

Agua en la Producción de Energía – Energía en la Producción de Agua.

La interacción de agua y energía, en la producción de electricidad, está determinada por el tipo de combustible y tecnología utilizada. En la generación térmica, incluyendo la concentración solar, el agua es un insumo para producir vapor, enfriar y limpiar los equipos. La generación con carbón también requiere de agua para preparar el carbón a inyectar por los quemadores, en algunos modelos de calderas.

La modalidad de enfriamiento en las plantas de carbón influye también en el consumo de agua. La opción de enfriamiento en seco (temperatura ambiente) requiere menos agua, que el enfriamiento utilizando agua fresca. La generación hidroeléctrica es un gran demandante de agua. El mayor demandante de agua en producción de energía. La evaporación superficial en los embalses contribuye al elevado consumo de agua en los complejos hidroeléctricos, en adición a la generación.

Los motores de combustión interna a gas natural, diésel o bunker (HFO #6), utilizan agua para enfriamiento. Las turbinas a gas o diésel utilizan menos agua que las plantas de carbón; pero la requieren en el proceso de enfriamiento. En lo que concierne a la generación térmica con concentradores solares (parabólicos o planos), esta tecnología puede consumir mucha agua o poca.

Existen tecnologías que no requieren vapor. El calor de la radiación solar puede aumentar la temperatura de aceite térmico para evaporar un refrigerante, por intercambio de calor. El gas producido se mantiene en un ciclo cerrado, que incluye turbina de generación. Esto es el Ciclo Orgánico Rankine. Los cuadros 1 y 2 resumen el consumo de agua por tipo de combustible de generación. Las figuras 1 y 2 ilustran el uso de agua en generación con carbón y el ciclo orgánico Rankine, respectivamente. El ahorro de agua debe ser parte de los objetivos para lograr mayor eficiencia en la generación eléctrica.

En la potabilización, la energía eléctrica es utilizada para mover los motores eléctricos de las bombas de agua e impulsarla por las tuberías de distribución y hacia los tanques de almacenamiento. En el tratamiento de aguas residuales, las bombas de impulsión hacia los depósitos de aireación incluyen motores eléctricos. En el proceso de concentración y secado también se utiliza energía eléctrica.

Si la reducción de CO₂ es elemento importante en la planificación de las alternativas de generación eléctrica, el uso del agua es también prioritario en el proceso. En otras palabras, una selección de

combustibles y tecnología, sin considerar el consumo de agua, puede aumentar en estrés hídrico en regiones con escasez de agua. Los generadores a carbón suelen estar ubicados en las costas para utilizar agua de mar.

En esta entrega del monitor se comparan datos de consumo de agua en la generación de electricidad, específicamente en las turbinas de gas, con relación a la generación con carbón e hidroeléctrica. La última sección evalúa la desalinización de agua de mar, con calor residual y renovables.

Sabaneta y Monción consumo de agua en generación eléctrica. Datos de la industria.

El cuadro 1 resume datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2016). En el mismo se observan pronósticos a la baja del consumo de agua en la generación con carbón. Esto en virtud de los programas de cierre de plantas que utilizan este combustible. Cabe resaltar que se asume aumento de la generación nuclear y biocombustibles.

El cuadro 2 presenta datos de consumo de agua por energía producida (Mwh). Biomasa registra en mayor consumo por Mwh, superando la energía nuclear y el carbón. Esto se explica en virtud que el agua utilizada para regar los predios que producen los cultivos, fuentes de biomasa, se añaden en las estimaciones. Las energías renovables registran consumo de agua bastante reducidos, con relación a las demás tecnologías de generación. Viento es la fuente de energía de menor consumo de las presentadas en los cuadros mencionados.

Cuadro 1
Consumo Global de Agua en Generación de Energía.
Escenario de Desarrollo Sostenible (billones de m³)

Combustible	2016	2030
Fósiles	18	15.1
Carbon	8.4	3.3
Gas	1.9	1.9
Nuclear	3.8	4.4
Biomasa	0.5	1.1
Biocombustibles	14.5	45.8

Fuente: IEA 2016

Cuadro 2
Consumo de Agua en Generación. M³ por Mwh.

Combustible	Máximo	Mínimo
Nuclear	227.1	95
Carbón	189.3	76
Biomasa	378.5	151
Solar fotovoltaica	1.97	0.85
Concentración solar	3.03	
Viento	0.32	0.17

Fuente: Civil Society Institute Report 2012



Con el objetivo de ampliar información sobre el consumo de agua en la generación con carbón, la Figura 1 esquematiza el uso de agua. El detalle presentado muestra el consumo en cada etapa del proceso. Las unidades se han tomado en galones por minutos (gpm). Los datos están referidos a la operación de una planta de 520 Mwh analizada en estudio del Department of Defense National Energy Technology Laboratory (NETL). Una planta de este tipo consume 12 millones de galones de agua por hora (45,425 m³ por hora).

Figura 1.

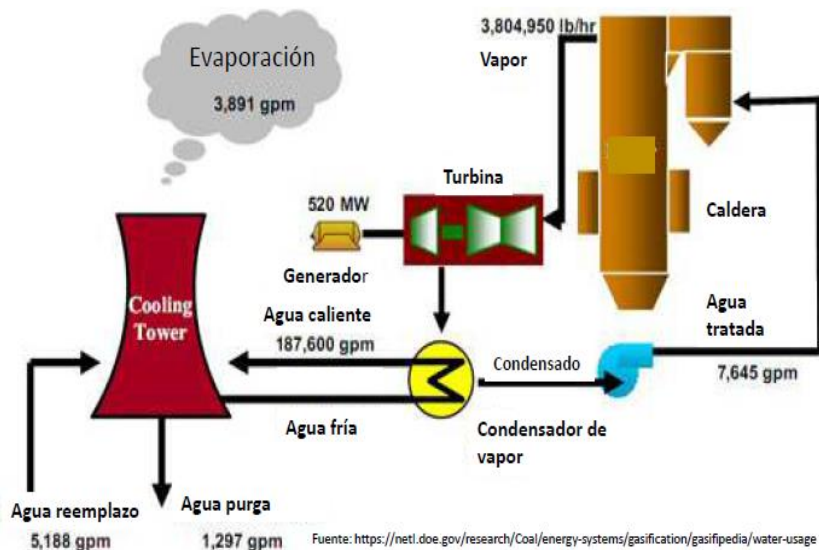
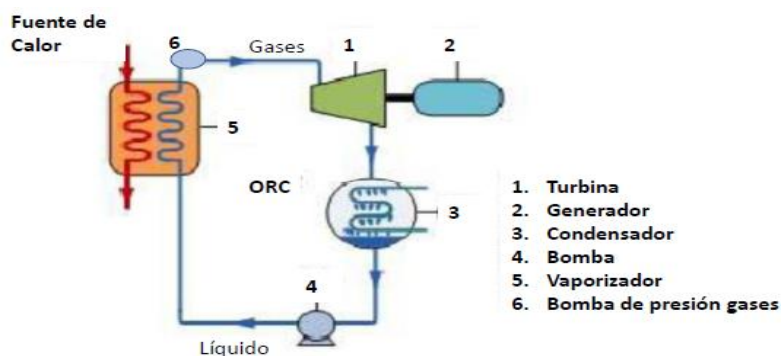


Figura 2.



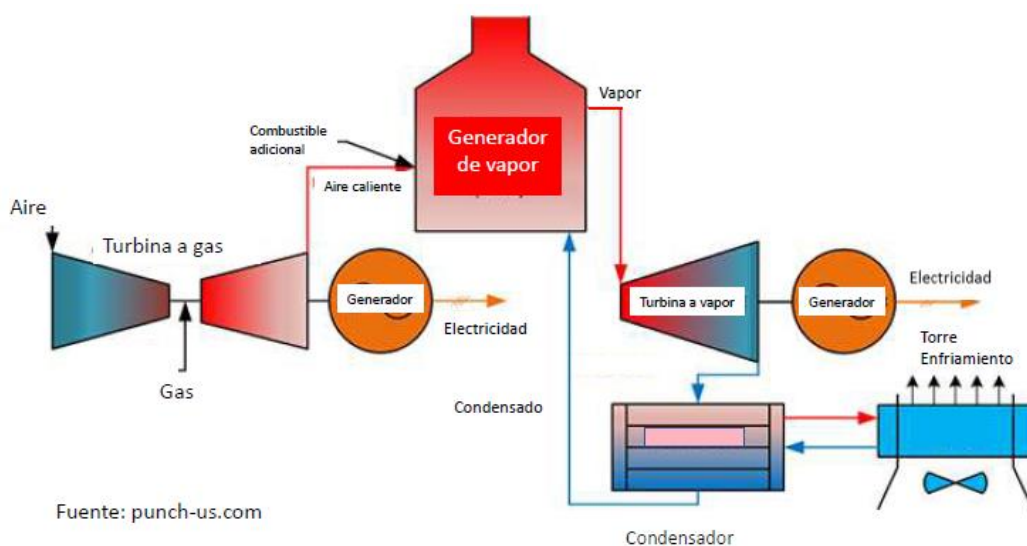
Fuente: <https://1library.co/document/download/q20p1kpz?page=1>



La Figura 2 muestra un esquema resumido del ciclo orgánico Rankine (ORC por sus siglas en Inglés). La fuente de calor puede ser los gases de escape de una planta de generación térmica ($80^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$). Esta tecnología permite aumentar la generación en una fracción de la planta principal. El total de kilovatios adicionales depende de la temperatura de los gases, horas de operación de la planta y potencia de esta. Esta tecnología no utiliza agua.

La generación con gas natural, en ciclo combinado, el consumo promedio de agua es 2,793 gal/MWh. El consumo correspondiente a las plantas de carbón 21,406 gal/MWh. Estos consumos corresponden al 2020 en los Estados Unidos (EIA, 2021). La generación adicional en el ciclo combinado a gas natural proviene de producir vapor, con el calor de la turbina principal (gas natural). El vapor producido se inyecta a un recuperador de calor. El agua utilizada se recupera en torre de enfriamiento. Un porcentaje del agua se pierde por evaporación. La Figura 3 esquematiza el ciclo combinado a gas natural. Este ciclo permite aumentar la generación con muy poca utilización de combustible adicional.

Figura 3.



Agua y Generación Hidroeléctrica

La generación hidroeléctrica, considerada como fuente renovable, es el mayor consumidor de agua fresca. Esto en virtud de la elevada evaporación en la superficie de los embalses, en zonas tropicales y subtropicales. La evaporación es asignada como pérdidas de la instalación hidroeléctrica. De la misma forma, las mermas por evaporación en plantas térmicas se incluyen en el consumo total de agua.

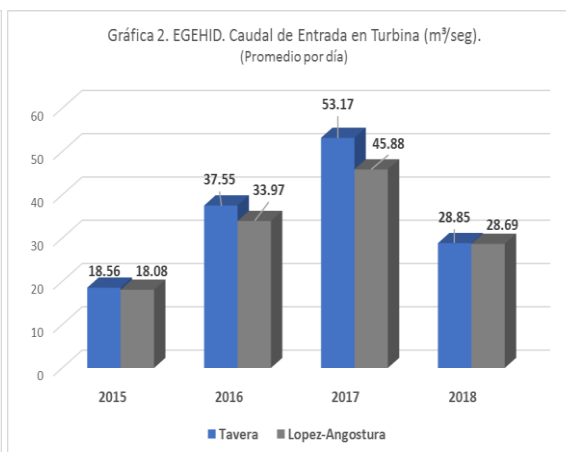
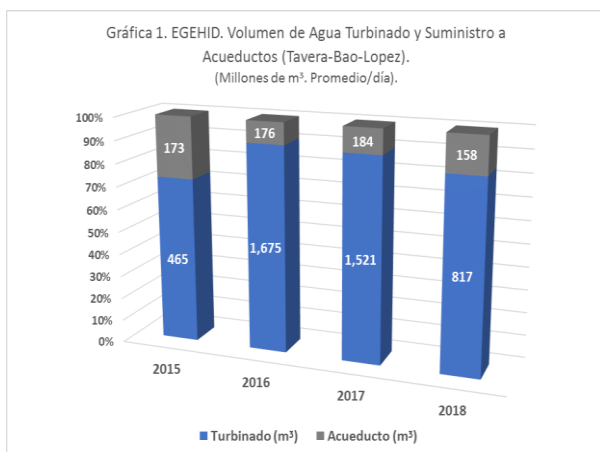
Jin, Behrensa, Tukker, Scherer (2019), estimaron un promedio (mediana) de 51 metros cúbicos por Mwh. El metanálisis realizado por estos autores detectó valores tan elevados como 120,000 metros cúbicos por Mwh. Mekonnen y Hoekstra (2011) también encontraron un rango amplio de consumo de agua en 35 hidroeléctricas estudiadas, en diferentes continentes. El valor más bajo se estimó para la presa de San Carlos, en Colombia: 1.08 m³/Mwh. El valor máximo es 3,046 m³/Mwh, en la presa Akosombo-Kpong, en Ghana. Bakken en 2017 revisó estimaciones a la fecha y determinó rango de consumo de agua entre 5.4 – 234 m³/Mwh.

Diversos factores influyen en la dispersión de los valores en los rangos estimados. Entre estos factores hay que mencionar la relación entre espejo del agua (superficie inundada) y capacidad instalada. Además, las estimaciones de pérdidas por evaporación difieren por zonas geográficas e influyen la disponibilidad de datos de horas de sol, sobre la superficie de los embalses. Las horas de operación de las turbinas son otro factor que explican la amplia dispersión de los consumos.

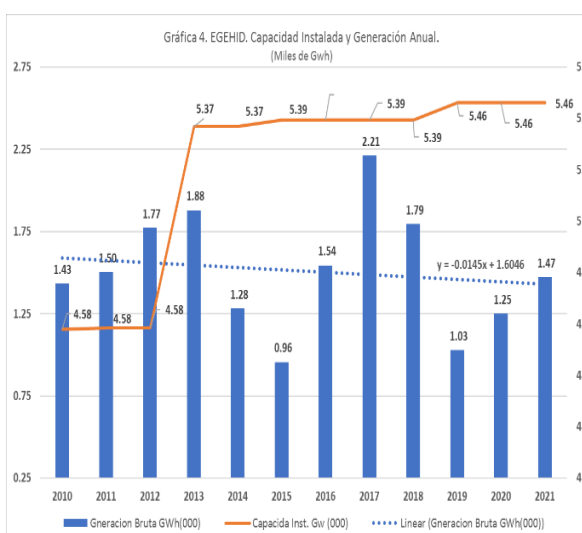
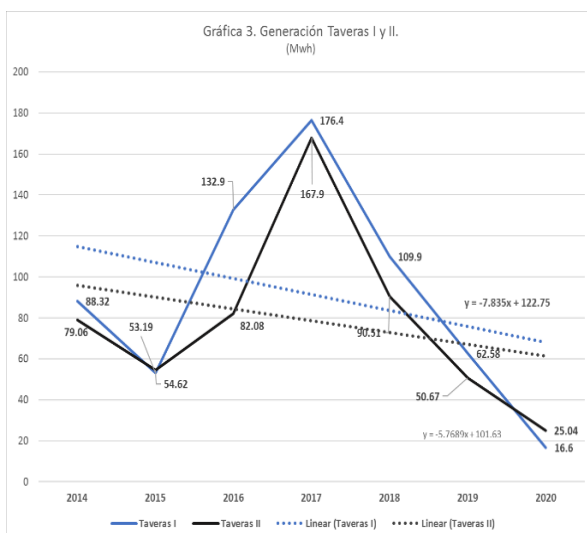
Series de tiempo sobre consumo de agua en generación hidro no se publican frecuentemente en las estadísticas locales. EGEHIDRO incluye esta información en algunas de sus memorias anuales. Con el objetivo de ilustrar el consumo de agua en este renglón, las Gráficas 1 y 2 incluyen datos de las operaciones de la presa de Tavera y el contra embalse de López, en la cuenca del río Yaque del Norte. La Gráfica 1 muestra el promedio diario de aguas turbinadas y el volumen suplidos a los acueductos de Santiago y Moca.

La segunda incluye los caudales de entrada en las turbinas de generación. Los valores de caudales más elevados corresponden al año 2017, año en cual se registró el mayor nivel de generación hidro, en el periodo 2010-2021 (Gráfica 4). Los datos de generación de las unidades de Taveras se resumen en la Gráfica 3. En ambas se puede observar una tendencia decreciente en la generación. La estimación promedio de consumo de agua por Mwh de EGEHID es 3,663 m³/Mwh. Esta cifra es cercana a uno de los valores máximos mencionados arriba. Dicho valor no incluye las pérdidas por evaporación superficial en los embalses.





Fuente: EGEHID. Memorias Anuales.



Fuente: oc.org.do

Es necesario citar el Art. 15 de la Constitución Dominicana que establece:

“El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. El consumo humano del agua tiene prioridad sobre cualquier otro uso”.



En la práctica, el uso del agua en la generación eléctrica predomina sobre los asociados a consumo humano: agua potable y riego. En la Gráfica 3 se puede observar que más del 60% del agua es utilizada en la generación de energía eléctrica, almacenada en los embalses observados. Esta generación puede complementarse o sustituirse con fotovoltaica. La complementariedad entre ambas fuentes de energía es que el agua almacenada suple la energía en ausencia de radiación solar. En otras palabras, el embalse es una especie de batería para la instalación fotovoltaica en superficie.

La inversión en paneles flotantes sobre una porción de los embalses es una tercera parte de la inversión en generación hidro. Los paneles pueden generar energía por más de cuatro horas (tiempo promedio de operación de los embalses locales). Además, los paneles flotantes reducen la evaporación sobre la superficie que cubren en el embalse. Detalles sobre este tema se incluye en el Monitor Energético 11.

Los cuadros 2 y 3 resumen la radiación solar mensual promedio. Los promedios han sido calculados con las observaciones diarias que publica la NASA en su portal power.larc.nasa.gov. El periodo para el cual se hicieron las estimaciones es 2015-2019 (marzo), en Sabaneta. En ambos embalses, los meses de junio, julio y agosto registran la mayor radiación solar horizontal. Los paneles puedan generar energía por algo más de seis horas diarias con una potencia muy cercana a su potencia pico.

Las gráficas 3 y 4 comparan el potencial de generación solar mensual con la generación hidráulica mensual registrada (2019). En el embalse de Moción es posible obtener una generación de energía solar cercana a la generación hidráulica con una capacidad instalada fotovoltaica igual a la potencia de las turbinas hidráulicas. La generación anual solar e hidráulica, en Sabaneta alcanzan 65 Gwh y 25.4 Gwh, respectivamente. Los valores correspondientes para el embalse de Moción alcanzan 88.2 Gwh (solar) y 93.1 Gwh (hidráulica).

Energía en la producción de agua

Una aplicación de la energía que va obteniendo relevancia, a medida que se degradan los recursos hídricos en muchos países, es la desalinización de agua. Los procesos de desalinización pueden utilizar agua de mar o agua salobre de las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos. Otra opción es la de aplicar el proceso de desalinización al agua proveniente de acuíferos subterráneos salinizados, por intrusión marina.

Una de las restricciones principales asociadas con la desalinización es el monto de inversión requerida. La segunda restricción importante está ligada al elevado costo de operación y mantenimiento al utilizar energía convencional y osmosis inversa. La tercera restricción es la



potencial contaminación de salmueras con alta concentración salina que se retorna al mar. Existen alternativas tecnológicas que flexibilizan las restricciones mencionadas. Es perentorio mencionar, que, aunque **el proceso de desalinización se considera muy caro; es más caro no tener agua.**

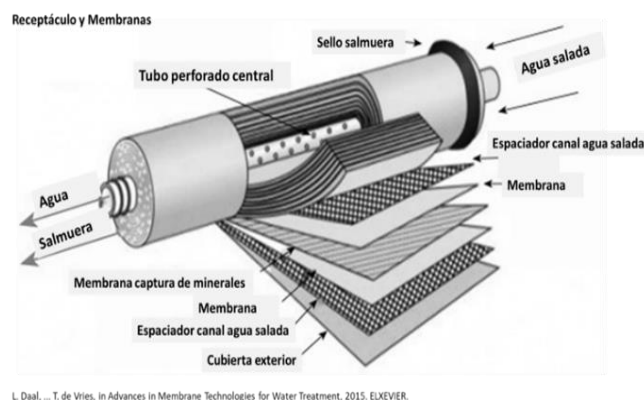
La tecnología de osmosis inversa (RO en la denominación inglesa) consiste en impulsar a presión agua salada a través de una membrana semipermeable, que permite pasar agua fresca. El soluto o salmuera es desplazado para deshecho o ulterior proceso. Es muy común la utilización de energía eléctrica de fuentes convencionales. Los equipos requeridos en esta tecnología no difieren completamente del proceso de osmosis, aplicado en purificación de agua fresca. Las bombas de alta presión son propias de RO. La Figura 4 incluye los conjuntos de membranas y las bombas de una planta de desalinización. La Figura 5 es un esquema de la membrana.

Figura 4.



Fuente: power.larc.nasa.gov

Figura 5.



L. Daal, ... T. de Vries, in Advances in Membrane Technologies for Water Treatment, 2015. ELSEVIER.

Fuente: www.researchgate.net/publication/344169142

En países del Norte de África y del Medio Oriente, MENA por su denominación de conjunto en Inglés, son de los mayores usuarios de la desalinización de agua de mar. En Asia: China, Japón, Filipinas, Singapur, entre otros, están en el proceso de expandir su capacidad instalada para desalinizar agua de mar. Es también necesario mencionar Estados Unidos, India, Israel y España (Cosin 2019).

Informaciones sobre inversión de capital (CAPEX), costos de operación y mantenimiento (OPEX) en procesos de desalinización y tarifas por metro cúbico se resumen en los Cuadros 3 y 4. Datos del Global Water Intelligence (GWI) y del Banco Mundial señalan promedio de inversión de capital por debajo de US\$1,000/m³. Costos de operación y mantenimiento de US\$0.65/m³. La tarifa promedio obtenida para plantas que obtuvieron contratos bajo concurso en 2018 es de US\$52 centavos. Esta tarifa equivale a unos RD\$28 por metro cubico. Esta cifra es inferior al costo de RD\$35 de la Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Santo Domingo (El Dinero. Agosto 31, 2017).



Cuadro 3

Inversión (CAPEX). Costos de Operación y Mantenimiento (OPEX)

Promedios Industria (1)	Min.	Max.	Average
CAPEX US\$/m3	371	1,596	984
OPEX US\$/m3	0.6	1.25	0.93
WORLD BANK (2)			
CAPEX US\$/m3			1,300
OPEX US\$/m3 > 100*10 ³ m3/d	0.5	0.8	0.65
PROMEDIO OPEX			0.79
PROMEDIO CAPEX			984

Fuentes: GWI & IDA Desal Data 2019 (1)

World Bank 2020 (2)

Cuadro 4.

Inversion de Capital en Plantas Desalinizadoras y Tarifas por Metro Cubico.

	M3/Dia	Tarifa/US\$/m3	US\$MM	CAPEX/US\$/m3
2018 Arabia Saudita				
SEP. Rabigh	660,000	0.55	212	321
Oct. Taweelah	909,000	0.49	550	605
Nov. Shuqaiq	450,000	0.52	650	1,444
2018 Chipre				
Oct. Paphos	20,000	0.51		
2018 Singapore				
Tuas III	136,000	0.54	217	1,596

La energía eléctrica representa el 44% de los OPEX (Cosin 2019). En países como la Republica Dominicana, que depende de combustible importado para generar la mayor parte de la energía, debe enfocarse en el uso de fuentes renovables y de tecnologías que mejoren la eficiencia energética. Con relación a este tema puede mencionarse la incorporación de dispositivos de recuperación de energía, en las plantas de desalinización.

Estos dispositivos aprovechan la presión de la salmuera que sale de las membranas de osmosis inversa para impulsar las provenientes de las bombas eléctricas que lleva el agua salada en la entrada de las mencionadas membranas. Esto redundo en menor consumo de energía en las bombas de agua. Existen diversos tipos de estos dispositivos. En pruebas realizadas en plantas existentes, el consumo de energía se redujo a 2.2 Kwh/m³. Para mayores detalles refiérase a Liang (2020).

En lo relacionado con los efectos ambientales de vertido de salmuera de alta concentración salina, existen tecnologías que eliminan el vertido. Estas tecnologías de cero descargas cristalizan los minerales suspendidos y permiten el aprovechamiento de minerales como: Magnesio, Potasio, Sodio, Calcio y Hierro.

Los datos de la industria antes mencionados permiten realizar una evaluación preliminar de este tipo de proyecto. La evaluación en este reporte utiliza estos datos y asume una relación deuda capital de 25%/75%. La capacidad de producción utilizada es de 125,000 m³/día.

Con los promedios de la industria para CAPEX y OPEX, el precio del agua tratada de US\$0.52 hace no viable el proyecto. El valor presente neto (VPN) es negativo (Cuadro 5). Se hace notar que los promedios obtenidos de la industria son de países con bajos costos de energía y musulmanes (no intereses). Los cálculos de las simulaciones asumen 15 años de financiamiento al 7%.

Cuadro 5.

Resumen Simulaciones de Valoracion Flujo de Efectivo

Inversion de K US\$MM	123	76	76	76
Inversion de K US/M3	984	605	605	605
Precio US\$/m3	0.52	0.52	0.75	0.75
Consumo energia Kwh/m3	3.5	3.5	3.5	2.2
VPN US\$MM	(\$113)	(\$58)	\$1	\$65



Un proyecto de este tipo puede ser financieramente viable con inversión de capital de US\$605/m³, precios de energía de un solo dígito y consumo de 2.2Kwh/m³. En adición, la tarifa estaría alrededor de US\$0.75/m³, o ligeramente superior a este precio.

Una posibilidad de iniciar un proyecto de desalinización de agua de mar es aumentar la capacidad de procesar agua de mar en Punta Catalina. Reponer el agua de evaporación en dicha planta requiere una capacidad de al menos 20,000 m³. La expansión adicional podría suplir los acueductos de Bani y San Cristóbal, con tanques de almacenamiento al Norte de la planta, cerca de la carretera Sánchez. La toma de agua de la planta de carbón es un costo sumergido para la expansión del proyecto de desalinización. La planta supliría la energía al precio de mayorista.

Considerar la evaporación de agua de mar, en dos o tres etapas, como otra alternativa tecnológica es potencialmente viable. A lo largo de la costa Sur del país existen varias plantas de generación térmica. El mayor número de estas están ubicados en San Pedro de Macorís. Hay también generación térmica en Boca Chica (gas natural), Haina (carbón) y Barahona (carbón). El calor residual (gases de escapes) puede ser aplicado en el proceso, reduciendo considerablemente el costo de energía. En algunas de estas plantas podría aprovecharse infraestructura existente, parcialmente.

Existen también la posibilidad de aplicar las tecnologías de osmosis inversa y evaporación de agua de mar a pequeña escala (véase figuras 7 y 8). Estas alternativas pueden ser utilizadas en pequeñas comunidades costeras del Suroeste y el Noroeste del país, donde es posible utilizar buen recurso solar y eólico.

Figura 6.



Fuente: Google Earth.

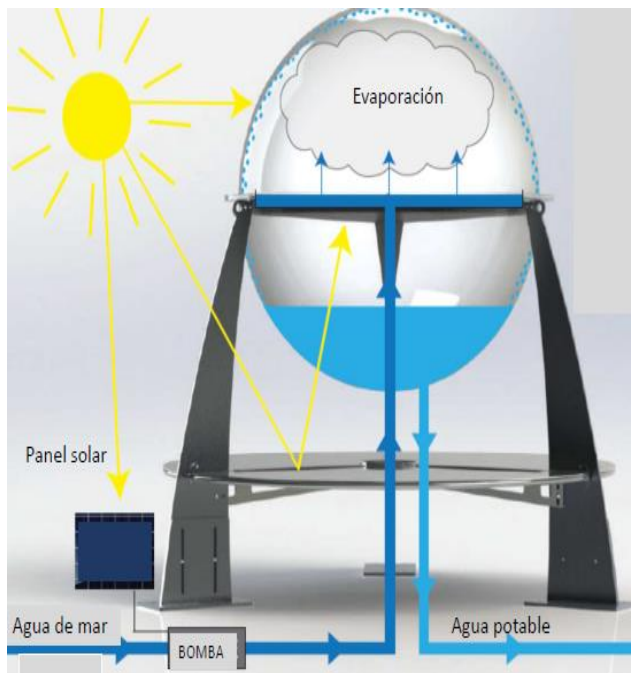


Figura 7.



Fuente: cortesía de Give Power. Kiunga, Ken

Figura 8.



Fuente: cortesía de Marine Tech. France. Helio

REFERENCIAS

- Álvarez, Y. (2017). CAASD Pierde RD\$29 por metro cúbico de agua potable. El Dinero. Agosto 31. República Dominicana.
- Civil Society Institute report (2012). The Hidden Costs of Electricity: Comparing the Hidden Costs of Power Generation Fuels.
- Cosin, Carlos (2019). The Evolution of Rates in Desalination (Part II). Water Magazine. Valmar. Marzo 21.
- EIA (2021). U.S. electric power sector's use of water continued its downward trend in 2020. December 17. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=50698>.
- IEA, (2016), Water Energy Nexus, Excerpt from the World Energy Outlook, OECD/IEA (International Energy Agency), France P. 13. Google Scholar.
- Global Water Intelligence (GWI) & International Desalination Association (IDA). (2019). The Cost of Desalination, Advising Worley Parsons Group.
- Yi Jin. Paul Behrensa. Arnold Tukker. Laura Scherer. (2019). Water use of electricity technologies: A global meta-analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 115, November, 109391.
- Liang, K. et al. 2020. The research and application process of the isobaric technic for SWRO desalination plant. Desalination and Water Treatment. www.deswater.com. Doi:10.5004/dwt.2020.26100.
- Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011). The Water Footprint from Hydropower. Water Research Report Series No. 51. UNESCO-IHE, Delft University. The Netherlands.
- National Energy Technology Laboratory (NETL), Department of Defense United States of America. <https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/water-usage>.
- World Bank (2019). The Role of Desalination in an Increasingly Water Scared World. World Bank, Washington DC.
- Yi Jin. Paul Behrensa. Arnold Tukker. Laura Scherer. (2019). Water use of electricity technologies: A global meta-analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 115, November, 109391.





MINECONOMIARD



GOBIERNO DE LA
REPÚBLICA DOMINICANA

ECONOMÍA, PLANIFICACIÓN, Y DESARROLLO