

PUNTOS DE VISTA

## Bombeo solar, experiencias en Uruguay y la región. Perspectivas de futuro

*Solar pump, experiences in Uruguay and the region.  
Future perspectives*

Ing. Luis Marisquirena

Ponencia presentada por el Ing. Luis Marisquirena de Montevideo, Uruguay, en la Convención Internacional Ingeniería Agrícola 2016.

**RESUMEN.** Uruguay está procurando alcanzar consensos para lograr una política de Estado en el recurso agua, particularmente una política de riego, que optimice su uso. Ha logrado tener una política de Estado en el tema energía, con fuerte incidencia de las energías renovables. Los cambios de la matriz eléctrica son muy importantes. La necesidad de agua en muchos emprendimientos se resuelve con sistemas de bombeo. Para sistemas aislados o como complemento de otros sistemas existentes, el bombeo solar constituye una solución viable. Históricamente se recurría a embalses y a la utilización de energía eólica de baja potencia o a equipos de bombeo accionados con motores que utilizaban combustibles fósiles o energía eléctrica tomada de la red pública o de auto generación. Se describirá el desarrollo actual del bombeo solar en Uruguay y la región, especialmente orientado a los sistemas de abastecimiento, producción o de riego, aislados.

**Palabras clave:** recurso agua, energía renovable, riego.

**ABSTRACT.** Uruguay is trying to reach consensus in order to achieve a State policy on water resources, particularly an irrigation policy, which optimizes its use. It has managed to have a state policy on the subject of energy, with a strong impact on renewable energies. The changes in the electrical matrix are very important. The need for water in many ventures is solved with pumping systems. For isolated systems or as a complement to other existing systems, solar pumping is a viable solution. Historically, reservoirs were used and the use of low-power wind energy or pumping equipment powered by motors that used fossil fuels or electric power taken from the public or self-generation network. The current development of solar pumping in Uruguay and the region will be described, especially oriented to isolated supply, production or irrigation systems.

**Keywords:** water resource, renewable energy, irrigation.

### INTRODUCCION

En Uruguay el riego agropecuario depende fuertemente de las condiciones climáticas. El enfrentamiento a condiciones de variabilidad climática, y la consecuente variabilidad en producción agropecuaria, la necesidad de mejorar la rentabilidad de las producciones frente a la valorización del suelo, entre otras, llevo a incrementar por parte de los productores el suministro de agua para el sector agropecuario ayudado, posteriormente, por planes y medidas implementadas desde el gobierno.

Estos sistemas necesitan de una u otra forma, con más o menos alcance, el suministro de energía para su funcionamiento.

Muchos de los sectores que hoy cuentan con riego, cuentan con conexión a la red de energía eléctrica. Los sistemas aislados deben buscar otras alternativas.

La política energética desarrollada en Uruguay para el fomento de energías renovables no convencionales (ERNC) favorece la implantación de sistemas de generación solar para utilización en riego o abastecimiento tanto en sistemas aislados como aquellos conectados a la red, en los cuales puede además realizarse generación de energía con vertimiento a la red (generación distribuida) o como parte de sistemas híbridos

donde ya existe generación eólica o generadores que utilizan combustibles fósiles.

Se está procurando alcanzar consensos para lograr una política de Estado en el recurso Agua, particularmente una política de riego, que optimice su uso.

La situación de Uruguay en cuanto a suministro de agua utilizando energía solar, se analizara en este trabajo, así como experiencias en la región y perspectivas de futuro. Las utilidades más comunes son las asociadas a la producción y pueden ser para riego, producción lechera, los abrevaderos de animales o el suministro a viviendas.

### Un poco de historia

Uruguay es un país principalmente de producción agropecuaria. Por su clima templado húmedo es posible la producción de muchos rubros solo con el aporte de agua de lluvia (régimen de secano), pero expuestos a la incertidumbre por la irregularidad y variación que estas precipitaciones tienen, tanto en volumen como en su frecuencia. Se han tenido tanto eventos prolongados de sequía como de exceso de lluvias. Las condiciones de evapotranspiración variaron en los últimos años (cambio climático). Esto hace que la producción agropecuaria dependa de estos eventos.

Por otra parte, el aumento del valor de la tierra en los últimos 10 años, las mejoras en tecnología ofrecidas en el mercado, la baja relativa de costos de las infraestructuras de riego, entre otras cuestiones, conduce naturalmente a los pro-

ductores a realizar acciones que incrementen la rentabilidad de su activo principal, el suelo, con aumento de la productividad de sus emprendimientos. La inversión en riego se hizo tres veces más atractiva en los últimos 10 años. La situación llevo a incrementar los sistemas con riego controlado, por parte de los productores, solo ayudado en los últimos años por algunas acciones de parte del gobierno como otorgamiento de créditos o beneficios fiscales.

Por otra parte se constataba que el desarrollo de los sistemas con riego se orientaba hacia soluciones individuales, prediales, haciéndose necesario dar un tratamiento más genérico e inteligente del recurso agua, a nivel de cuencas, con una gestión diferente de este recurso, para garantizar la sustentabilidad del sistema.

Frente a esta situación se están desarrollando coordinaciones a nivel interinstitucional a los efectos de hacer sustentable el sistema productivo y continuar fomentando la implementación de sistemas con riego a nivel nacional.

Hay varios factores que analizaremos a continuación que colaboran en este sentido.

### Disponibilidad del recurso energía

Uruguay logro tener una política de Estado en el tema Energía. Esto da posibilidades para un importante desarrollo de varios sectores de la economía en los últimos años. Del Uruguay, en general, podemos decir que al año 2015 la matriz primaria global estaba en esta situación (Figura 1).

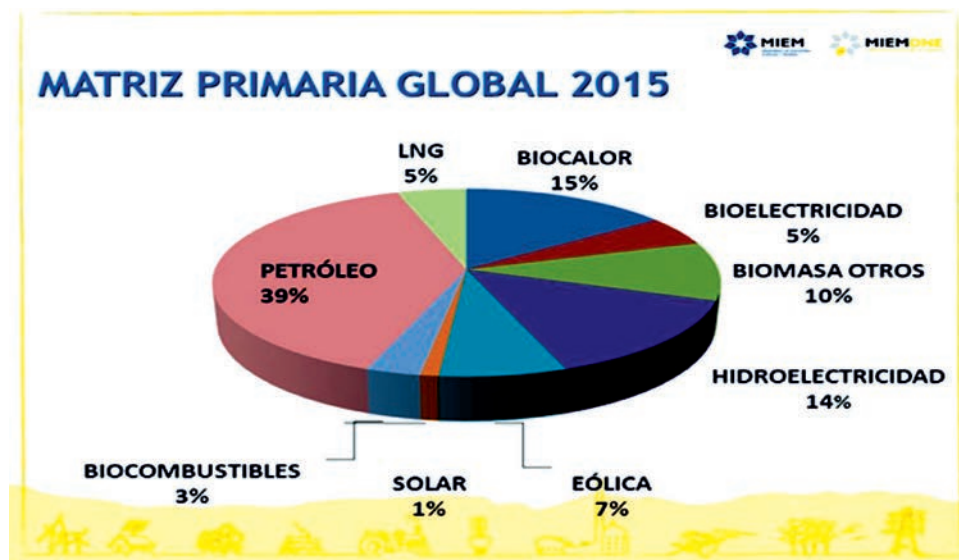


FIGURA 1. Matriz primaria global de Uruguay en el año 2015. Fuente: MIEM, 2015

Y la matriz eléctrica marca la fuerte influencia de las energías renovables.

### Potencial de Energía Solar en Uruguay

Los estudios de irradiancia realizados por la empresa estatal eléctrica UTE y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, llevaron a la confección del mapa solar del Uruguay (Figura 2), mostrando un buen potencial para la generación a partir de fuente solar. (FA, 2015).

Se indican mapas para cada mes del año y un mapa promedio anual para todo el país (FING, 2015). <https://www.fing.edu.uy/if/solar/>

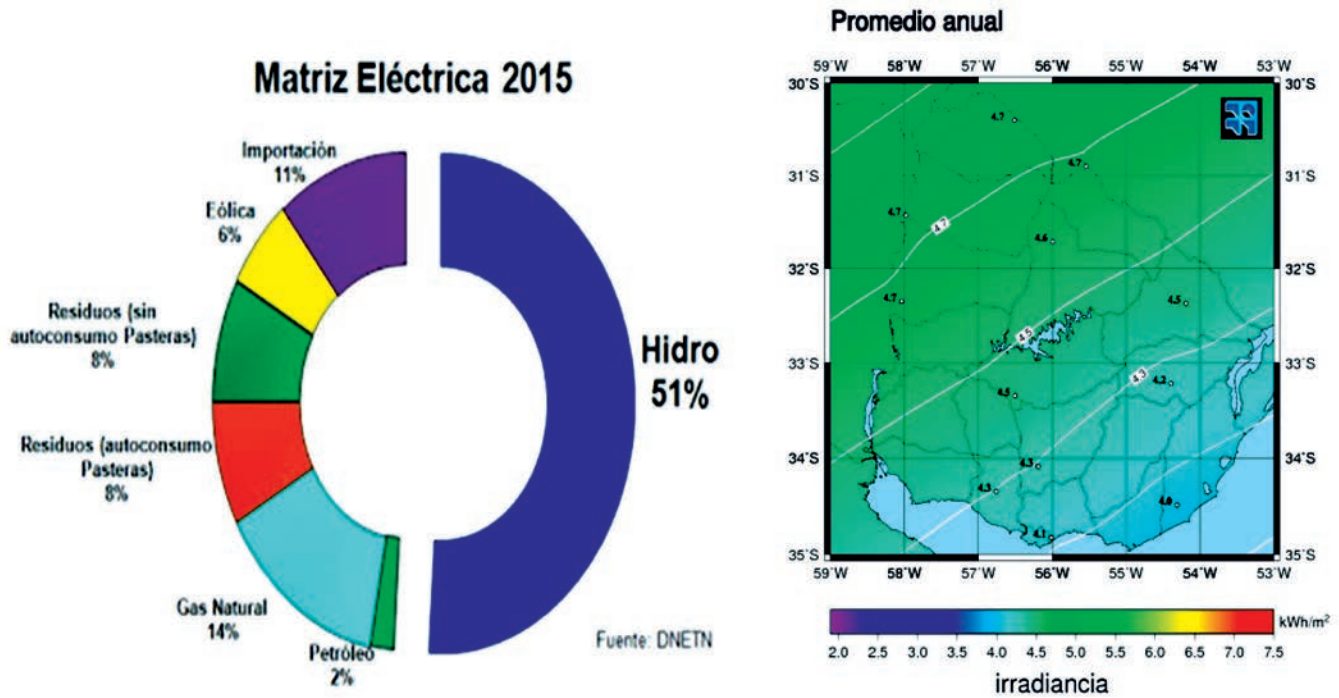


FIGURA 2. Mapa solar de Uruguay. Fuente: MIEM, 2015.

### Disponibilidad del recurso agua

A continuación se transcribe información del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) respecto a este tema: Datos de ingreso de agua: las lluvias. MGAP presenta algunos datos básicos del riego: Datos de lluvia: Precipitación media anual en todo el Uruguay es de 1 300 mm, lo que equivale a 229 000 000 de m<sup>3</sup> de agua, 1 300 mm/m<sup>2</sup>, equivalen a 1 300 L/m<sup>2</sup>.

Distribución del agua de lluvia caída (Figura 3):

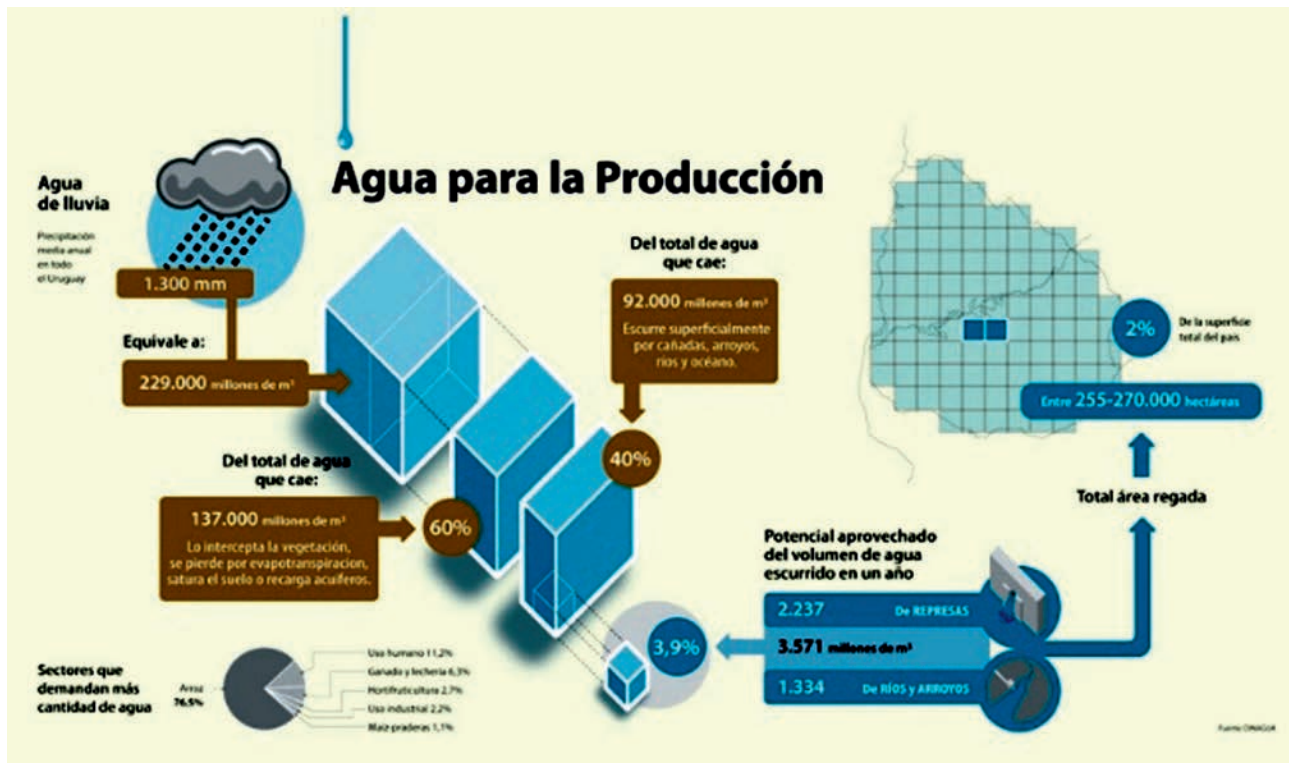


FIGURA 3. Gráfico del agua para producción (Fuente: MGAP, Uruguay).

Según el MGAP y como se aprecia en el gráfico anterior, 40% (92 000 000 m<sup>3</sup>) escurren por superficie, ríos y arroyos.

Para riego se encontrarían disponibles 2 237 000 de m<sup>3</sup> de agua por año (represas), 1 334 000 de m<sup>3</sup> de agua por año (tomadas de ríos y arroyos) que representa menos del 4% del agua que escurre por superficie. Se riega menos del 2% de la superficie total del país.

### Disponibilidad de agua subterránea

Casi 2/3 de la superficie del país está sobre sistemas acuíferos: Raigón (San José), Acuífero Salto, Acuífero Guaraní (Rivera y Tacuarembó), Mercedes Asencio (Litoral Oeste, Durazno y Canelones).

Actualmente se cuenta con el registro de los emprendimientos que utilizan agua subterránea. De acuerdo a lo que figura en el Plan Nacional de Agua, se tienen las productividades de los acuíferos (Figura 4):

Figura 50. Mapa Hidrogeológico de Uruguay | Fuente: DINAMIGE 2003

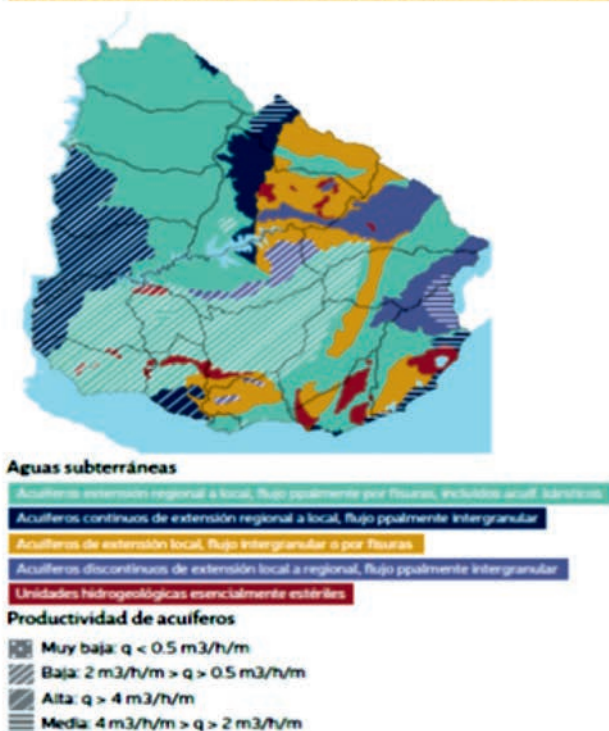


Figura 51. Principales sistemas acuíferos del Uruguay | Fuente: MEM/DINAMIGE 2009

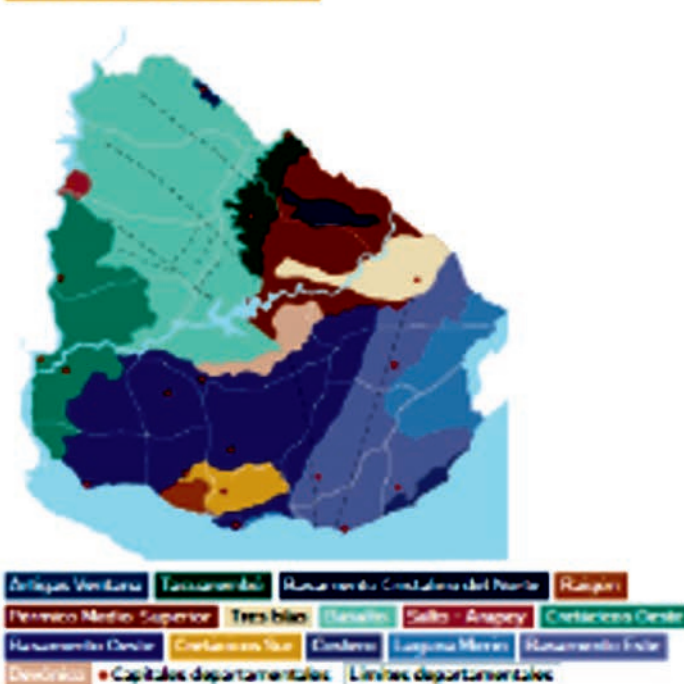


FIGURA 4. Plan Nacional de Agua – MVOTMA–DINAGUA–Agua subterránea (MVOTMA, 2016).

### Demandas de agua

#### Evolución del área regada en Uruguay

En un estudio realizado en el año 2013, se marcaba la situación del área regada en Uruguay. El riego ha venido creciendo sostenidamente en los últimos años pasando de tener en 1970 regadas 55 000 ha a tener en 2013 entre 255 000 y 270 000 ha regadas. Hay algunos datos de FAO–AQUASTAT (2015), que se contrastan con datos del MGAP. El agua consumida por ha varía de acuerdo al rubro.

La introducción de tecnología y conocimiento permite implantar sistemas de riego más eficientes. Conceptos como evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), tecnologías como los variadores de frecuencia en la instalación de bombeo o la utilización de las cintas exudantes de riego a baja presión en la distribución del agua, así como la utilización de Tecnologías de Información Geográfica o Tecnologías de Información y comunicación, permiten tener un manejo inteligente y eficiente de nuestros sistemas de riego. Hay variados sistemas de riego implantados y a implantar, con un crecimiento importantes de los

pivots pasando de casi ninguno en 2005 a más de 400 en 2015.

Sin lugar a dudas la presencia de riego en el área disminuye los coeficientes de variabilidad en la producción en forma importante.

Según lo visto en el gráfico del MGAP, el área regada, está en el orden de las 255 000 a 270 000 ha, lo que equivale a menos de 2% de la superficie total del país

Según el MGAP para el año 2015 eran 210 000 ha regadas, considerando todos los cultivos. El arroz correspondía a 160 733 ha en el periodo 2014-2015. En el año 1970 era de 52 000 ha para todos los cultivos y el arroz representaba 35 691 ha.

El DINAGUA identifica los puntos de ubicación de represas y tomas, y su número. Se grafica también la evolución del área regada (Figura 5).

Según datos del MGAP, en cultivos de verano hay aproximadamente 1 400 000 ha, de lo cual el área regada es de 30 000 ha bajo pivot central, con un 85% a 90% instalados de los 470 importados.

Uruguay ha venido impulsando dentro de sus medidas estratégicas una política pública de conservación de los re-

cursos naturales que se materializó en la implementación de los Planes de Uso y Manejo Responsable del Suelo. El riego y drenaje refuerzan la política de manejo sustentable del suelo. Se trata de establecer una Política de Riego, a los efectos de concretar el desarrollo del agua en cuencas hidrológicas, y fomentar la instalación de sistemas de riego multipredial. Se apunta a reservorios nuevos y gestión de los mismos. Los objetivos son:

- Planificar el manejo integrado de los recursos naturales, basado en criterios de cuencas.
- Identificar sistemas eficientes para usos de agua con fines de

riego que sean ambiental y económicamente viables.

- Trabajar con los productores y promover la agricultura climáticamente inteligente.

El propio Ministerio de Ganadería fomenta la cultura y formación de productores brindando talleres de capacitación, bibliografía en línea, y apoyo económico en otros casos (MGAP, 2015a). Parte de este material se puede encontrar en <http://www.aguaparaproducir.uy/biblioteca/publicaciones.html>

Esto hace que al día de hoy existan experiencias de riego multiprediales y colectivo, y las registradas son del orden de 20 000 ha.



FIGURA 5. Ubicación de represas y tomas, y su número evolución del área regada.

### La incidencia del Cambio Climático

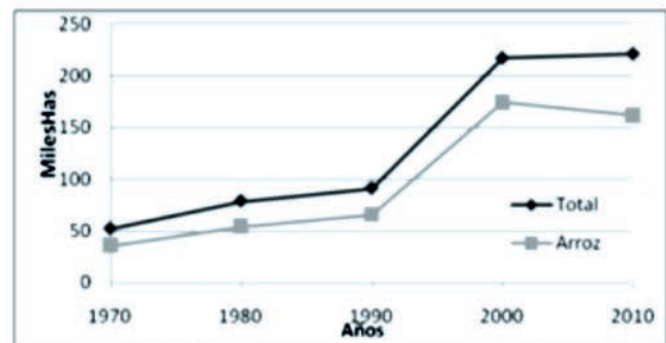
Estamos en camino a la sexta extinción masiva en la Tierra. Esta vez, a diferencia de las cinco anteriores, hay una gran incidencia de las acciones antrópicas que contribuyen a algunos de los cambios, manifestándose en diferentes formas la preocupación mundial por disminuirlos. En la COP21 se lograron avances y acuerdos importantes en este sentido, y fundamentalmente compromisos para llevar adelante esos acuerdos. Actualmente se está desarrollando la COP22.

En el MGAP la Oficina de Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático, pone a disposición Documentos de Interés que muestran la preocupación por estos temas como por ejemplo “Instructivo para el procedimiento de evaluación de Estrategias Asociativas de Agua para la Producción (EAAP)”, “Clima de Cambios. Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay”, “Primer estudio de la Huella de Carbono

Tabla 1 - Aprovechamientos a nivel de Cuencas -2010- Hm<sup>3</sup>

Cuenca/ Tipo Aproy.	Tomas	Embal.	Tanq.Exc	Pozos	Total
Río Uruguay	233	661		7	901
Río Negro	132	919		10	1.060
Laguna Merín.	897	601		0	1.498
Río Santa Lucía	13	25	2	5	45
R.de la Plata -O Atl.	60	32	1	15	107
<b>Total</b>	<b>1.334</b>	<b>2.237</b>	<b>3</b>	<b>37</b>	<b>3.611</b>

Fuente: Registro Aprovechamiento Agua 2010, DINAGUA- MVOTMA



Fuente: DIEA, MGAP Censos Agropecuarios 1970-2000, DINAGUA, 2010

de tres cadenas agroexportadoras del Uruguay: carne vacuna, lácteos y arroz”, “Resultado del proyecto: TCP/URU/3302 Nuevas Políticas para la Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático”, “Variabilidad climática de importancia para el sector productivo (Estudio SARA’s – Proyecto TCP/FAO)”, “Manual para el diseño y la construcción de Tajamares de Aguada”, “Manual para el manejo de Efluentes de Tambo”, “Manual de agua subterránea”, “Programa de balance de tajamares”, entre otros (MGAP, 2015b).

Hay una preocupación a nivel nacional por este tema.

### Políticas de Estado

Uruguay tiene una política de estado en el tema energético que le permite avanzar firmemente en este tema.

Se están encaminando acciones para lograr una política del agua a nivel nacional.

La disponibilidad de agua se está orientada a la creación de reservorios dentro de una gestión por cuencas hidrológicas y manejo multipredial. La normativa nacional deberá adaptarse también para alinearse a estos objetivos.

Hay una gran preocupación también por el Cambio Climático que lo lleva a crear una secretaria de estado exclusivamente para este tema, la Secretaria de Agua, Ambiente y Cambio Climático, y paralelamente la formación de un gabinete ambiental, integrado por varios ministerios y la se-

cretaria antes nombrada. Fundamentalmente se trata de aunar esfuerzos y realizar coordinaciones que logren una sinergia en estos temas. La política de agua es uno de estos caminos emprendidos y en avance.

Hay diversas acciones que se encaminan a contribuir en la disminución de los efectos del cambio climático y a garantizar un desarrollo sustentable del país.

### Bombeo utilizando energía solar (Figura 6) ¿Cómo puede incidir en este panorama?

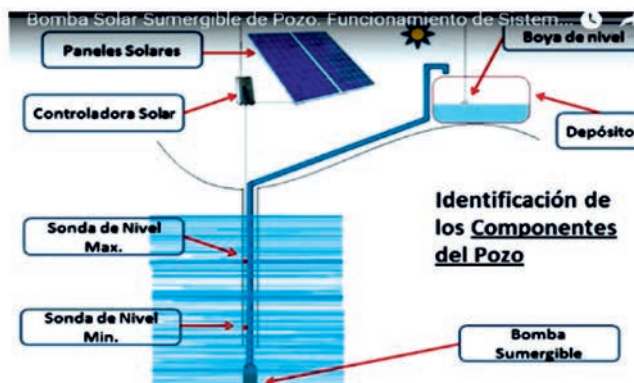
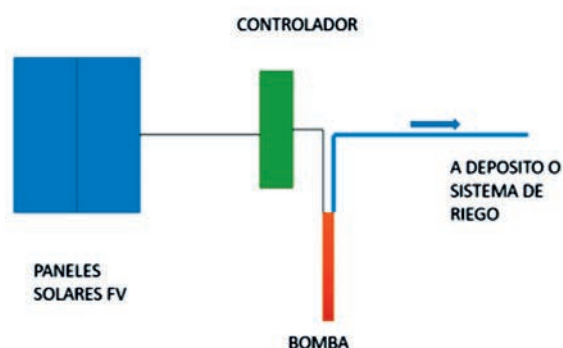


FIGURA 6. Esquema de instalación del bombeo solar. Fuente: KIVROY- sistema de bombeo

Este es un esquema genérico. De esta forma el esquema general consistiría en un área de generación de energía, un área de control, un área de bombeo que puede o no ser sumergible, y una área de utilización, además de los cableados y tuberías necesarios.

Esta instalación básica puede complementarse con mayor cantidad de cada uno de los elementos, con incorporación de inverter, de variadores de velocidad, o con sistemas de conexión a la red eléctrica para la utilización de los paneles como generación de energía distribuida y vertimiento a la red general. También incorporando adicionales como el tratamiento de agua.

El dimensionamiento de los sistemas dependerá de varios factores, tales como:

- Localización (coordenadas) del emprendimiento y características generales. Ubicación geográfica de las fuentes y de los puntos de demanda.
- Condiciones meteorológicas.
- Demanda de agua, diferenciando requerimientos por volúmenes, tipo, horarios, etc.
- Potencial de la oferta de agua en el lugar diferenciando en superficial o subterránea, existentes o a construir.
- Fuentes de energía disponibles. Evaluación del potencial solar.
- Análisis de sistemas híbridos y necesidades de almacenamiento de energía y del recurso agua.
- Pre diseños: lógica y gestión del sistema, instalaciones a realizar, sistemas a instalar. Utilización de Software de apoyo.
- Evaluación del proyecto y alternativas (análisis de sistemas híbridos), técnico -económico, socio-ambiental, tomando en cuenta la operación y mantenimiento.
- Proyectos ejecutivos de gestión e instalaciones. Manuales de operación y mantenimiento.

El dimensionamiento se ayuda con la utilización de software de los fabricantes de bombas y/o paneles. Para el caso de análisis de sistemas híbridos también se cuenta con software que ayuda a su análisis.

### Otras posibles aplicaciones del bombeo solar y energía solar fotovoltaica

Las demandas de agua para grandes emprendimientos, como el caso de riego en plantaciones arroceras, o en caña de azúcar, no sean los sectores de aplicación más claros. Estos sistemas en general ya están conectados a la red eléctrica nacional y los potentes sistemas de bombeo funcionan con energía eléctrica de red, cuando antes lo hacían con generadores alimentados con combustibles fósiles. Algún emprendimiento también tiene autogeneración con energía eléctrica proveniente de biomasa (quema de cascara de arroz).

Quizás el sector donde la aplicación sea más clara es el de instalaciones aisladas de la red eléctrica, tanto de productores, como de organizaciones estatales, o de viviendas.

Un campo también de aplicación de energía solar vinculado a la gestión del recurso agua es el de mediciones, realizadas en lugares alejados de la red eléctrica y donde los equipos de medición son alimentados con energía solar fotovoltaica, con almacenamiento y transmisión de datos, y Control a distancia.

No es el tema que ahora se está abarcando, pero es claro que la energía solar aplicable no es solo la fotovoltaica. El calentamiento de agua con sistemas térmicos, el secado solar de productos, las cocinas solares, potabilización y tratamiento de agua, son también aplicaciones que se utilizan o pueden utilizar en emprendimientos aislados de la red.

## La acumulación de energía

Los sistemas que incorporan baterías para la acumulación de energía deberían evitarse o al menos, tratar de disminuirlos a la menor expresión posible.

Efectivamente, las baterías encarecen el sistema en costo inicial y en mantenimiento y son un problema para su disposición final.

La mejor forma de acumular energía es acumulando agua en depósitos donde luego se regule con mecanismos de regulación y por la acción de la gravedad. Hay otros mecanismos como generación de gas hidrogeno, que aún están en etapas de estudio para universalizarlo.

Se trata entonces de implementar sistemas sencillos y “robustos” con poco requerimiento de mantenimiento, y poco requerimiento de operación diaria. Pocos elementos en el sistema que nos garanticen lo necesario para poder cubrir la demanda del recurso en forma sustentable.

Experiencias de bombeo solar en Uruguay

Existen en el país empresas que suministran todo el sistema

completo (bomba, controlador, sensor de bajo nivel, protecciones atmosféricas, paneles fotovoltaicos, estructuras, etc.) y con Instalación Certificada Incluida. (Bombas Lorentz-Empresa Kivoy, 2015)

Entre las dos empresas principales consultadas se cuenta con más de 330 plantas instaladas, con más del 80% de ellas vinculadas a actividades agropecuarias. Se cuenta con respaldo de distribuidores en todo el país. Los montos invertidos varían de acuerdo a las características de cada instalación.

En total hay instalaciones con 16 MW de potencia. La distribución de las mismas es en todo el país.

Los sistemas instalados son para abrevadero de ganado y algo de riego, desde 2 500 L/h (20 000 L/día) (Figura 7). La más grande instalada en Uruguay es de 40 000 L/h (350 000 L/día) con una altura dinámica total (HDT) de 90 mca

El acceso a un abastecimiento de agua fiable y limpio es esencial para la supervivencia de personas y animales. Las fuentes de agua subterránea proporcionan un abastecimiento limpio y fiable de agua potable. Se recomienda periódicamente el control de calidad de agua.



FIGURA 7. Ubicación de emprendimientos (TECNOGROUP, 2015). Fuente: KIVOVY–Instalaciones en Uruguay.

La utilización de controladores y motores sin escobillas, de corriente continua directa de los paneles para la alimentación en las bombas sumergibles, da fiabilidad y eficiencia.

La calidad de los elementos es clave para garantizar una larga vida útil y un funcionamiento sin problemas, además de un mantenimiento mínimo y unos bajos costos de operación.

La configuración con electrónica en superficie para los equipos de bombeo, es también un elemento de robustez del sistema.

Como se dijo ya antes, el bombeo puede ser o no de agua subterránea. En efecto, se cuenta también con sistemas de bombeo para elevación o traslado de caudales a reservorios o

puntos de demanda.

Otra de las empresas que en Uruguay ha desarrollado la instalación de generación con paneles fotovoltaicos, considera en su línea estratégica de trabajo que dado el alto porcentaje de electrificación rural en Uruguay, ya en 99%, la empresa no ha implementado el tipo de sistemas de bombeo aislado, pues a su entender, generalmente el riego lo hacen conectado a la red de UTE. Pero si considera la instalación adicional de paneles fotovoltaicos para generación eléctrica asociados a instalaciones que ya tienen riego y conexión por red, pero para aplicarlos en inyección a la red eléctrica a través del decreto de micro generación que está vigente en Uruguay.

## Experiencias de bombeo solar en la región

### Chile

Utilización para desalación de agua: “Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo” (Figura 8). También se está utilizando para el manejo de viñedos entre otras aplicaciones. <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002309/230987S.pdf>

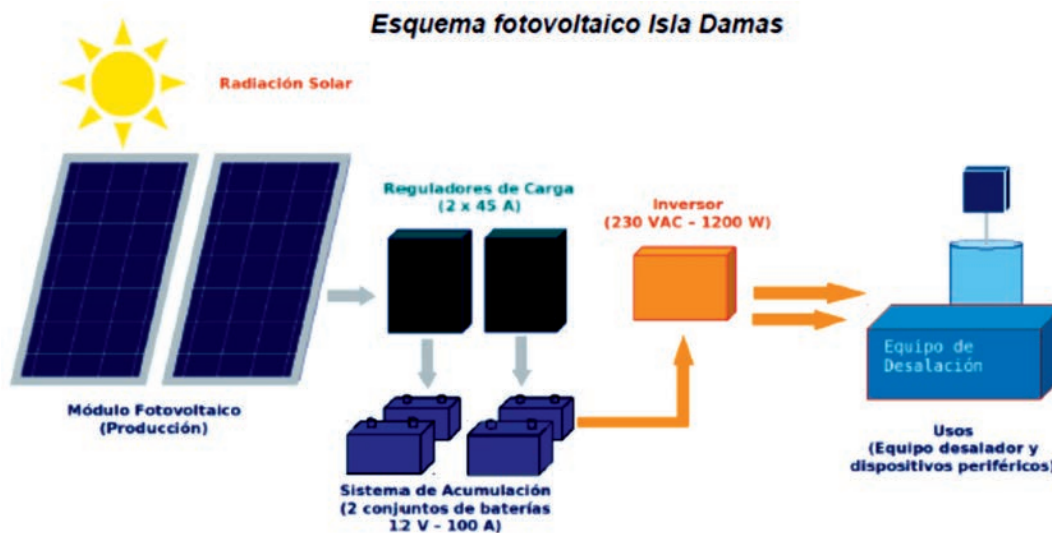


FIGURA. 8. Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo

### Guatemala

Una de las empresas consultada comenta que les ha tocado trabajar en el tema de riego por goteo a partir de sistemas alimentados con energía solar. Se han desarrollado proyectos a nivel privado y con algunas ONG's para impulsar esta tecnología.

### El Salvador

Se ha aplicado la tecnología con utilización de bombas trifásicas, corriente alterna. En este caso es necesario el inverter.

### Ecuador

En las instalaciones con energía solar fotovoltaica, se extrae agua potable y se mantiene una conexión remota para verificación del funcionamiento de los equipos

La energía a partir de paneles fotovoltaicos es la tecnología estándar (con paneles entre 100 y 250 W de potencia c/u en promedios), pero también hay sistemas con minihidráulica, diésel o eólica, que pueden formar parte de sistemas híbridos. El interfaz GPS permite monitoreo remoto por satélite o red de telecomunicación existente.

Se realizan cursos para adaptación al sistema por parte del operador local.

Se ha colocado purificación de agua con estándares de WHO con membranas (Skyhydrant– ecología Siemens).

<http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/ContenidoPrimeraInfanciaICBF/Documentaci%C3%B3n/Documentos-2014/noviembre/skyhydrant.pdf>

Uso de reservorio de agua elevado como almacenamiento de energía / aprovechamiento eficiente de toda energía de exceso (Figura 9).



FIGURA 9. Fotos tomadas de la página WEB - Instalación de la bomba solar en Sharamentsa, Pastaza, Ecuador. Bomba Solar Lorentz PS 1200 con 8 paneles fotovoltaicos 100 W de potencia, altura de bombeo 30 metros, distancia de bombeo 800 metros, distribución 3000 metros. <http://www.codesolar.com/Energia-Solar/Fotos/Bombas-Agua-Fotovoltaicos.html> (Bombas Lorentz, 2015).



## Argentina

Argentina ha tenido en este último año un importante avance para cubrir las demandas de energía fuertemente con ERNC. Se espera un mayor impulso de aquí en más. Ahora se ven algunas instalaciones de Sistemas de Bombeo de Agua Fotovoltaico Región Semiárida de Argentina (Figura 10).



FIGURA 10. Sistemas de Bombeo de Agua Fotovoltaico Región Semiárida de Argentina.

### Perspectivas de futuro para el bombeo solar

Se hace necesario gestionar el recurso agua para realizar un manejo inteligente del mismo incrementando el área regada. Uruguay cuenta con el recurso y debe mejorar e incrementar la infraestructura necesaria para manejarlo.

La necesidad de energía a futuro se cubrirá en su mayor parte con energía solar. Para el año 2100, se espera que más del 70% de la demanda de energía será cubierta con fuente solar. Por este lado, la apuesta a desarrollar sistemas de manejo de agua con esta base, no parece desacertada.

Los sistemas solares, en instalaciones de las características

“robustas” antes descritas, y ejecutadas según el arte de la buena construcción a partir de proyectos de calidad, requieren poco mantenimiento o casi nada de él.

Los sistemas solares, en instalaciones de las características “robustas” antes descritas, y ejecutadas según el arte de la buena construcción a partir de proyectos de calidad, requieren poco mantenimiento o casi nada de él. Presentan ventajas adicionales frente a otros sistemas, de costos a largo plazo, beneficios ambientales, mejores condiciones de eficiencia, que favorecen las instalaciones de bombeo solar. La inversión inicial, en general, es más costosa.

Las condiciones de mercado en paneles FV marca un descenso de precios de los mismos, haciendo ya competitivos los sistemas FV con los eólicos en grandes emprendimientos.

Sistemas de apoyo para la instalación, que encarecían las ofertas para cumplir requerimiento de maximización de la generación, dejan de ser imprescindibles, optando por utilizar instalaciones más económicas aumentando el área de paneles.

Los planes de gobierno que incentivan la instalación con beneficios fiscales o créditos de bajo costo, aumentan el interés por este tipo de instalaciones. El decreto de micro generación, que permite al usuario ser generador y disminuir costos, aporta un elemento más para la toma de decisiones.

Por otro lado, los sistemas de bombeo solar a partir energía eléctrica generada en paneles fotovoltaicos, tiene un periodo de funcionamiento en horas por día, con una capacidad que varía estacionalmente y a lo largo del día, dependiente de la radiación solar. Se debe aprovechar ese periodo para elevar la cantidad de agua necesaria al tanque de almacenamiento para luego utilizarla en los puntos de demanda a lo largo del día.

La robustez de este sistema se marca también en la operación del mismo, donde un operario que sea locatario del emprendimiento o un usuario del sistema, puede ser instruido en lo necesario para mantener operativo el sistema en el periodo de vida útil del mismo, haciendo sostenible el emprendimiento. La sencillez del sistema lo hace robusto.

El potencial del bombeo solar para la gestión del recurso agua parece muy claro.

La asociación de sistemas aislados, de medición a la instalación de bombeo, con comunicación telemétrica, es un campo que se abre para incluir otros sistemas de medida o aforos que reportan en tiempo real a las bases respectivas, y con posibilidad de contar con control del sistema a distancia.

La incorporación de sistemas de tratamiento de agua, tanto para tratamiento bacteriológicos como para quitar otras impurezas, (desalación, osmosis inversa, etc), podría utilizar la fuente solar fotovoltaica para tomar energía eléctrica.

Las evaluaciones de proyectos con ERNC deberían tomar en cuenta el ciclo de vida, los beneficios ambientales y el peso de la huella hídrica.

## CONCLUSIONES

- El bombeo de agua con fuente en energía solar fotovoltaica es factible en Uruguay a pesar del amplio desarrollo de la red eléctrica, porque existen aún zonas sin cubrir.
- Hay potencial aplicación en medianos y pequeños emprendimientos y en el abastecimiento de viviendas. La aplicación

de bombeo solar en la gestión de reservorios de agua es otra aplicación posible.

- Hay ventajas adicionales del bombeo solar a la hora de realizar la evaluación de proyectos de esta y otras soluciones más convencionales.
- Se da, adicionalmente, un marco con muchos actores alineados en la producción sustentable, y la aplicación de ERNC como la fotovoltaica, colabora en este sentido.
- El potencial de oferta de agua aun es abundante, apuntado los lineamientos estratégicos generales, a aumentar el área regada, con criterios de gestión por cuencas hidrológicas y aplicaciones multiprediales, que permitan un desarrollo productivo sustentable (Política de Riego).
- En la región también es factible y ya existen variadas experiencias de utilización de bombeo de fuente solar fotovoltaica, principalmente porque el desarrollo de la red eléctrica está menos extendida y/o por la dificultad de acceso a determinadas poblaciones.
- El potencial del bombeo solar para la gestión del recurso agua parece bastante claro.
- Es necesario implementar aplicaciones inteligentes en todos los desarrollos productivos, especialmente el agropecuario, particularmente en Uruguay, donde representa la mayor parte de su producción nacional. Es necesario medir para poder planificar. Debe fomentarse la Evaluación de proyectos considerando ciclo de vida, bienes ambientales y el peso de la huella hídrica.
- El agua es vida y su disponibilidad controlada es sinónimo de aumento en la productividad.

El futuro es solar. Apuntemos a la implantación de sistemas de adquieran la energía de fuente solar.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a todos los profesionales que brindaron ayuda para la elaboración de este trabajo, particularmente, Ing. Gervasio Finozzi, Ing. Gustavo Marisquirena, Ing. Julio González, Ing. Lucia Puppo, Ing. Claudio García, Ing. Milton Balseca (Ecuador), Ing. Daniel Greif, Silvana Cuadrado, Alejandra Alcoz, Alberto Fernández, Ing. Marcelo Mula, Sr. Camilo Neiro, Ing. Emilio Gudemos (Argentina), Ing. Wilson Sierra, Ing. María Pía Olave, Ing. Carlos Colacce, Msc. Ing. Fabiana Bianchi, Ing. Douglas González Martínez (Nicaragua), Ing. Erick Gonzalez (Guatemala), Ing. Miguel Alonso (España), Ing. Luis Garrote (España), Ing. Victor Emmer, Ing. Rafael Terra.

La elaboración de este trabajo es responsabilidad exclusiva del autor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOMBAS LORENTZ: Instalación de la bomba solar en Sharamentsa, Pastaza, Ecuador. Bomba Solar Lorentz PS [en línea] 2015, Disponible en: <http://www.codesolar.com/Energia-Solar/Fotos/Bombas-Agua-Fotovoltaicos.html> [Consulta: enero 22 2016].
- BOMBAS LORENTZ-EMPRESA KIVOY: [en línea] 2015, Disponible en: [www.kivoy.com.uy](http://www.kivoy.com.uy) - [www.lorentz.de](http://www.lorentz.de) <https://youtu.be/7EoCuTInQwE> - <https://youtu.be/1KxXHDPOgoY> [Consulta: enero 22 2016].
- FA: Facultad de Agronomía: [en línea] 2015, Disponible en: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid)

=S2301-15482015000100014 agrocien@fagro.edu.uy [Consulta: enero 22 2016].

FIG: Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Uruguay: *Mapas para cada mes del año y un mapa promedio anual para todo el país [en línea] 2015, Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/if/solar/> [Consulta: enero 22 2016].*

FAO-AQUASTAT: Fao-Aquastat [en línea] 2015, Disponible en:

[http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/ury/URY-map\\_detailed.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ury/URY-map_detailed.pdf)

[http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/ury/indexsp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ury/indexsp.stm) [Consulta: enero 22 2016].

MGAP: Ministerio de ganadería, agricultura y pesca. [en línea] 2015a, Disponible en: <http://www.aguaparaproducir.uy/estudio-de-cuencas.html> [Consulta: enero 22 2016]

MGAP: Ministerio de ganadería, agricultura y pesca. [en línea] 2015b, Disponible en: [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/estrategia\\_fomento\\_agricultura\\_regada\\_2015\\_banco\\_mundial.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/estrategia_fomento_agricultura_regada_2015_banco_mundial.pdf) [Consulta: enero 22 2016].

MVOTMA: MVOTMA-DINAGUA plan nacional de aguas-DINAGUA, Propuesta final.pdf

Información de la jornada del 30 de noviembre 2016 “Aportes a la construcción de la política de agua”. Uruguay. Participaron SNAACC, MVOTMA, MGAP, MEF, OPP, BANCO MUNDIAL, Montevideo, Uruguay, 2016.

TECNOGROUP: Tecnogroup [en línea] 2015, Disponible en: [www.tecnogroup.com.uy](http://www.tecnogroup.com.uy) TECNOVA [www.tecnovarenovables.com](http://www.tecnovarenovables.com) [Consulta: enero 22 2016].

Recibido: 30/01/2016.

Aprobado: 18/12/2017.

Luis Marisquirena, Ingeniero, Especialista, Montevideo, Uruguay, correo electrónico: [luismarisquirena@gmail.com](mailto:luismarisquirena@gmail.com)

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



7<sup>mo</sup> Aniversario de la Revista Ingeniería Agrícola

“La Ingeniería Agrícola al servicio de una agricultura de conservación bajo un manejo sostenible de las tierras y adaptada a la variabilidad y el cambio climático, como contribución a la sostenibilidad alimentaria del país”

