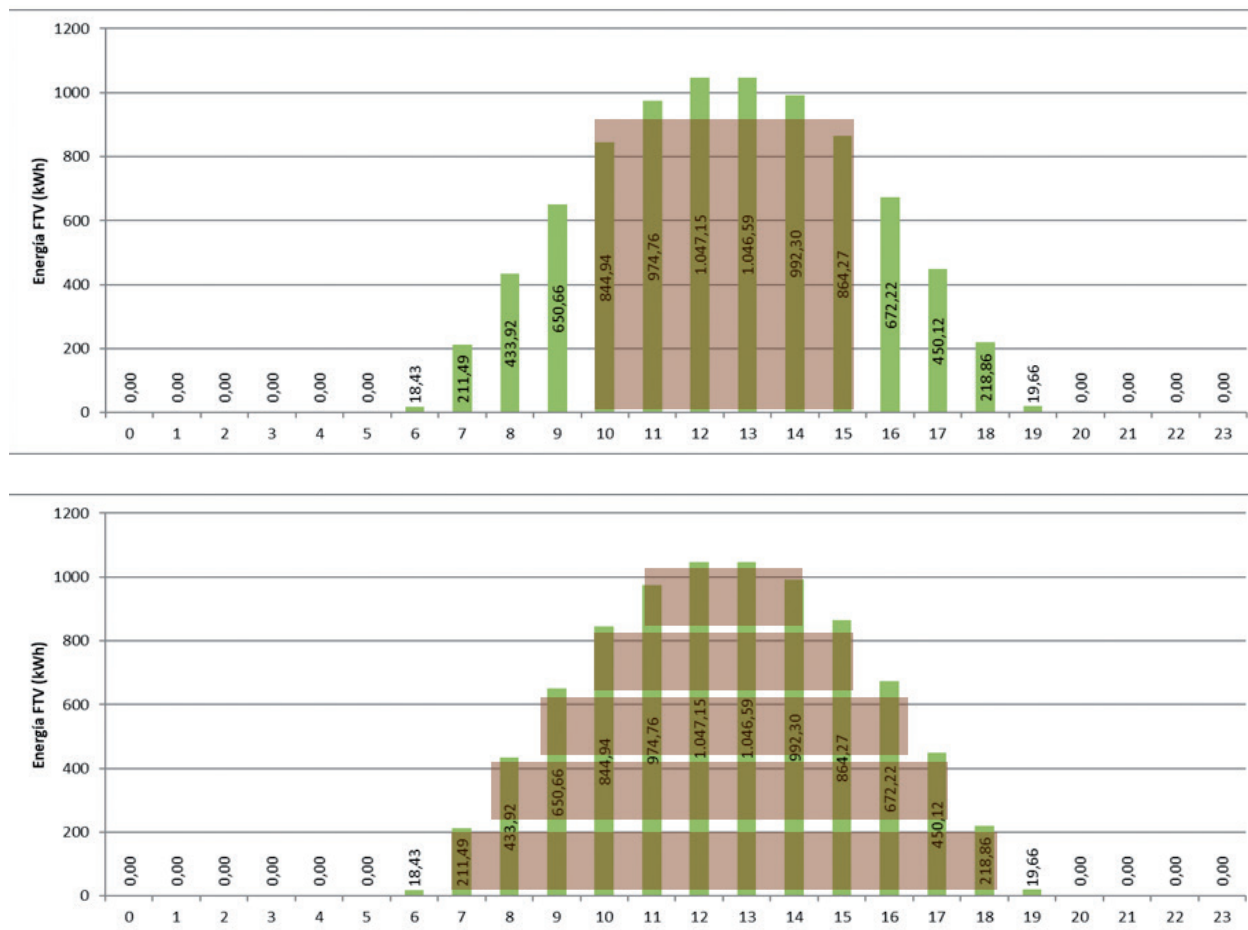
DESALINATION WITH RENEWABLE ENERGY) that facilitates study of the technical and economic feasibility of seawater desalination powered exclusively by renewable energy through the entire range of production scales.

The design of these plants is based on maximising the penetration of renewable energy by taking advantage of the modularity of reverse osmosis desalination (i.e., several low power racks instead of a single high power unit). The following figures compare the electricity consumption (brown bars) of a desalination plant that cannot modulate its capacity (left) with that of a plant designed to increase its output in stages (right), in line with renewable energy availability (green bars). The stepped output plant clearly makes better use of the renewable energy, albeit possibly at the expense of higher costs.

The ODEMAR tool enables these systems to be optimised in order to maximise desalinated water production at a minimum cost per cubic metre.

ODEMAR specifically enables determination of:

- the size of the power plant (solar, wind or a hybrid configuration)
- desalination plant configuration (size and number of desalination modules)
- the control system, based on a minimum-capacity battery designed to absorb rapid variations in renewa-





- La tipología de la planta desaladora (tamaño y número de módulos de desalación);
- El sistema de control, basado en una batería de mínima capacidad destinada a cubrir las variaciones rápidas de las energías renovables y garantizar que el bastidor que deba desconectarse tenga un margen de operación que le permita ser sometido a flushing o secuencias de espera;
- El depósito del almacenamiento de agua producto.

La lógica de operación del complejo de producción consistiría en ir conectando o desconectando módulos de desalación en función de la energía renovable, eólica y/o solar, disponible en cada momento, de manera que su aprovechamiento sea el máximo posible. Cuando hay energía disponible, funcionan todos los módulos, produciendo más agua de la demandada que se va acumulando en el depósito. En los periodos en que la energía es baja o nula, el agua necesaria se extrae del depósito.

Los correspondientes estudios de sensibilidad que analiza ODEMAR permiten determinar la composición óptima de todo el sistema para atender una demanda de agua determinada a un coste mínimo.

Todos los componentes de desalación, control y auxiliares pueden instalarse tanto en bastidores dentro de una edificación como en conceptos portátiles. Las capacidades de producción dependen únicamente del número de módulos a instalar, de la planta de energías renovables y del volumen del depósito de acumulación de agua desalada.

La herramienta se ha probado en diversos casos de estudio, siendo el primero de ellos el de una planta para riego agrícola en la zona central de la isla de Fuerteventura, con una producción de 600.000 m³/año; otra, en el norte de la misma isla, en la que la demanda de agua se calculó a partir de las nece-

ble-energy supply and to ensure that the rack scheduled for disconnection has sufficient operating margin to complete flushing or stand-by sequences

- the product-water storage tank.

The operating logic of the production complex consists of connecting or disconnecting desalination modules according to the renewable energy—wind and/or solar—available at any given time, so that its use is maximised. When sufficient energy is available, all modules operate, producing more water than is immediately required; the surplus is stored in the tank. During periods of low or zero renewable energy availability, the necessary water is drawn from the storage tank.

The corresponding sensitivity studies analysed by ODEMAR enable the optimal composition of the entire system to be determined in order to meet a given water demand at a minimum cost.

All desalination, control and auxiliary components can be installed either in racks within a building or in portable units. Production capacities depend solely on the number of modules installed, the renewable energy plant and the volume of the desalinated-water storage tank.

The tool has been tested in various case studies. The first involved an agricultural irrigation plant in the central area of the island of Fuerteventura, with a production of 600,000 m³/year. Another case study took place in the north of the same island, where water demand of 2,000,000 m³/year was calculated based on the food requirements of the resident and tourist population. Finally, the largest facility designed to date is for the Huelva Strawberry Irrigation Community, with a production of 8,000,000 m³/year. In addition, two desalination systems for agricultural irrigation in Fuerteventura and Lanzarote, powered by renewable energy sour-

sidades de alimentos para la población residente y turista, resultando en 2.000.000 m³/año; y, por último, la mayor diseñada hasta el momento, para la Comunidad de Regantes de Fresas de Huelva, con una producción de 8.000.000 m³/año. Además, se han comparado dos sistemas de desalación para agricultura en Fuerteventura y Lanzarote alimentados con energías renovables en régimen de autoconsumo, con el fin de evaluar su aplicación en sistemas aislados de red y cuyos resultados han sido muy interesantes.

Bajo esta metodología, los costes del agua producida a pie de planta, incluyendo el depósito de acumulación, oscilan entre los 0,50 y 0,70 €/m³ sin ningún tipo de apoyos económicos externos.

A modo comparativo, en la figura siguiente se muestra la composición de los costes de una planta desaladora conectada a la red eléctrica, con un coste de la electricidad de 0,18 €/kWh (izqda.) y otra de la misma capacidad pero alimentada al 100% con energías renovables.

La desalación de agua de mar haciendo uso exclusivo de energías renovables presenta múltiples ventajas técnicas frente a los sistemas convencionales:

- Son tecnologías totalmente accesibles y probadas.
- Pueden diseñarse para diferentes escalas de producción (desde pocos m³/día hasta varios miles de m³/día).
- La parada de un módulo no influye de manera decisiva en la producción de agua.
- No necesitan grandes sistemas de acumulación de electricidad (baterías).
- Posibilidad de incrementar bastidores a medida que se incrementan las necesidades.
- Posibilidad de instalarse en cualquier lugar de la costa o en sus proximidades.
- Posibilidad de mover la ubicación de la planta.

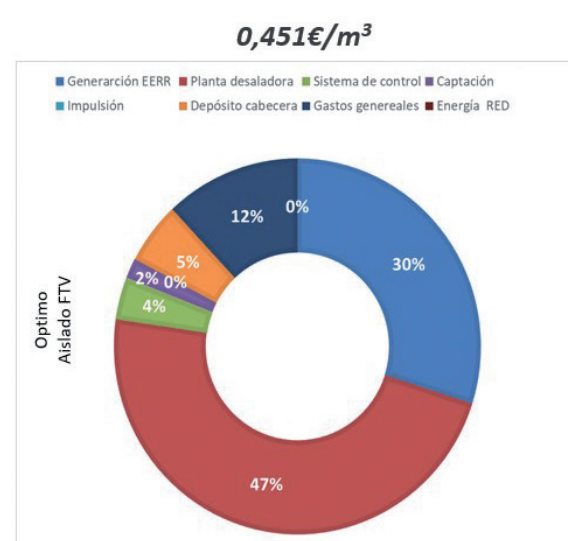
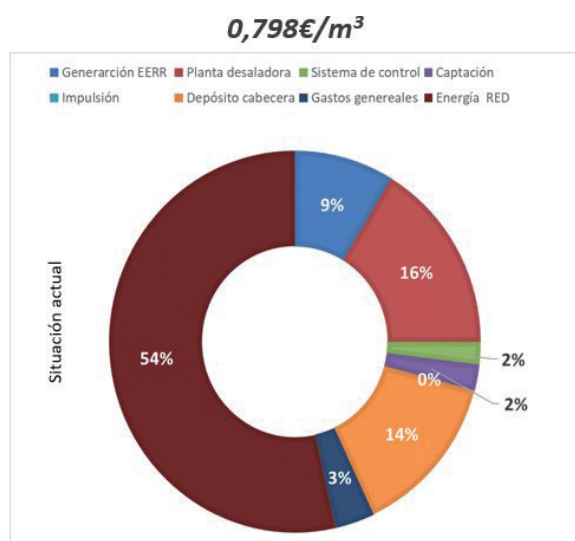
ces on a self-consumption basis, have been compared in order to evaluate their application in off-grid systems, with very encouraging results.

Implementing this methodology, the cost of water produced onsite at the plants, including storage tank costs, ranged between €0.50 and €0.70/m³, without any external financial support.

For comparison purposes, the following graph shows the cost breakdowns for a grid-connected desalination plant, assuming an electricity cost of €0.18/kWh (left), and for a renewable-energy-powered plant with the same capacity (right).

Powering seawater desalination exclusively with renewable energy sources offers numerous technical advantages over conventional systems:

- Technologies are fully accessible and proven.
- Systems can be designed for a wide range of production scales (from a few cubic metres to several thousand cubic metres per day).
- Shutting down a single module does not significantly affect overall water production.
- Large electricity storage systems (batteries) are not required.
- Racks can be added as needed.
- Installation is possible anywhere on or near the coast.
- The plant can be relocated if necessary.
- Rapid deployment is possible, as units can be assembled in containers.
- Maintenance is simple, especially at a high level, due to the ease of moving or replacing individual modules.
- High residual value, as modules operate independently.
- No need for connection to the general electricity grid (power transmission lines to connection points), reducing administrative procedures.



Comparativa a pie de planta, para un coste de 0,18 €/Wh. Situación actual del proyecto y óptimo

- Rápida implantación al poder montarse en contenedores.
- Mantenimiento sencillo, especialmente el de alto nivel, por la facilidad de trasladar o sustituir un módulo.
- Alto valor residual, al ser los módulos independientes unos de otros.
- No necesitan conexiones a la red eléctrica general (líneas de transporte de las energías hasta los puntos de enganche), con lo que se reduce la tramitación administrativa.

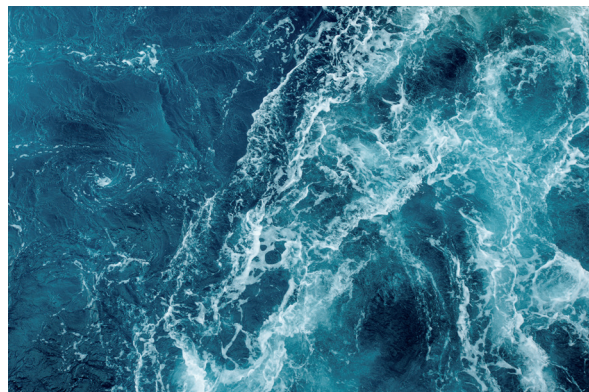
Desde un punto de vista económico este concepto también presenta múltiples ventajas:

- El coste del agua es más bajo (o similar) en relación a las plantas convencionales, si bien el agua desalada con energías renovables es insensible a las variaciones de precios y suministro de la electricidad convencional.
- Impulso del sector industrial (fabricación de estos sistemas).
- Incremento del empleo en el propio sector industrial y en el primario.

Desde un punto de vista medioambiental, también presenta claras ventajas:

- Garantía de agua para el consumo humano y la agricultura con independencia del régimen de lluvias.
- No agotamiento de los acuíferos e, incluso, recarga de los mismos, al no depender de aguas subterráneas.
- Se eliminan las emisiones de gases de efecto invernadero y, por tanto, menor impacto climático.

En conclusión, puede afirmarse que la producción de agua desalada a partir de agua de mar con el uso exclusivo de energías renovables no solo es técnica y económicamente factible, sino que constituye una réplica, a escala humana, del ciclo del agua en la naturaleza. 🌈



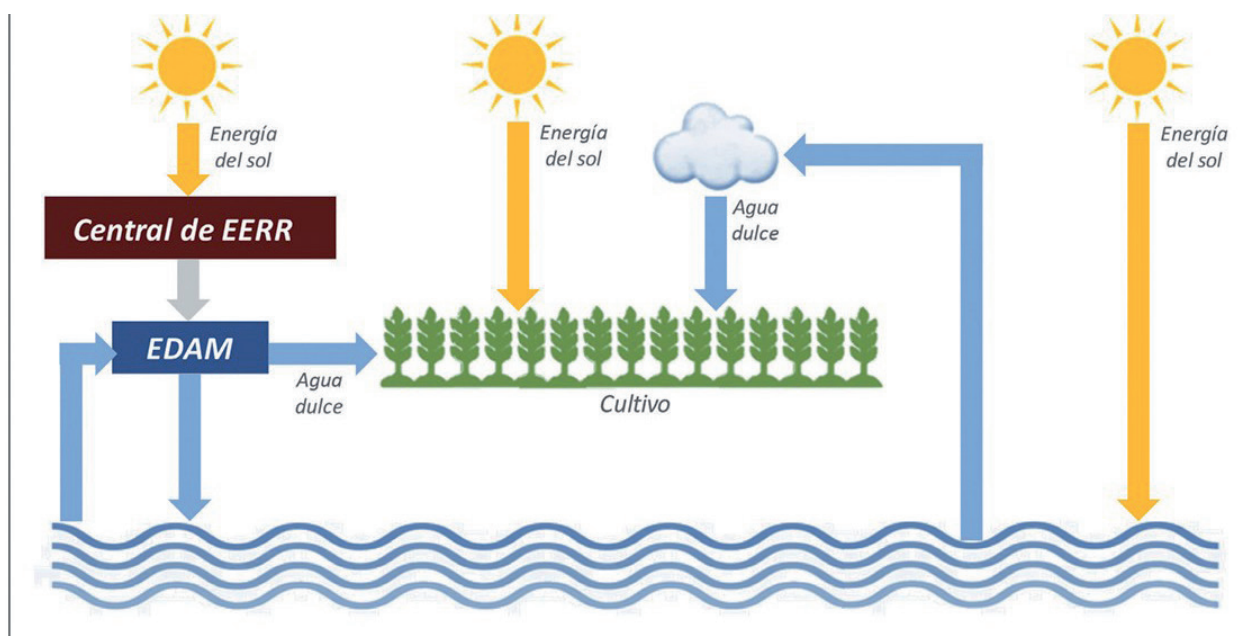
This model also offers several economic advantages:

- Water production costs are lower (or similar) compared to conventional plants, and desalination powered by renewable energy is unaffected by fluctuations in conventional electricity prices or supply.
- Activity in the industrial sector dedicated to the manufacture of these systems is boosted.
- Employment is stimulated in both the industrial sector itself and in the primary sector.

The model also offers clear environmental benefits:

- Ensures water supply for human consumption and agriculture regardless of rainfall patterns.
- Avoids aquifer depletion and can even support aquifer recharge, because the system does not rely on groundwater.
- Eliminates greenhouse gas emissions and therefore reduces climate impact.

In conclusion, producing desalinated water from seawater using only renewable energy is not only technically and economically feasible, but also replicates the natural water cycle on a human scale. 🌈



Ciclo industrial del agua para riego agrícola mediante desalación con energías renovables