



# Binomio agua y energía

**Palabras clave:** Agua, energía, desarrollo, central eléctrica, central hidráulica, abastecimiento, país en desarrollo.

**Key words:** Water, energy, development, power plant, hydraulic plant, supply, developing country.

## Resumen

El agua es la fuente de toda vida y es un bien necesario para el desarrollo de cualquier ser vivo. Como bien de primera necesidad, el bienestar depende de la capacidad de acceso al agua. Por su parte, la energía es esencial para el acondicionamiento del medio a las necesidades de la sociedad, el transporte, la luz y, en general, cualquier actividad productiva. Aunque en un principio eran recursos desconectados, el desarrollo tecnológico hace que ambas estén estrechamente relacionadas. La energía se usa para captación, distribución, depuración y reutilización del agua, mientras que el agua es necesaria para la extracción, generación, procesado y transporte de las diferentes fuentes energéticas. En este artículo se analizarán dos casos en países en desarrollo de uso conjunto del binomio agua-energía: el abastecimiento de agua de una comunidad en Benín y el abastecimiento eléctrico de un pueblo en Perú gracias a una central minihidráulica.

## Abstract:

*On the one hand, water is the source of life and it is necessary to the development of any life form. As a basic necessity, our welfare depends on the water availability. On the other hand, energy is crucial for transportation, lights, adapt the environment to society needs and any productive activity in general. Although in the beginning both resources were independent, technological development made them intimately related. Energy is used for water collection, distribution, purification and reuse, while water is needed in different energy sources extraction, generation, processing and transportation. In this article, two case studies of application of water-energy couple in developing countries are analyzed: water supply in Benin and electricity supply using a mini-hydraulic power plant in Peru.*



**Manuel Alvar**

Ingeniero industrial del ICAI y de L'École Centrale de París (Promoción 2007). Actualmente trabaja como investigador en formación realizando el doctorado en el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT).

## Introducción

El agua es un bien necesario para el desarrollo de cualquier ser vivo y por consiguiente del ser humano. Es la fuente de toda la vida en la Tierra. La ONU remarca la importancia actual del agua haciendo la década 2005-2015 como el decenio dedicado a “el agua, fuente de vida” (ONU, 2005). Desde hace unos años se han intensificado las noticias relacionadas con la escasez de agua –(European Environment Agency, 2009), (Aldaya & Llamas, 2008) y (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2006)–, e incluso la ONU pone el lema “Afrontando la escasez del agua” al día mundial del agua de 2007.

Pero el problema no es la falta de agua, ya que se conserva constante. Se calcula que hay aproximadamente 1.400 millones de km<sup>3</sup> (Gleick, 1996) de agua. La Figura 1 muestra el reparto de esa agua. El problema es el acceso a agua potable. El crecimiento poblacional y el crecimiento de consumo medio de agua por habitante, como lo refleja Jacques Diouf (Diouf, 2007), director general de la FAO, reducen la cantidad de agua potable por habitante. Ahora bien, con la suficiente energía, se puede potabilizar agua salada o acceder a aguas no superficiales. Es por eso por lo que resulta esencial enfocar correctamente el problema y no observar únicamente el acceso al agua, sino tener en cuenta también el binomio agua-energía.

## Uso del agua y de la energía Agua

El agua es una fuente de vida, y de ella no solo depende la subsistencia del hombre, sino igualmente su bienestar físico, económico, social y cultural (Linares & Sáenz de Miera, 2010). El agua es un bien de primera necesidad al ser usada para beber y para el saneamiento. Igualmente, el agua es necesaria para el cultivo, la ganadería y la preparación de alimentos. Incluso los árabes ya la utilizaban ornamentalmente. Por último, cada vez es más común ver el uso de agua para actividades culturales y de entretenimiento.

## Energía

En las sociedades avanzadas el uso de la energía está muy desarrollado. La energía es necesaria para el transporte, la luz y el acondicionamiento del medio a las necesidades de la sociedad. Igualmente cualquier proceso productivo necesita energía.

## Origen del binomio agua-energía

### Origen y desarrollo del agua

Existe un ciclo del agua que renueva el agua superficial. En un principio, este ciclo aseguraba una fuente permanente de agua dulce para el uso humano. La falta de medios y en parte la falta de necesidad hicieron que no se dispusiesen de construcciones para almacenar grandes reservas, ni mecanismos para controlar su uso.

El avance tecnológico contribuyó al incremento y a la evolución del uso del agua. Se han desarrollado tecnologías capaces de controlar el uso del agua, almacenarla, tratarla, depurarla y potabilizarla, crear nuevas fuentes de agua no convencionales, etc.

## Origen y desarrollo de la energía

Por su parte, la fuente inicial de energía fueron la madera y el carbón para dar calor y luz. La fuerza de personas y animales se utilizaba igualmente para tareas de transporte o ayuda a diferentes actividades (caza, pesca, agricultura...).

La evolución tecnológica permitió el desarrollo del almacenaje de la energía. Ahora somos capaces de almacenar y distribuir energía de diferentes maneras. Además, se ha accedido a nuevas fuentes de energía, como los recursos fósiles o las energías renovables. Además tecnologías que aún se encuentran en desarrollo permitirán la ampliación de las fronteras.

## Binomio agua-energía

Aunque en un principio ambos recursos eran recursos desconectados, el desarrollo tecnológico hace que actualmente ambas estén estrechamente relacionadas. Muchos de los nuevos desarrollos en el campo del agua necesitan una fuente de energía para funcionar, como puedan ser una desalinizadora o una bomba de agua. Por su parte, las presas usan el agua como una forma de almacenamiento de energía. Las centrales hidráulicas, que utilizan el agua como fuente de energía o las centrales termosolares, de gas y nucleares, que usan el agua para refrigerar y transformar la energía térmica y ser usada en una turbina, ponen de manifiesto el empleo del agua en la generación de energía.

## Interacción del binomio agua-energía

### Energía necesaria para el agua

Todos los usos del agua necesitan de una fuente energética para su tratamiento, bombeo, saneamiento, potabilización, calentamiento o transporte. A partir de una fuente energética se puede conseguir agua

Figura 1. Reparto de agua. Reparto del agua dulce (Gleick, 1996)

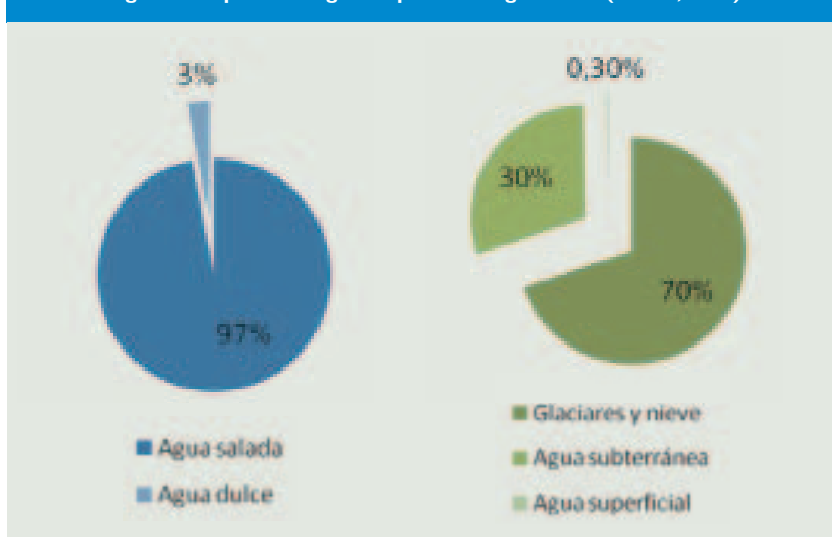


Tabla 1 .Tecnologías según proceso del agua

Ciclo del agua	Procesos	Tecnologías
Captación	Aguas superficiales: presas, embalses	Central hidroeléctrica convencional, reversible, de bombeo puro
	Aguas subterráneas: pozos, acuíferos	Sistemas de bombeo, tipos de perforación, caudal, profundidad de la fuente, energía convencional o renovable
	Fuentes no convencionales: desalación de agua marina, desalobración de aguas subterráneas salobres	Destilación por efecto flash multietapa, múltiple efecto, compresión térmica de vapor, desalación solar, desalación por membranas con electrodiálisis, ósmosis inversa
Distribución	Canalizaciones, orografía, distancia desde la fuente, fricción, fugas	Sistemas de bombeo, riegos (aspersión, goteo, eficiencia, programadores, sectorización de redes)
Depuración	Aguas residuales	Tratamientos blandos (filtros verdes, lagunaje, lechos de turba), primarios, biológicos (filtros percoladores, fangos activos), avanzados (biológicos, físicos, mixtos)  Tratamientos de la gestión de lodos (usos agrícolas, revalorización energética)
Reutilización	Agua regenerada	Tratamientos físico-químicos, filtros de arena, de anillas, tratamientos con membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa), desinfección con medios físicos (radiación ultravioleta) y con medios químicos (cloro y derivados, ozono)

de diversas maneras. Por su parte, el agua es necesaria en el proceso de generación y distribución de la energía. Las centrales hidroeléctricas emplean el agua como fuente de energía. El agua produce energía y la energía produce agua. Es por eso por lo que no solo se desarrollan tecnologías conjuntas, sino que políticamente se relacionan.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las diferentes tecnologías que se usan en cada proceso del ciclo del agua, cada una de las cuales genera o consume energía. La necesidad de energía de los diferentes procesos se calcula con la huella energética, que no es fácilmente calculable pues depende fuertemente de la tecnología utilizada y del terreno, entre otros factores.

### Agua necesaria para la energía

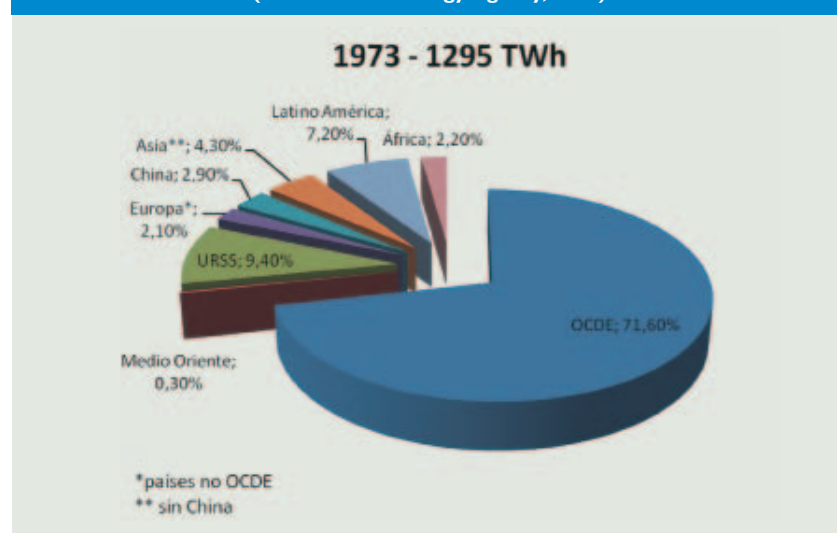
El uso de la energía hidroeléctrica ha aumentado fuertemente en países en vías de desarrollo y emergentes, como China o los países de América Latina (Figura 2 y Figura 3). Sin embargo, en países de la OCDE se ha estancando, de manera que representa

un 2,1% de su producción energética total desde hace 35 años (International Energy Agency, 2010).

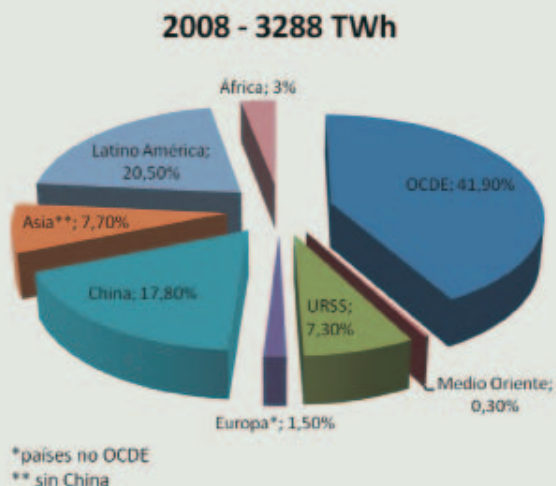
Pero, como se ha comentado, la energía hidroeléctrica no es la única que necesita agua para su funcionamiento. En la Tabla 2 se muestra el consumo de agua por tipo de energía. Se puede observar que la energía biodiésel es la que más agua consume.

Linares y Sáenz (Linares & Sáenz de Miera, 2010) explican que el mayor consumo de agua para la producción energética se encuentra en el agua que se usa para refrigerar centrales térmicas, el agua evaporada de los grandes embalses, el agua para riego de biocombustibles y el agua empleada en la extracción y refinado de combustibles fósiles. En la Tabla 3 se

Figura 2. Reparto de la producción hidroeléctrica por regiones en 1973. (International Energy Agency, 2010)



**Figura 3. Reparto de la producción hidroeléctrica por regiones en 2008 (International Energy Agency, 2010)**



**Tabla 2. Consumo de agua por tipo de energía**

Tipo de energía	Agua consumida total (m <sup>3</sup> /MWh)
Solar	0,001
Eólica	0,001
Gas	1
Carbón	2
Nuclear	2.5
Gasoil/petróleo	4
Hidroeléctrica	68
Biodiesel	178

**Tabla 3. Efectos de la producción y uso de la energía sobre el agua (Linares & Sáenz de Miera, 2010)**

FASE DEL CICLO ENERGÉTICO	CANTIDAD DE AGUA	CALIDAD DEL AGUA
<b>Extracción y producción</b>		
Exploración de gas y petróleo	Agua para perforar, fracturar y completar	Impacto en la calidad del agua subterránea
Extracción de gas y petróleo	Grandes volúmenes de agua producida, contaminada	El agua producida puede contaminar las aguas subterráneas y de superficie
Minería del carbón y el uranio	La minería puede generar grandes cantidades de agua contaminada	Los residuos y drenajes pueden contaminar el agua subterránea y de superficie
<b>Generación eléctrica</b>		
Termoeléctrica (fósil, nuclear, biomasa, solar, geotérmica)	Agua de refrigeración y limpieza	Contaminación de aguas por vía atmosférica y térmica
Hidroeléctrica	Pérdidas por evaporación	Impactos sobre la temperatura, calidad y ecología del agua
Fotovoltaica y eólica	Pequeños impactos durante la construcción	
<b>Refino y procesado</b>		
Refino de petróleo y gas	Agua para el refino	Posibles problemas de contaminación
Biocarburantes	Agua para cultivo y refino	Aguas residuales en el refino y el cultivo
Hidrógeno y combustibles sintéticos	Agua para síntesis o reformado	Aguas residuales
<b>Transporte y almacenamiento</b>		
Gas- y oleoductos	Agua para pruebas hidrostáticas	Aguas residuales
Residuos de carbón	Agua para el transporte	Aguas residuales
Transporte en barco		Accidentes
Almacenamientos subterráneos de gas y petróleo	Agua para la preparación del almacenamiento	Lodos

hace un resumen del uso del agua en las 4 grandes fases de la producción energética: extracción y producción, generación eléctrica, refinado y procesamiento y, por último, transporte y almacenamiento.

Para más información sobre la huella hídrica, Gerbems-Leenes desarrolla un estudio más exhaustivo con la huella hídrica de cada proceso para diferentes fuentes de energía, analizándola detalladamente para cada tipo de cultivo de biocombustible (Gerbems-Leenes, Hoekstra, & van der Meer, 2008). Por su parte, Chapagain y Hoekstra analizan la huella hídrica ampliándola a todos los ámbitos de cada nación, no únicamente a la huella debida a la industria energética (Chapagain & Hoekstra, 2004).

### Casos ejemplo

Aunque en países desarrollados la innovación y las soluciones técnicas desarrolladas para afrontar el problema conjunto de abastecimiento de agua y electricidad son múltiples, se ha centrado el estudio en dos casos ejemplos en países en desarrollo. En un primer momento se analizará el proyecto "Nim Buram (el agua buena)", de Manos Unidas en Benín, para la captación y abastecimiento de agua saludable para los pueblos. En una segunda parte, se mostrará el uso de una central microhidráulica para abastecer las necesidades de un pequeño pueblo en Perú. En ambos casos se estudiará brevemente la gestión de dichos proyectos.

### Abastecimiento de agua en Benín

Este proyecto parte de la necesidad de agua potable puesta en evidencia por el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 2010. En él se cifra en más de un millón de niños muertos al año debido al estado del agua y a la falta de higiene. En el X foro de Manos Unidas se apunta que el 80% de las enfermedades en países en desarrollo son causadas por falta de agua limpia y saneamiento adecuado, al igual que el 60% de enfermedades que causan mortalidad infantil.

La comunidad de Sinendé, en Benín, es una región donde el acceso al agua depende del esfuerzo diario de las mujeres, agravándose en la época seca. Históricamente las enfermedades relacionadas con el agua son constantes. Además se han realizado previamente proyectos de captación y abastecimiento de agua que dan una experiencia previa para saber cuáles son los puntos fuertes y débiles de cada alternativa.

El proyecto ha instalado en total 4 depósitos, 28 letrinas y 28 fuentes públicas en cuatro pueblos de la región. La bomba de agua para cada depósito era mixta, capaz de funcionar con la energía de 7 paneles solares de 180W o gracias a un generador a combustible.

En un principio, se consideró únicamente una solución basada en gasoil, pero por un análisis de coste y a petición de las administraciones locales cercanas, se optó por basarse en energía fotovoltaica. Aunque las placas son de procedencia europea, se debían adquirir los generadores a combustible en países cercanos debido a la falta de oferta en el mercado local. Aún así, se ha hecho un esfuerzo para fomentar en los vendedores locales la compra de materiales necesarios para el mantenimiento y recambio de estas placas.

Para asegurarse la viabilidad del proyecto, se formaron dos jóvenes por pueblo en fontanería para el mantenimiento de las tuberías y el depósi-



Depósito de agua.

to, y otros jóvenes para tareas técnicas relacionadas con las placas, las bombas, etc. Estos jóvenes tendrán sueldo y motos para sus desplazamientos. Los pagos son posibles gracias a la venta de agua. La correcta tarificación del agua y la electricidad es esencial, no sólo para incentivar el desarrollo tecnológico (Linares & Sáenz de Miera, 2010), sino para la sostenibilidad del proyecto. Este dinero es recogido por un encargado por fuente, que se lleva una parte de la venta como ingreso. Obviamente, todo el personal necesario era personal local, salvo el personal de la empresa perforadora y el hidrogeólogo que estudió los mejores puntos para perforar.



Fuente pública.



Caseta para la bomba y paneles solares.

## Central microhidráulica en Perú

En el municipio de Conchán existe una central microhidráulica para abastecer las necesidades del pueblo, unos 370 usuarios. Se trata de una central microhidráulica de 80kW, que funciona por derivación al tomar el caudal del agua de un río cercano.

Ingeniería Sin Fronteras, a través de su contraparte ITDG en Perú y a petición de la Municipalidad, decidieron modificar la gestión de dicha central. En este caso, se realizó un nuevo sistema tarifario, cediendo la gestión energética a una empresa local, que deberá pagar una concesión a la Municipalidad (Sánchez & Ecobar, 2001). Esta nueva gestión aseguró la



Ejemplo de turbina de una central minihidráulica en Perú.



Ejemplo de una central microhidráulica de derivación.

sostenibilidad del proyecto. El precio se fijó por bandas, de manera que el consumo mínimo era de 5 soles por 10kWh/mes, siendo el kWh más barato cuanto más se consume, con el fin de asegurarse la venta de la mayor parte de la energía. Para complementar hasta vender toda la energía producida, se acordó con una fábrica de hielo la compra de electricidad a muy buen precio en las horas valle donde se desperdiciaba una gran parte de la energía producida.

## Agradecimientos

El autor de este artículo querría agradecer a Milagros Couchoud, Álvaro López-Peña y Pedro Linares el facilitar toda la información necesaria para la elaboración de este artículo. Igualmente agradecer a Ana Moreno y a Miguel Valle el dar a conocer los dos ejemplos presentados, y por su ayuda y experiencia personal en este tema. ■

## Bibliografía

- Aldaya, M. M., & Llamas, M. R. (2008). Problema mundial del agua. *madri+d*.
- Chapagain, A., & Hoekstra, A. (2004). *Water Footprints of nations*. Delft: UNESCO-IHE, Institute for Water education.
- Diouf, J. (22 de marzo de 2007). Afrontar la escasez de agua. (FAO, Entrevistador).
- European Environment Agency. (2009). *Water resources across Europe-confronting water scarcity and drought*. Copenhagen: EEA Report.
- Gerbems-Leenes, P., Hoekstra, A., & van der Meer, T. H. (2008). *Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers*. Delft: UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Gleick, P. (1996). *Water resources*. Encyclopedia of Climate and Weather, 817-823.
- International Energy Agency. (2010). *Key World Energy Statistics*. Paris: IEA.
- Linares, P., & Sáenz de Miera, G. (2010). *Implications for water of the world energy scenarios*. Working paper, 16.
- ONU. (2005). El agua fuente de vida. Recuperado el 25 de abril de 2011, de sitio web de la ONU para el decenio internacional para la acción: [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/issues\\_scarcity.html](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/issues_scarcity.html)
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2006). La escasez de agua dulce, la ingeniería de cauces de ríos, la contaminación y la pesca excesiva destacan en la evaluación mundial final de aguas internacionales.
- Sánchez, T., & Escobar, R. (2001). Modelo de gestión de servicios eléctricos aislados. IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos. Neuquén, Argentina.