

Análisis de Viabilidad para Puerto Rico

La energía oculta de los ríos

Cuando se unen al mar, la diferencia en salinidad crea un interesante fenómeno



Aprovechando apenas el 10% de la energía disponible en las desembocaduras de ríos, sería posible satisfacer la demanda de electricidad de 520 millones de personas, sin emitir CO₂. ([archivo ap](#))

BBC Mundo

Una fuente de energía poco conocida podría proveer de electricidad a 500 millones de personas, según científicos en Estados Unidos.

Este vasto potencial se encuentra en la desembocadura de los ríos que fluyen hacia el mar. La clave del mecanismo propuesto está en la diferencia de salinidad entre el agua dulce de los ríos y el agua marina. La idea es aprovechar el aumento de energía que se produce cuando se mezclan dos líquidos con diferente grado de salinidad.

“Cuando dos soluciones con diferente grado de salinidad se mezclan, se libera lo que se conoce como energía libre de mezcla”, dijo a BBC Mundo Menachem Elimelech, profesor de Ingeniería Ambiental y Química de la Universidad de Yale en Estados Unidos, autor del estudio junto al estudiante de posgrado Nagi Yin Yip.

“Podemos pensar en este fenómeno como el inverso de la energía de separación: en lugar de usar energía para separar una mezcla en sus elementos constitutivos, la energía en este caso se libera cuando los elementos se combinan”.

Una planta piloto ya fue construida en Noruega para explotar esta fuente de energía, que podría también ser aprovechada en América Latina.

“La energía de los gradientes naturales de salinidad aún no está siendo utilizada en Latinoamérica, pero el potencial es muy grande, ya que la descarga de vías fluviales en la Cuenca Amazónica es enorme”, dijo Elimelech a BBC Mundo.

De acuerdo a los científicos, esta fuente de energía tiene muchas ventajas: no requiere combustible, es sustentable y no emite dióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero.

Proceso continuo

El proceso de aprovechar la energía liberada en la desembocadura de los ríos se conoce como ósmosis por presión retardada, "pressure retarded osmosis" o PRO.

En una planta se puede aprovechar este fenómeno controlando la mezcla de agua dulce y agua marina. La corriente de entrada circula a través de membranas y una turbina convierte esta energía en electricidad, en forma similar a una planta hidroeléctrica.

La turbina se mueve por el incremento de presión producido por el flujo de agua dulce cuando entra en contacto con el agua salada.

Elimelech y Yip concluyeron que aprovechando simplemente el 10% de la energía disponible en las desembocaduras de ríos que corren hacia el mar, sería posible satisfacer la demanda de electricidad de 520 millones de personas, sin emitir CO₂. Para generar la misma cantidad de electricidad una planta a carbón emitiría más de mil millones de toneladas métricas de gases de invernadero cada año, según los investigadores.

Otra de las grandes ventajas, de acuerdo a los científicos, es que la energía que resulta de gradientes naturales de salinidad no es intermitente sino continua y se trata de una fuente de energía común en el planeta, por lo que puede aprovecharse a nivel local.

La primera y por ahora única planta que utiliza PRO es una instalación de demostración inaugurada en Noruega en 2009. Se trata de una planta que aún no contribuye a satisfacer la demanda eléctrica del país.

"Esta fuente de energía fue mencionada por primera vez en la década del 50, pero no generó suficiente atención debido a las limitaciones tecnológicas de aquella época y el interés limitado de entonces en la energía renovable", dijo Elimelech a BBC Mundo.

"La energía de los gradientes naturales de salinidad no será la solución mágica que resolverá nuestra demanda energética, pero creemos que puede contribuir a aliviar los problemas que ya enfrentamos debido al cambio climático".

El estudio fue publicado en la revista de la Sociedad de Química de Estados Unidos, Environmental Science and Technology.

Análisis

De acuerdo a la teoría la presión máxima generable con agua de mar es aproximadamente 21.5 atmósferas.

Usando la ecuación de Bernoulli estimados la energía máxima que se podría generar:

$$\text{Energía máxima específica (Joules/kg)} = 21.5 \text{ atm} \times 1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2/\text{atm} \times 1 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$\mathbf{2,020 \text{ Joules/Kg}}$$

Para estimar la energía total necesitamos el caudal de agua para el mezclado. Presumamos que se usa toda el agua de lluvia MENOS la que usamos menos la que se evapora.

Lluvia total. Presumamos 50 pulgadas anuales de lluvia:

$$50 \text{ in/yr} \times 2.54 \text{ cm/in} \times (1\text{m}/100 \text{ cm}) \times 1 \times 10^6 \text{ hectáreas (área total de PR)} \\ \times 10,000 \text{ m}^2/\text{hectárea} \times 1.27 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{yr} \times 1,000 \text{ Kg/m}^3 =$$

$$\mathbf{1.27 \times 10^{13} \text{ Kg agua/yr.}}$$

Uso diario. Presumamos 50 galones/día-cápita.

$$4 \times 10^6 \times (50 \text{ galones/día-persona}) \times 365 \text{ día/yr} \times 8.3 \text{ lb/galón} \times (1 \text{ Kg}/2.2 \text{ lb})$$

$$= \mathbf{2.75 \times 10^{11} \text{ Kg/yr}}$$

~ 100 veces menor que la lluvia total.

Evaporación (¿?). Presumamos 5% de la tierra es el área de evaporación, 5 kWh/día-m² de irradiación solar

$$1 \times 10^{10} \text{ m}^2 \times 0.05 \times 5 \text{ kWh/día-m}^2 \times 365 \text{ días} \times 3,412 \text{ BTU/kWh}$$

$$\times (1 \text{ lb}/1,000 \text{ BTU}) \times (1 \text{ Kg}/2.2 \text{ Lb})$$

$$= \mathbf{1.41 \times 10^{12} \text{ Kg/yr}}$$

Sólo 10 veces menor que la lluvia total. Hay que verificar.

Agua para salinadores: $12.7 \times 10^{12} - 0.275 \times 10^{12} - 1.41 \times 10^{12} =$

$$\mathbf{1.1 \times 10^{13} \text{ Kg/yr} \sim 1.0 \times 10^{13} \text{ Kg/yr}}$$

$$\mathbf{3.17 \times 10^5 \text{ Kg/sec}}$$

Energía total:

$$2,020 \text{ J/Kg} \times 1.0 \times 10^{13} \text{ Kg/yr} \times (1/(365 \times 24 \times 3,600)) =$$

$$\mathbf{6.4 \times 10^8 \text{ Watts} = 640 \text{ MW}}$$

Área requerida de los salinadores:

Flujos típicos a través de sistema de membranas –

$$7.24 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2\text{-sec} \times (1 \text{ Kg}/1,000 \text{ g}) \times (100 \text{ cm}/1 \text{ m})^2 =$$

$$\mathbf{7.24 \times 10^{-3} \text{ Kg/m}^2\text{-sec}}$$

$$\text{Área necesaria: } (3.17 \times 10^5 \text{ Kg/sec}) / 7.24 \times 10^{-3} \text{ Kg/m}^2\text{-sec} =$$

$$\mathbf{4.378 \times 10^7 \text{ m}^2}$$

Diseño del sistema. Presumir radios de tubos – 1 metro, 10 metros de largo y alto.

$$\text{Largo total de tubos} - 4.378 \times 10^7 \text{ m}^2 / (2 \times \text{Pi} \times 1 \text{ metro}) =$$

$$\mathbf{7.0 \times 10^6 \text{ metros}}$$

Después de “stacking”

$$\text{Largo equivalente: } 7.0 \times 10^6 / (10 \times 10) = 70 \text{ km.}$$

Teoría de Reverse Osmosis

$$\pi = iMRT$$

What is the osmotic pressure (at 25°C) of seawater? It contains approximately 27.0 grams of NaCl per liter. (Seawater contains other stuff, but we'll ignore it.)

Convert grams to moles:

$$27.0 \text{ g} \div 55.85 \text{ g/mol} = 0.483 \text{ mol}$$

Now, plug into the equation:

$$\pi = i (0.483) (0.08206) (298)$$

There's that pesky van 't Hoff factor. What is its value for NaCl?

When NaCl ionizes in solution it produces Na^+ ions and Cl^- ions. One mole of NaCl produces 1 mole of each type of ion. So the van 't Hoff factor is, theoretically, equal to 2. However, we will use 1.8 and I'll explain that in a moment.

So, plug again and then solve:

$$\pi = (1.8) (0.483) (0.08206) (298)$$

Answer: 21.5 atm. That's about 313 pounds per square inch (or 22.0 kg per square cm. in metric terms)

Why did I use 1.8 for the van 't Hoff factor for NaCl rather than 2?

This has to do with a concept called ion pairing. In solution, a certain number of Na^+ ions and Cl^- ions will randomly come together and form NaCl ion pairs. This reduces the total number of particles in solution, hereby reducing the van 't Hoff factor.