

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

Ernesto J. Perino¹, Anibal D. Perelló², Jorge A. Follari³, Ernesto Perino⁴

RESUMEN

Se transita una crisis ambiental global donde el cambio climático es una de sus consecuencias primordiales. Frente a este nuevo escenario, el presente proyecto focaliza su objetivo en el diseño y dimensionado de la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) y del Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA) que garantice el suministro anual y continuo de energía eléctrica a la misma. Para el dimensionado del Sistema Fotovoltaico Autónomo se tuvo en cuenta las normas y especificaciones para que el conjunto "SFA-Planta" opere satisfactoriamente con la mayor fiabilidad y al

menor coste posible, velando por un equilibrio entre ambos. Dicho proyecto cumple todas las condiciones ingenieriles de calidad y fiabilidad para que la Planta Potabilizadora suministre agua sanitizada ininterrumpidamente, energizada por el Sistema Fotovoltaico Autónomo. La finalidad de incorporar un Sistema Fotovoltaico a la Planta y, por ende, al sistema energético de la Universidad insta armonizar el abastecimiento energético sustentable con una protección efectiva de la biosfera.

Palabras clave: Sistema Fotovoltaico, Radiación Solar, Potabilización, Radiación UV, Sostenibilidad.

ABSTRACT

We are going through a global environmental crisis, where the climate change is one of the main consequences. Facing this new scene, the project focuses its objective on the design and sized of the Water Treatment Plant (WTP) of National University of San Luis (UNSL) and Off Grid Photovoltaic System that guarantees its continuous annual power supply. For the Off Grid Photovoltaic System sizing, the standards and specifications was taken into account so that the set "WTP-PV System" operates satisfactorily with the highest reliability and at the

lowest possible cost, ensuring a balance between the two. This project meets all the engineering conditions of quality and reliability so that the WTP supplies sanitized water continuously, energized by the Off Grid Photovoltaic System. The purpose of incorporating an PV System into the Plant and, therefore, the University energy system calls for harmonizing the sustainable energy supply with effective biosphere protection.

Keywords: Photovoltaic System, Solar Radiation, Water Treatment, UV Radiation, Sustainability.

¹ Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Argentina; MSc. en Gestión de Energías Renovables (UCA), España; Experto Universitario en Diseño de Plantas Fotovoltaicas (UTN - FRBA), Argentina. Docente Efectivo - Investigador del Dpto. de Física y del Dpto. de Electrónica de la UNSL. Integrante del Proyecto Energía solar, atmósfera y medio ambiente de la UNSL. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9137-3838>. Correo electrónico: ejperino@unsl.edu.ar, ernestoprodan@gmail.com.

² Licenciado en Física, Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Argentina. Magíster en Energías Renovables (UNSa), Argentina. Profesor Adjunto Exclusivo - Investigador del Dpto. de Física de la UNSL. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Villa Mercedes (UNViMe), Argentina. Integrante del Proyecto Energía solar, atmósfera y medio ambiente de la UNSL. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7336-9894>. Correo electrónico: danielperello958@gmail.com.

³ Licenciado en Física, Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Argentina. Magíster en Energías Renovables (UNSa), Argentina. Socio – Gerente de la empresa INNOVAR Sistemas Solares. Correo electrónico: follari@unsl.edu.ar.

⁴ Licenciado en Ciencias Geológicas, Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Argentina. Doctor en Química, "Desarrollo de Técnicas Analíticas por FRX aplicadas a la Prospección Geoquímica de Pegmatitas Graníticas.", UNSL. Profesor Titular Exclusivo - Investigador de la Facultad de Química Bioquímica y Farmacia de la UNSL. Integrante del Proyecto Desarrollo y Aplicación de Metodologías Analíticas destinadas a la Determinación y Especiación Analitos Orgánicos e Inorgánicos en Muestras de Interés Biológico, Farmacéutico, Tecnológico, Ambiental y Alimentario de la UNSL. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5244-7312>. Correo electrónico: eperino@unsl.edu.ar, perinoernesto@gmail.com.

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

INTRODUCCIÓN

Cada época debe hacer frente a dificultades y desafíos característicos. En la actualidad se debe dar respuesta a cuatro revolucionarios retos, **contemplados en los objetivos del Proyecto: garantizar el abastecimiento energético; disminuir la contaminación provocada por los combustibles fósiles; reaccionar ante el cambio climático; y mitigar la escasez de alimentos y agua potable**; desafíos que tienen una incidencia en el bienestar del medioambiente, velando por la equidad intergeneracional con unos niveles óptimos de calidad de vida y con una garantía de desarrollo sostenible. La sostenibilidad constituye un argumento irrefutable para realizar un cambio radical al estilo de desarrollo dominante y a la cosmovisión vigente. La cuestión ambiental ha venido a revolucionar nuestra cosmología, y a plantear un nuevo paradigma en la estrecha interacción hombre - sociedad - naturaleza, propiciando en los últimos años un impulso al desarrollo de fuentes energéticas de origen renovable y a la gestión adecuada de los recursos hídricos. Desde esta perspectiva, volcar la mirada hacia un **modelo sostenible**, es evidentemente el **nuevo imperativo categórico** para salvar al planeta, y el paso más inteligente que se puede dar para alcanzar un mundo mejor. Esta nueva cosmovisión colaborará a **tomar conciencia de racionalidad en el consumo de la energía y del agua, tanto a nivel individual como global**.

IMPACTO AMBIENTAL

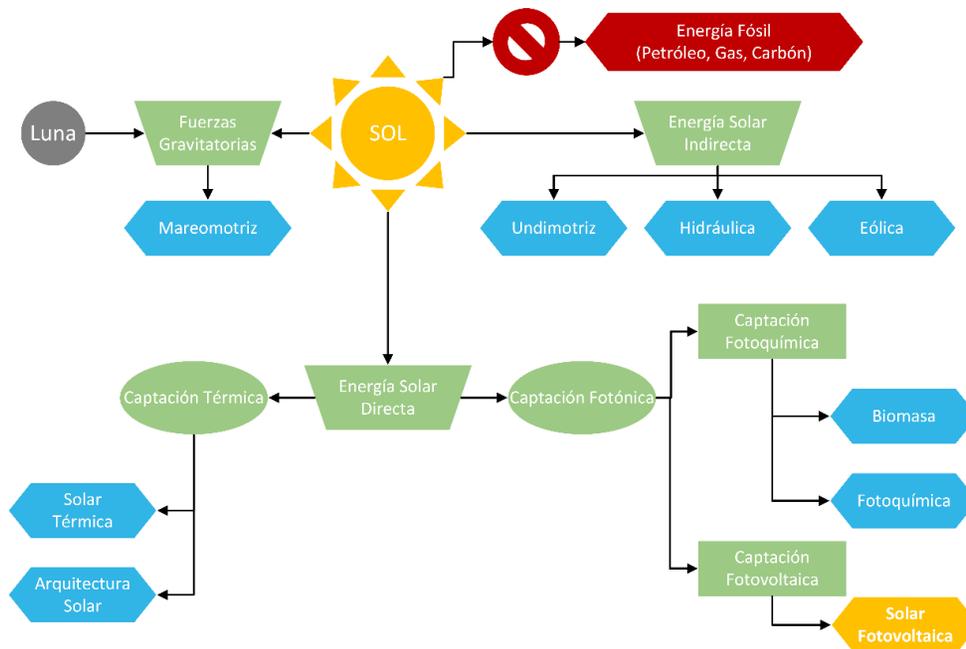
El impacto ambiental negativo que conlleva la ignición de combustibles fósiles (Kalmus, 2018), colocan a la humanidad ante la instancia de migrar hacia fuentes de energías renovables que garanticen servicios energéticos no contaminantes y sustentables. El cambio climático aún no es irreversible, pero lo será si no se aborda una transición vertiginosa hacia la implementación de energías limpias. Afortunadamente, las personas, la comunidad científica y los gobiernos están tomando conciencia de la problemática ambiental, involucrándose en la formulación de políticas públicas verdes. Las Energías Renovables (ER) se han convertido en parte de las acciones prioritarias en el combate contra la crisis ambiental global. Es menester recordar que, **agua y energía constituyen servicios básicos**, siendo pilares fundamentales del desarrollo económico - social y de la mitigación de la pobreza. Las ER son un elemento vital hoy en día, y una alternativa competitiva y viable (OLADE y sieLAC, 2020; FS-UNEP, 2020). En esencia, la propia naturaleza ofrece una variedad de opciones disponibles para suministrar energía limpia. El origen de casi toda la energía empleada en la Tierra proviene del Sol; buena parte de las fuentes energéticas vigentes, aparentemente sin relación con el Sol, obtienen su energía a partir de los fotones que proceden de éste, como se exhibe en la Figura 1.

Figura 1. Esquema de las fuentes energéticas provenientes del Sol.

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022



Fuente: Perino *et al.*, 2019

A pesar de que todas las fuentes energéticas descritas suministran energía eléctrica, lo hacen de forma indirecta a partir de los fotones del Sol; mientras que la energía fotovoltaica produce electricidad directamente de ellos. Es importante tener en consideración que, una de las opciones más prometedoras en la actualidad para contribuir a un marco de desarrollo sostenible, dentro de las diferentes fuentes energéticas, es la basada en la conversión fotovoltaica. Es la tercera fuente de Energías Renovables más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, tras la hidroeléctrica y la eólica. Desde 2001 se ha producido un crecimiento exponencial de la energía fotovoltaica, doblándose aproximadamente cada dos años. Según informes de EPIA - Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en el 2030 (EPIA y Greenpeace, 2008). Hoy se tiene conciencia de que proteger el medio ambiente no es un lujo, sino una condición para la supervivencia planetaria. Tal planteamiento vertebró la aceptación del ser humano como protector de la biosfera, gestionando de manera responsable los recursos naturales, partiendo de una perspectiva ecológica que posibilite el desarrollo, conservando la biodiversidad, a favor de las generaciones venideras.

Sobre este contexto, subyace la necesidad de situar a las instituciones educativas dentro de una dimensión ambiental; ya que se considera un escenario vital para promover el desarrollo sostenible y amigable con el entorno. **El presente proyecto se ha delimitado en el estudio, diseño e implementación de la Planta Potabilizadora de Agua energizada mediante un Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA), cuyo emplazamiento se realizará en la Universidad Nacional de San Luis (UNSL). Por ello, el resto del artículo se centra en desarrollar los objetivos y metodología planteados en el proyecto.** Esto implica una propuesta trascendente dentro del ámbito de la Universidad Nacional de San Luis, poniendo en valor la dimensión medioambiental de dichos sistemas en el ámbito educativo.

POTABILIZACIÓN DE AGUA DE CONSUMO

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y uno de los cuatro patrimonios prioritarios en que se apoya el desarrollo sostenible, junto con el aire, la tierra y la energía (Castells y Bordas Alsina, 2012; Gleick, 2014). **La energía y el agua constituyen un binomio indivisible**, que conlleva a una interdependencia mutua. Sin energía,

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

no se produce el ciclo hidrológico. Sin agua, no se transforman ni se aprovechan las fuentes primarias de energía. El ciclo hidrológico es un proceso dinámico permanente, que ha estado ocurriendo por siglos, de lo contrario la tierra sería un lugar desolado. Se vislumbra la necesidad de poseer un conocimiento minucioso de este ciclo vital, tanto para entender el impacto de las actividades antrópicas como para planificar el uso racional y eficiente del agua disponible. El agua salubre y asequible es transcendental para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico o para la industria alimenticia. La potabilización del agua es un grave problema que aqueja a cientos de habitantes, por lo que requiere soluciones eficaces y económicamente viables. **La consideración del agua como un elemento indispensable para la vida y el desarrollo ha llevado a que en los últimos años surja un consenso mundial en torno a considerarla como un derecho.** La Asamblea General de las Naciones Unidas resolvió, en 2010, reconocer “que el derecho al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos” (Naciones Unidas, Resolución A/RES/64/292, 2010). Siguiendo este camino, en la

Dentro del proceso de potabilización, se encuentra la desinfección o sanitización; operación unitaria que elimina organismos patógenos del agua. Atendiendo a su naturaleza se pueden dividir en físicos y químicos, perteneciendo la radiación UV, que se implementa en la Planta de la Universidad Nacional de San Luis, al grupo de los físicos (Orozco Barrenetxea *et al.*, 2011; Metcalf y Eddy, 1995). **La desinfección basada en la radiación ultravioleta se realiza en la Planta Potabilizadora de la UNSL debido a que se encuentra científicamente comprobado que una correcta dosificación de rayos UV es un eficaz bactericida y virucida, además de no producir compuestos tóxicos.** Comparada con la cloración, la radiación UV desinfecta el agua sin la necesidad de manipular reactivos químicos peligrosos y, por sus cortos tiempos de contacto (~6 segundos), reduce el tamaño de los tanques de tratamiento y el costo. La Planta Potabilizadora de Agua mediante radiación UV se encargará de abastecer holgadamente el consumo anual de agua potable de la comunidad universitaria, que es del orden de 800 litros diarios durante el periodo invernal, ascendiendo a los 1500

Argentina, el derecho humano al agua potable está consagrado por tratados internacionales de rango constitucional. En los artículos 41° y 124° de la Carta Magna Nacional se caracteriza el rol de los recursos naturales frente a los habitantes de nuestros suelos, y la titularidad de dichos bienes en el patrimonio de las provincias. Dado el régimen federal del país, se refleja una heterogeneidad en la gestión del servicio, existiendo una amplia variabilidad en la cantidad de entidades que intervienen en la gestión y competencia del servicio.

Para garantizar que el agua sea íntegramente apta para consumo humano directo; **la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) implementó una Planta Potabilizadora de Agua mediante radiación ultravioleta (UV)**, la cual abastecerá de agua potable a la comunidad universitaria, incluida la Escuela “Juan Pascual Pringles”, el Jardín Maternal “Prof. Victoria Quevedo de Fredes” y la Obra Social “D.O.S.P.U.”, dependientes de la Universidad. La Planta Potabilizadora de agua se encuentra en fase operativa de prueba y puesta a punto, y se prevé que comience en fase operativa normal a partir de noviembre – diciembre de 2020.

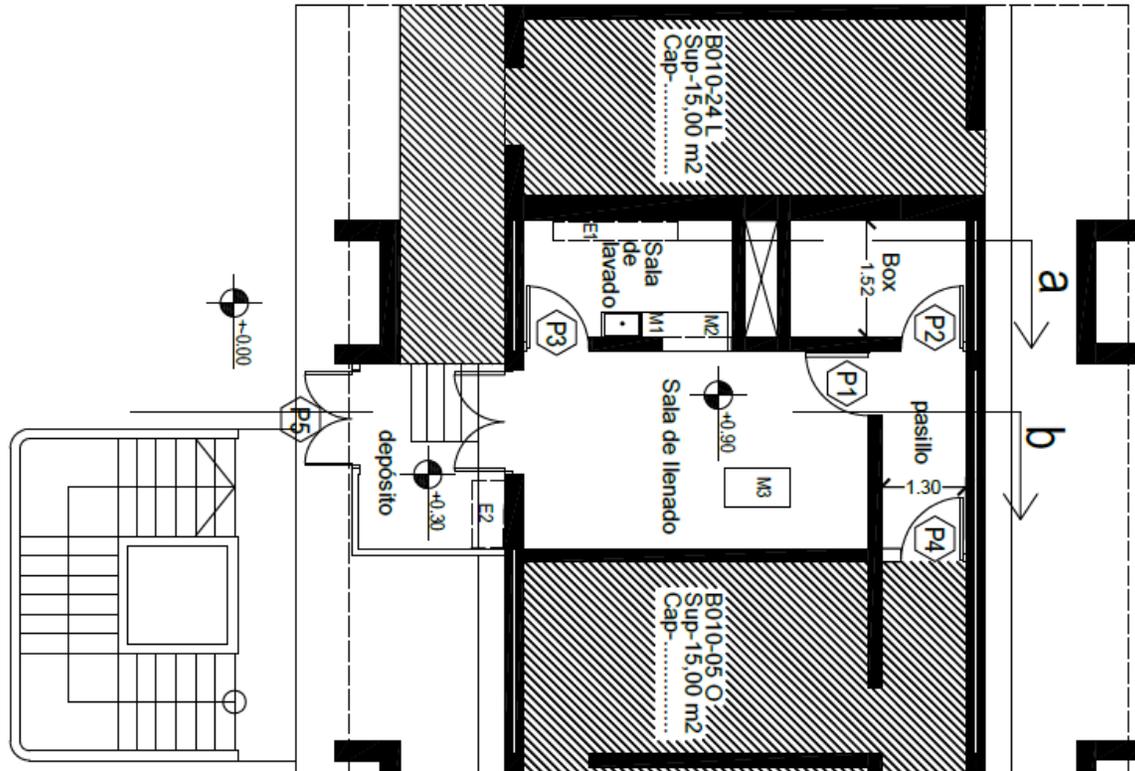
litros diarios durante el periodo estival, lo que equivale a 40 y 75 bidones de 20 litros en ambos periodos, respectivamente. Si bien, en invierno el consumo de agua es menor que en verano, se sanitizarán 1500 litros diarios constantemente a lo largo del año, y el excedente se donará a organizaciones benéficas, como comedores sociales. Si bien éstos son los consumos medios por parte de la comunidad universitaria, pueden darse situaciones de picos de demanda por altas temperaturas entre otros factores. **La Planta fue diseñada para potabilizar el triple de la producción media**, pudiendo erogar hasta 4500 litros por día de agua potable con total normalidad (225 bidones diarios de 20 litros), durante una jornada de 8 horas, desde las 9:00 a las 17:00. Ello se debe a que se prevé **la construcción de un campus universitario anexo**, en un terreno ya adquirido por la Universidad. El plano de la obra civil y el esquema general de la Planta Potabilizadora de Agua, de uso anual, de la Universidad Nacional de San Luis, con ubicación en el edificio de El Barco, se observan en la Figura 2 y 3 respectivamente.

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1julio 2022

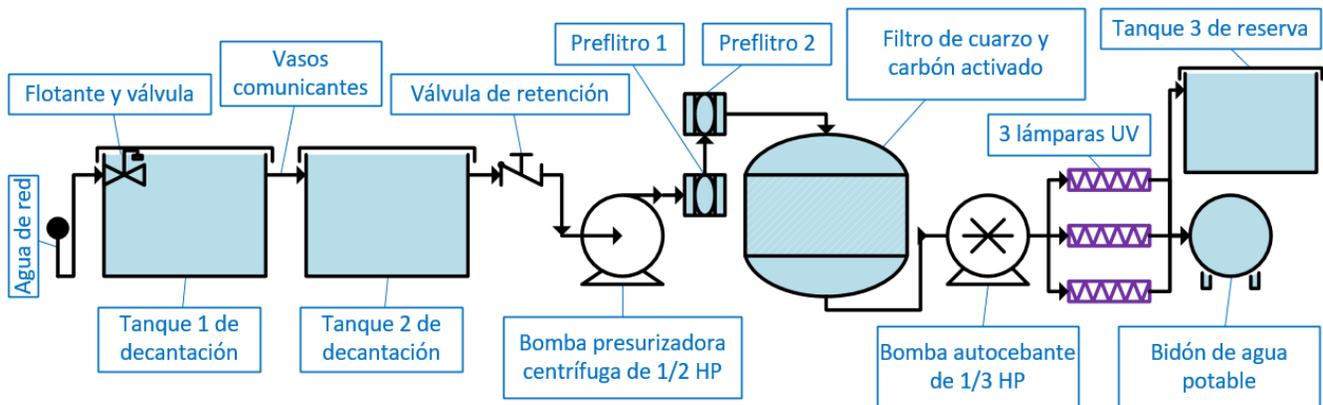
Fecha corregida: 22 agosto 2022

Figura 2. Plano de infraestructura civil de la Planta Potabilizadora de Agua de la UNSL.



Fuente: Dirección General de Planificación e Infraestructura de la UNSL

Figura 3. Esquema de la Planta Potabilizadora de Agua de UNSL.



Fuente: Ernesto Jesús Perino, 2019

El agua de red ingresa a los **tanques decantadores 1 y 2**; en ellos se realiza la **sedimentación** o **decantación**, la cual debe durar como mínimo 8 horas en los tanques de la Planta, mientras que el **purgado** de los tanques 1 y 2 se efectúa una vez por

semana para retirar la totalidad de los fangos. El agua de los tanques, una vez decantada, es extraída mediante la **bomba presurizadora centrífuga de 1/2 HP**, e inyectada a presión a los dos prefiltros y a los filtros de cuarzo y de carbón activado. Los **prefiltros**

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

1 y 2 de la Planta son de **celulosa de papel**, y han de ser **renovados una vez por semana**. Posteriormente, el agua prefiltrada, ingresa a presión al **filtro en profundidad** o **lecho filtrante**. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador ni han sido acaparadas en el prefiltrado, son retenidas en el filtro. La Planta emplea **filtro en profundidad de lechos mixtos** o **multicapa**, constituidos por **cuarzo** y **carbón activado granular**, la rugosidad del carbón activado permite suprimir malos olores, algunos químicos como el cloro y minerales suspendidos al atraparlos en sus porosidades. **Cada capa del filtro bimedia es de 50 cm de espesor y se encuentran contenidas en un tanque de acero inoxidable de 1mm de espesor, con capacidad de 1000 litros**. La retención de partículas en los filtros provoca un progresivo atascamiento en el interior, hasta llegar a anular su capacidad de filtración, por lo que, **se lavará a contracorriente empleando agua con aire cada 3 meses**.

Una vez filtrada, el agua es extraída por una **bomba autocebante de 1/3 HP**, que se encarga de inyectar el agua en la etapa final del proceso; éste consiste en la **sanitización mediante lámparas ultravioletas germicidas**. La **desinfección** radica en la **destrucción selectiva de los organismos patógenos que causan enfermedades**. La luz UV es una radiación electromagnética que, de acuerdo a su longitud de onda, se clasifica en: UV-A (315 - 400 nm), limítrofe con la luz visible; UV-B (280 - 315 nm) denominada eritémica, y **UV-C (100 - 280 nm) denominada germicida y actínica**. El método de **La radiación ultravioleta no produce residuos tóxicos secundarios**, como en el caso de la cloración que puede formar subproductos organoclorados, considerados agentes cancerígenos. La acción de los rayos UV sobre el organismo humano está limitada a la piel y al ojo. En virtud de su bajo poder de penetración, la radiación UV llega a la epidermis; en el caso del ojo, la mayor parte es absorbida por la córnea. Entre los posibles efectos, por exposiciones crónicas, se encuentra el cáncer de piel. **El conjunto de lámparas UV de la Planta Potabilizadora de la UNSL está contenido en una cámara de acero inoxidable herméticamente cerrada, denominado reactor (lámparas UV + cámara)**.

Finalizado el proceso de desinfección, **el agua potable**, libre de elementos patógenos, **se**

generación de radiación UV para la desinfección de aguas es la lámpara de arco de mercurio a baja presión, la cual emite el 85% de la luz monocromática con una longitud de onda de 253,7 nm, valor dentro del intervalo óptimo para la obtención de efectos germicidas (Orozco Barrenetxea *et al.*, 2011; Metcalf y Eddy, 1995). Las lámparas UV pueden estar suspendidas fuera del líquido o sumergidas en él. **Las sumergidas se recubren con tubos de cuarzo para evitar el efecto refrigerante del líquido; caso que corresponde a la Planta Potabilizadora de Agua de la UNSL**.

La radiación con longitud de onda de alrededor de 253,7 nm penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por los materiales celulares, incluidos el ADN y el ARN, lo que impide la reproducción o provoca directamente la muerte de la célula. Solo es efectiva la radiación UV que alcanza a la célula en forma directa, por lo que resultará imprescindible el correcto proceso de filtrado, para obtener un agua muy clara, evitando que la turbidez actúe como escudo de los organismos patógenos. Por ello, **las partes esenciales de la Planta Potabilizadora están constituidas por los filtros de cuarzo y carbón activado, y por la matriz ultravioleta de 90 W, conformada por 3 lámparas UV de 30 W, 90 cm de largo y 2,6 cm de diámetro cada una. A través de la matriz UV circulará un flujo laminar muy delgado de agua que demora 6 segundos en recorrer los 90 cm de longitud, maximizando la efectividad desinfectante**.

almacenará en el tanque de reserva de 500 litros y en los bidones de 20 litros para su posterior distribución en las distintas dependencias de la Universidad Nacional de San Luis y entre distintas organizaciones benéficas sin fines de lucro, como ser el caso de comedores sociales. Dicha agua sanitizada es apta para el consumo directo.

El agua no es un recurso más, es el recurso; es la vida misma. La mejora al acceso al agua potable llega a proporcionar beneficios tangibles para la salud y el desarrollo de la sociedad. Como se sabe, existe una correspondencia entre salud de la población y disponibilidad de agua, según cantidad y calidad. De acuerdo con los estudios recientes, cuatro de cada diez personas del mundo viven con agua insuficiente o de mala calidad. Datos de la ONU

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

señalan que el suministro de agua potable es la más importante precondition para mantener la vida humana y lograr el desarrollo sostenible. La OMS considera que 80% de las enfermedades son causadas por el consumo de agua no potable, insuficiente disponibilidad o falta de saneamiento de la misma. A nivel mundial, alrededor de 3 de cada 10 personas carecen de acceso a agua potable y disponible en el hogar, y 6 de cada 10 carecen de un saneamiento seguro (OMS – UNICEF, 2017). El agua es la base de la sustentabilidad y la seguridad de la población. El agua es vida, por ende, un agua limpia y sin contaminación es sinónimo de una sociedad sostenible.

MARCO LEGAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

El mundo está transitando el camino hacia un nuevo paradigma energético basado en tres elementos claves: las fuentes renovables de energía, el uso racional y eficiente de la misma, y el cuidado del medioambiente. La promoción de las renovables es uno de los Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS) a nivel global (OLADE y GWEC, 2020). En Argentina existe la decisión gubernamental de impulsar e integrar la participación de las energías provenientes de fuentes renovables dentro de la matriz energética nacional. Por ello, se han sancionado leyes nacionales específicas y de alcance federal.

Leyes nacionales importantes que delinear el mapa de regulación para la energía solar:

Ley N° 27.424/2017. Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica: Fija las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red, para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, sin perjuicio de las facultades propias de las provincias.

Decreto 986/2018. Reglamenta Ley N° 27.424/2017: En su artículo 1° aprueba la reglamentación de la Ley N° 27.424.

Leyes provinciales importantes que delinear el mapa de regulación para a la energía solar:

San Luis incorporó las energías renovables a la Agenda de gobierno, ya que tiene como uno de sus principales objetivos garantizar la disponibilidad energética presente y futura, con una importante diversificación de la matriz energética, maximizando el uso racional y eficiente para el continuo desarrollo provincial, según lo establecen la **Ley provincial N° IX-0821-2012, Plan Estratégico de Energía 2012-2025**, y la **Ley N° IX-0921-2014, Promoción y Desarrollo de Energías Renovables. El Gobierno de la provincia de San Luis** (lugar geográfico del presente proyecto) **en forma conjunta con la Empresa Distribuidora EDESAL, no han adherido a la Ley Nacional N° 27.424, ya que no han promulgado aún la Reglamentación pertinente de Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica; asignatura pendiente a nivel provincial.**

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

RECURSO SOLAR EN ARGENTINA Y SAN LUIS

Debido al consumo energético creciente global, el fomento de fuentes de energías alternativas se ha vuelto uno de los principales Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS) de las sociedades contemporáneas. La inquietud por la degradación medioambiental y la necesidad imperiosa de disminuir la dependencia de los combustibles convencionales son elementos que influyen decididamente sobre las políticas energéticas a la hora de atizar la investigación, el desarrollo y las aplicaciones de las energías renovables (IRENA, 2019; OLADE y GWEC, 2020), siendo la generación fotovoltaica una de las estrategias más notorias y económicamente viables.

Desde el punto de vista del recurso, la energía solar es sumamente abundante, por lo que se está impulsando su aprovechamiento sostenido a nivel mundial, y la Argentina no queda exenta de dicho proceso. Para dimensionar correctamente los sistemas solares, evaluar sus costos y factibilidades resulta imperioso contar con información precisa de la distribución espacial y temporal del recurso solar.

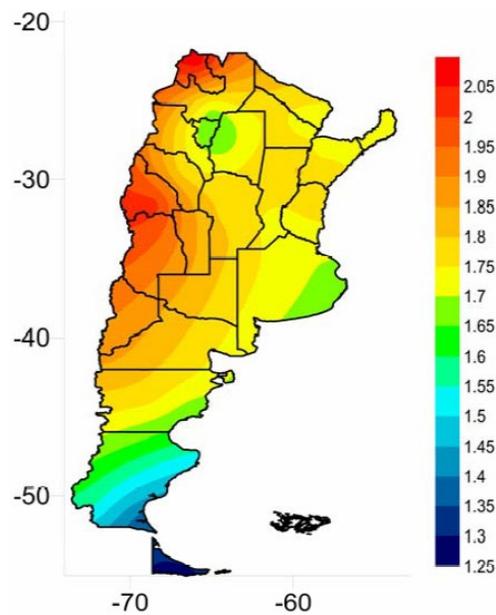
Tanto la posición relativa del Sol como las condiciones atmosféricas afectan la radiación solar aprovechable, en cada instante, sobre la superficie terrestre. Además, la ubicación geográfica (latitud y longitud) y la estación del año son factores que determinan la energía solar disponible. Al tratar de cuantificar el recurso solar se deberá considerar su característica de energía renovable e inagotable (Grossi Gallegos y Raichijk, 2018; Cadena *et al.*, 2017), pero de disponibilidad cíclica (día – noche, estaciones anuales) y con cierto grado de aleatoriedad (nubosidad, partículas en suspensión, etc.). De lo expuesto se deduce que, resulta de gran relevancia conocer minuciosamente el recurso solar de cada región, siendo el objeto de análisis del presente apartado el recurso de la República Argentina, haciendo hincapié en el de la ciudad de San Luis.

En nuestro país, las primeras cartas con la distribución de la radiación solar global datan de 1972, en base a correlaciones establecidas en cinco estaciones entre la heliofanía y los datos de irradiación global medidos por el Servicio Meteorológico Nacional. A partir de la instalación de las primeras estaciones de la red solarimétrica en

1978, aumentó significativamente el número de localidades con medición piranométrica, lo que permitió encarar el trazado de cartas con la distribución de la radiación solar global con mayor grado de certeza (Grossi Gallegos y Raichijk, 2018). Cabe destacar que en el año 2007 se publicó el **Atlas de Energía Solar de la República Argentina** (Grossi Gallegos y Righini, 2007), que presenta un **conjunto de cartas con la distribución mensual de los promedios diarios de la irradiación solar global relativa a los doce meses del año**, a lo largo y lo ancho de la Argentina.

Conocer la distribución espacial y temporal de la radiación proveniente del Sol resulta imprescindible a la hora de realizar un dimensionamiento de un sistema solar térmico o fotovoltaico. La Figura 4 exhibe las isóneas de irradiación solar anual, en $[MWh/m^2]$, percibida por planos inclinados (colector solar o módulo fotovoltaico) un ángulo fijo respecto de la horizontal, con un valor de inclinación óptima β_{opt} para aplicación anual, que maximiza la energía solar recolectada a lo largo de todo el año, contemplando el periodo estival e invernal (Righini y Grossi Gallegos, 2011).

Figura 4. Carta de irradiación solar anual, en $[MWh/m^2]$, colectada por planos inclinados un ángulo óptimo fijo.



Fuente: Righini y Grossi Gallegos, 2011

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

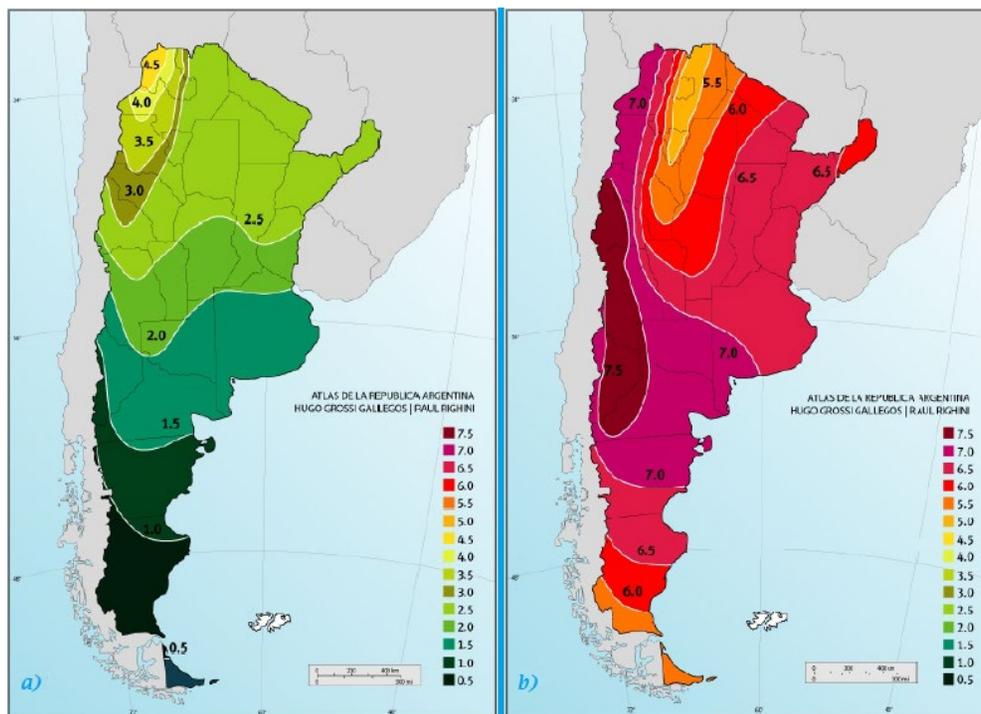
Fecha corregida: 22 agosto 2022

De la carta de irradiación solar anual, Figura 4, se percibe que la región más propicia para el aprovechamiento de la energía solar es la zona del noroeste argentino (NOA). Además, se vislumbra que la región cuyana constituida por Mendoza, San Juan y San Luis (punto geográfico del presente proyecto) y La Rioja, es un terruño de buena calidad de radiación solar. **La ciudad de San Luis y más precisamente el edificio de El Barco** ($-33,2996179$; $-66,3412902$), donde estará emplazada la Planta Potabilizadora de Agua y el Sistema Fotovoltaico Autónomo, se encuentra enmarcada en la isolínea de $1,9 \text{ MWh/m}^2$ de irradiación media anual captada por un módulo con inclinación óptima fija.

Se prosigue con el análisis del recurso solar, focalizándose en los valores medios mensuales de la irradiación. **En lo que respecta a la factibilidad de**

obtención de energía solar fotovoltaica en Argentina, la Figura 5 a) y b) muestran dos de las doce cartas relevadas (junio y diciembre) en el Atlas de Energía Solar de la República Argentina, para la evaluación a nivel de superficie terrestre de la radiación solar global (Grossi Gallegos y Righini, 2007). Los valores medios mensuales de la radiación solar global diaria recibida sobre un plano horizontal se expresan en unidades convenientes para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos, trazándose las isolíneas espaciadas $0,5 \text{ kWh/m}^2$ para evitar que, con el nivel de incerteza fijado por las mediciones, extrapolaciones y estimaciones, ocurriera superposición en los meses de mayores niveles de irradiación. **Dichas cartas mensuales presentan la distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria, en kWh/m^2 , que incide sobre un plano horizontal.**

Figura 5. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) sobre un plano horizontal, correspondiente: a) mes de junio, b) mes de diciembre.



Fuente: Grossi Gallegos y Righini, 2007

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

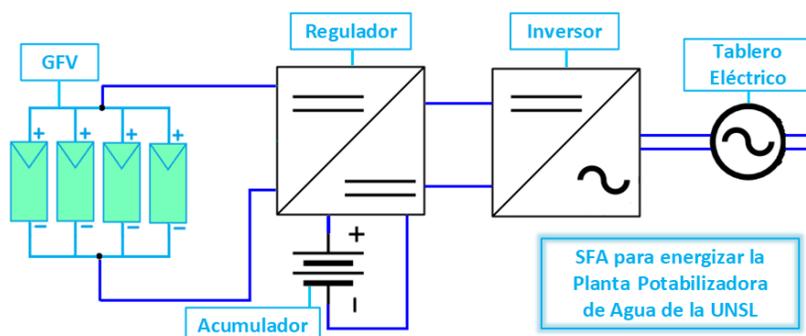
Fecha corregida: 22 agosto 2022

SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO U OFF GRID

De lo expuesto con anterioridad, se vislumbra que es técnicamente viable energizar con un Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA) la Planta Potabilizadora de Agua de la UNSL, emplazada en el edificio de El Barco. Haciendo extensiva dicha conclusión, se percibe un gran potencial del recurso para fomentar el desarrollo y la transformación de la matriz energética y equiparar la generación con la demanda de energía eléctrica a través de la implantación de proyectos fotovoltaicos que brinden una alternativa sustentable y respetuosa de la biosfera.

Cabe recordar del Marco Legal provincial, que San Luis no cuenta con Reglamentación Vigente de Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red. La ausencia reglamentaria en la Provincia justifica que en el presente proyecto se opte indefectiblemente por un Sistema FV Off Grid. El proyecto ha de garantizar las especificaciones técnicas mínimas que se deben cumplimentar para el correcto funcionamiento del SFA (Thermie B SUP-995-96, 1998), con la finalidad de velar por la operatividad anual continua y apropiada de la Planta Potabilizadora. El SFA (Figura 6) debe ser fiable, en beneficio de la comunidad universitaria, de su integración en el entorno, y del respeto por el medioambiente.

Figura 6. Esquema genérico del Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora.



Fuente: Ernesto Jesús Perino, 2019

DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO (SFA)

Para efectuar el dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Autónomo del presente proyecto se consideran las **normas metodológicas** propuestas por el Departamento de Energía Solar del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), de España, en **Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red** (IDAE, 2009). Además, se tiene en consideración premisas estipuladas por el **Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)**, en el apartado 5 del ITC BT 40 (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002), por la **Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles** y su Anexo **Sección 712: Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos** (Asociación Electrotécnica Argentina, 2006; Asociación Electrotécnica Argentina, 2015). El

propósito del dimensionado del SFA es el cálculo de los subsistemas para suministrar de modo fiable, durante todo el año, el consumo de energía eléctrica de la Planta Potabilizadora de Agua de la UNSL.

RECOGIDA DE DATOS E INVENTARIO DE CONSUMOS

El objetivo fundamental de la recopilación de datos y de la elaboración del Inventario de Consumos es valorar la energía eléctrica media diaria requerida por la Planta Potabilizadora de uso anual. Haciendo foco en el análisis energético, los dispositivos que consumen energía eléctrica son la bomba presurizadora centrífuga de 1/2 HP, la bomba autocebante de 1/3 HP, y la matriz UV de 90 W. Los dispositivos funcionarán generalmente durante 1 hora por día, desinfectando 1500 litros diarios de agua. Pueden darse picos de demanda por lo que los dispositivos eléctricos deberán funcionar 3 horas diarias, sanitizando 4500 litros diarios. El

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

dimensionado del SFA, que energizará la Planta, tendrá en cuenta el caso más desfavorable, considerando las 3 horas diarias necesarias para potabilizar 4500 litros. Además, se deben incluir las 4 luminarias LED de 18 W cada una, que funcionarán El Inventario de Consumos de la Planta Potabilizadora de Agua de utilización anual, se exhibe en la Tabla 1. Notar que en la Tabla 1, se indica la potencia en Watts [W], aunque en la bomba

como máximo 9 horas diarias; mientras que las 2 luminarias de emergencia de 60 LED de 8 W, se requerirán eventualmente durante periodos cortos (~15'), por lo que se la incluye entre otros consumos.

presurizadora y autecebante el dato corresponde a la potencia aparente eléctrica [VA] (potencia total), que es mayor a la potencia activa eléctrica [W] (potencia útil).

Tabla 1. Inventario de Consumos Eléctrico de la Planta Potabilizadora de la UNSL.

Equipo Eléctrico	Descripción	Cantidad	Potencia [W]	Potencia total [W]	Uso diario [hs]	Energía diaria [Wh]
Bomba presurizadora	Bomba presurizadora centrífuga de 1/2 HP, 1,9 A - 220 V.	1	418	418	3	1254
Bomba autocebante	Bomba autocebante de 1/3 HP, 1,3 A - 220 V.	1	286	286	3	858
Lámpara UV	Lámpara UV, vida útil de 9000 horas.	3	30	90	3	270
Luminaria	Luz LED	4	18	72	9	648
Otros	2 luces de emergencia (60 LEDs - 8W) no permanente, eventuales consumos no recogidos y futuras ampliaciones.		50	50	3	150
Total				916		3180

Fuente: Integrantes del Proyecto Radiación solar y medio ambiente (UNSL), 2019

A partir del Inventario de Consumos, se observa que la potencia de la Planta Potabilizadora de Agua es $P_{\text{planta}} = 916 \text{ W}$ y la energía media diaria consumida es $E_d = 3180 \text{ Wh/día}$.

Además, cabe tener presente que se implementará un sistema fotovoltaico con **acumulación** (off grid) mediante un **banco de baterías de 24 V**, y la Planta Potabilizadora de Agua será energizada con **corriente alterna** por lo que se necesitará un **inversor** de onda senoidal pura.

DIMENSIONADO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (GFV)

Para el dimensionamiento del GFV, hay que considerar el **periodo de diseño**. Para ello, se tiene presente lo propuesto por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red - PCT (IDAE, 2009): En escenarios de **consumo constante a lo largo del año**, se emplea el **periodo de diseño del "mes peor"**. La Planta Potabilizadora es de uso

anual, operando sólo 5 días a la semana, por lo que el periodo de diseño se establece para el "**mes peor**". En la ciudad de San Luis, **junio es el mes más desfavorable**, como lo precisa el Atlas de Energía Solar de la República Argentina en la Figura 5 (Grossi Gallegos y Righini, 2007). El GFV del presente proyecto estará instalado en la **terrace del tercer piso** del edificio **El Barco** ($-33,299^\circ; -66,341^\circ$). Dicha terraza es una **superficie horizontal** que posibilita orientar e inclinar el GFV propiciamente; además no cuenta con obstáculo alguno que genere sombras sobre los módulos. El GFV tendrá un **azimut óptimo** $\alpha = 0^\circ$, orientado **hacia el Norte**. La inclinación óptima del generador es $\beta_{\text{opt}} = 45^\circ$. La Tabla 2, arroja para la ciudad de San Luis, el valor medio mensual de irradiación diaria [$\text{kWh/m}^2/\text{día}$] para $\alpha = 0^\circ$, orientado hacia el Norte, y $\beta_{\text{opt}} = 45^\circ$.

Tabla 2. Valor medio mensual de irradiación diaria [$\text{kWh/m}^2/\text{día}$], con azimut e inclinación óptima.

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

Mes	$G_{dm} (\alpha = 0^\circ, \beta_{opt} = 45^\circ) [kWh/m^2/día]$
Enero	6,33
Febrero	6,18
Marzo	5,95
Abril	5,38
Mayo	5,27
Junio	4,73
Julio	4,89
Agosto	5,71

Se procede a dimensionar el **Generador Fotovoltaico**, para lo cual se consideran las **pérdidas energéticas** debidas a: la temperatura de trabajo que depende de la temperatura ambiente y de la irradiancia; la dispersión de los parámetros de los módulos FV (mismatch effects); operar fuera del punto de máxima potencia (lo solventa un MPPT); la intensidad que circula por los conductores genera disipación de energía; el rendimiento del regulador de carga, del banco de baterías y del inversor. **El PCT** (IDAE, 2009), **agrupa las pérdidas descritas en un coeficiente denominado PR** (performance ratio), que establece la eficiencia de la instalación fotovoltaica en condiciones reales de trabajo; valor estipulado por el PCT en SFA con regulador de carga, banco de baterías e inversor es **PR \approx 0,6**. Teniendo en cuenta dicho coeficiente, **se calcula la potencia mínima del GFV** mediante:

$$P_{G \text{ mín}} = \frac{E_d G_{CEM}}{G_{dm} (\alpha = 0^\circ, \beta_{opt} = 45^\circ) PR}$$

$$= \frac{3,180 \text{ kWh/día} \times 1 \text{ kW/m}^2}{4,73 \text{ kWh/m}^2/\text{día} \times 0,6}$$

$$= 1,121 \text{ kW}$$

Donde $P_{G \text{ mín}}$ es el valor mínimo de la potencia del GFV [kW], E_d es la energía media diaria consumida [kWh/día], G_{CEM} es la irradiancia en condiciones CEM [kW/m²], $G_{dm} (\alpha = 0^\circ, \beta_{opt} = 45^\circ)$ es el valor medio mensual de irradiación solar diaria [kWh/m²/día], y PR es la relación de rendimiento.

Obtenida la potencia mínima necesaria del GFV, se prosigue a seleccionar los **módulos constitutivos**, y la disposición de los mismos que satisfagan las condiciones requeridas, con banco de batería de 24 V. El módulo elegido es el modelo **LVE72PSe** de **320 W_p** de la marca **LV-energy**, de industria provincial. La cantidad de **módulos FV** en **serie N_S** y **paralelo N_P** necesarios para satisfacer el requisito de la $P_{G \text{ mín}}$ del GFV está dada por:

Septiembre	6,14
Octubre	6,23
Noviembre	6,32
Diciembre	6,34
Promedio	5,79

Fuente: Integrantes del Proyecto Radiación solar y medio ambiente (UNSL), basada en tablas de transposición, 2019

$$N_S N_P \geq \frac{P_{G \text{ mín}}}{P_{\text{máx}} \text{ o } P_{\text{mpp}}} = \frac{1121 \text{ W}}{320 \text{ W}} = 3,5 \Rightarrow N_S N_P = 4 \text{ módulos FV}$$

El GFV está constituido por 4 ramas en paralelo (N_P = 4) y por un único módulo en cada rama (N_S = 1), ya que la tensión del módulo coincide con la del generador y, además, el modelo LVE72PSe está optimizado para operar con la tensión nominal de 24 V del acumulador. La potencia máxima proporcionada por el GFV es:

$$P_{G \text{ máx}} = N_S N_P P_{\text{máx}} = 1 \times 4 \times 320 \text{ W} = 1280 \text{ W}$$

DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN

En un SFA, la función del acumulador, es proveer energía durante periodos de escasa o nula radiación. Para garantizar el suministro eléctrico diario, es preciso prefiar los **días de autonomía (DA)** que conforman el margen de seguridad energético de la instalación. San Luis posee un clima continental seco. Las lluvias se dan principalmente en verano, presentándose tormentas de corta duración (entre 1 y 2 horas); mientras que en invierno las precipitaciones son casi nulas. Por lo tanto, la nubosidad en el cielo sanluiseño es escasa, presentando más bien días despejados y soleados. Además, se debe considerar que la Planta Potabilizadora operará durante la jornada diurna, por lo que no será necesaria energizarla durante la noche. A su vez, se dispondrá de un sistema de automatización con un PLC LOGO! de Siemens, que opera con 24V, el cual dispondrá de un automatismo de control encargado de desconectar el SFA apenas el banco de baterías alcance el 60% de profundidad de descarga (Datasheet MOURA 12MC220), conectando la Planta Potabilizadora a la red eléctrica. Cuando la carga del acumulador se restablezca, el autómatas desconectará la Planta de la red eléctrica y

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

reconectará el SFA. Luego, se calcula el **consumo medio diario, en [Ah/día]** mediante:

$$Q_d = \frac{E_d}{U_{\text{bco. bat.}}} = \frac{3180 \text{ Wh/día}}{24 \text{ V}} = 132,5 \approx 133 \text{ Ah/día}$$

El rendimiento del regulador es $\eta_R = 0,98$; el rendimiento típico del acumulador de Pb-ácido es $\eta_B = 0,8$; el rendimiento del inversor es $\eta_I = 0,9$. El rendimiento final es $\eta_{R,B,I} \approx 0,71$. A partir de los datos anteriores, se calcula la **capacidad del banco de baterías** $C_{20 \text{ bco. bat.}}$, dada por:

El número de baterías conectadas en serie N_S batería se obtiene dividiendo la tensión nominal del banco de baterías entre la tensión nominal de la batería; mientras que, la cantidad necesaria de ramas de baterías en paralelo N_P batería se consigue dividiendo la capacidad del acumulador entre la capacidad de la batería seleccionada:

$$N_S \text{ batería} = \frac{U_{\text{bco. bat.}}}{U_{\text{bat. seleccionada}}} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2$$

$$N_P \text{ batería} = \frac{C_{20 \text{ bco. bat.}}}{C_{20 \text{ bat. seleccionada}}} = \frac{625 \text{ Ah}}{220 \text{ Ah}} = 2,84 \approx 3$$

En total, **se requieren** $N_S \text{ batería} N_P \text{ batería} = 2 \times 3 = 6$ **baterías MOURA CLEAN 12MC220.**

DIMENSIONADO DEL REGULADOR DE CARGA

Para seleccionar apropiadamente el regulador es imprescindible conocer la intensidad, la tensión y la potencia máxima de entrada proveniente del GFV; también, la tensión nominal del acumulador y la intensidad máxima de salida del regulador. Se seleccionó el regulador **modelo MPPT-80-24** de la marca **enertik**, que cuenta con seguidor de punto de máxima potencia, lo que optimiza la conversión energética de los módulos. El **MPPT-80-24** opera con una tensión de sistema de **24 V**, intensidad tanto de entrada como de salida de **80 A** y una potencia máxima del GFV de **2000 W** (Datasheet MPPT-80-24 de enertik). Para su correcta selección, se tuvieron en cuenta las premisas que se detallan a continuación. La tensión nominal U_R del regulador debe coincidir con la tensión del banco de baterías, tal que:

$$C_{20 \text{ bco. bat.}} = \frac{Q_d DA}{PD_{\text{máx}} \eta_{R,B,I}} = \frac{133 \text{ Ah/día} \times 2 \text{ día}}{0,6 \times 0,71} \approx 625 \text{ Ah}$$

C_{50} corresponde a un periodo de 50 horas, más próximo a las 48 horas ($DA=2$). Emplear C_{20} sobredimensiona el acumulador en un 15% aproximadamente, pero se compensa con la pérdida de capacidad con el tiempo. Se escoge instalar la batería optimizada para sistemas FV, **MOURA CLEAN 12MC220**, de $PD_{\text{máx}} = 60\%$, $U_{\text{bat. seleccionada}} = 12 \text{ V}$ y $C_{20} = 220 \text{ Ah}$.

$$U_R = U_{\text{bco. bat.}} = 24 \text{ V} \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

La tensión máxima de circuito abierto del generador $U_{G \text{ oc } (-10^\circ\text{C})}$, bajo la condición de temperatura más desfavorable (-10°C), se calcula a partir de la tensión de circuito abierto y el coeficiente de tensión-temperatura β de los módulos (Datasheet LVE72PSe), se obtiene:

$$\beta = \left(\frac{\beta_*}{100} \right) U_{G \text{ oc}} = \left(\frac{-0,32}{100} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right) 45,7 \text{ V} = -0,14624 \text{ V/}^\circ\text{C}$$

Obtenido el coeficiente de tensión-temperatura β [V/°C], se procede a calcular la **tensión máxima de circuito abierto del generador** $U_{G \text{ oc } (-10^\circ\text{C})}$ bajo la condición más adversa, dada por:

$$\begin{aligned} U_{G \text{ oc } (-10^\circ\text{C})} &= U_{G \text{ oc}} + \beta(T - 25^\circ\text{C}) \\ &= 45,7 \text{ V} + (-0,14624 \text{ V/}^\circ\text{C})(-35^\circ\text{C}) \\ &= 50,82 \text{ V} \end{aligned}$$

La tensión máxima en la entrada del sistema regulador $U_{R \text{ in máx}}$ debe ser mayor a la tensión máxima de circuito abierto del generador $U_{G \text{ oc } (-10^\circ\text{C})}$, en condiciones más desfavorables, tal que:

$$\begin{aligned} U_{R \text{ in máx}} &> U_{G \text{ oc } (-10^\circ\text{C})} \Rightarrow \\ 73 \text{ V} &> 50,82 \text{ V} \rightarrow \text{Cumple la condición.} \end{aligned}$$

La intensidad de cortocircuito del generador $I_{G \text{ sc}}$, bajo condiciones estándares de medida, está dada por el producto de la corriente de cortocircuito I_{sc} de cada módulo FV y el número de ramas en paralelo N_P :

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

$$I_{G\ sc} = N_p I_{sc} = 4 \times 9,15\ A = 36,6\ A$$

Según lo estipulado por el PCT y el REBT (IDAE, 2009; Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002), la intensidad de cortocircuito del generador $I_{G\ sc}$, con un factor de seguridad del 25%, es:

$$I_{G\ sc\ seguridad} = 1,25 \times 36,6\ A = 45,75\ A$$

La intensidad máxima en la entrada del sistema regulador $I_{R\ in\ máx}$ debe ser mayor a la intensidad de cortocircuito del GFV con el factor de seguridad $I_{G\ sc\ seguridad}$, tal que:

$$I_{R\ in\ máx} > I_{G\ sc\ seguridad} \Rightarrow \\ 80\ A > 45,75\ A \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

La intensidad máxima en la salida del sistema regulador $I_{R\ out\ máx}$ debe ser mayor a la intensidad de entrada del inversor con el factor de seguridad $I_{I\ CC\ seguridad}$, tal que:

$$I_{R\ out\ máx} > I_{I\ CC\ seguridad} \Rightarrow \\ 80\ A > 69,44\ A \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

Se observa que el **regulador de carga MPPT-80-24** de enertik, **cumple satisfactoriamente con todas las premisas** requeridas para el correcto funcionamiento del sistema.

DIMENSIONADO DEL INVERSOR

De acuerdo a lo estipulado por el PCT (IDAE, 2009), el inversor para sistemas autónomos debe ser de onda senoidal pura, salvo que su potencia nominal sea inferior a 1 kVA. Además, el inversor debe estar conectado a la salida del consumo del regulador preferentemente, o al sistema de acumulación mediante un relé controlado por la salida del regulador. Se seleccionó el inversor **IS-1200-24** de **enertik**. Las especificaciones técnicas exhiben que es de onda senoidal pura, opera con tensión continua de entrada entre **20 V - 32 V**, tensión alterna de salida de **220 V**, potencia nominal de **1200 W** y potencia de pico de **2400 W** (Datasheet IS-1200-24). Para su selección, se tuvieron en cuenta las premisas que se detallan a continuación. La tensión nominal de entrada del inversor $U_{I\ in}$ debe coincidir con la tensión

La potencia máxima en la entrada del sistema regulador $P_{R\ in\ máx}$ debe ser mayor a la potencia máxima proporcionada por el generador fotovoltaico $P_{G\ máx}$, tal que:

$$P_{R\ in\ máx} > P_{G\ máx} \Rightarrow \\ 2000\ W > 1280\ W \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

La intensidad de consumo, que en este caso es la intensidad de entrada al inversor considerando su potencia nominal $P_I = 1200\ W$, su eficiencia $\eta_I = 90\%$, y aplicando un factor de seguridad del 25%, según lo estipulado por el PCT y el REBT, es:

$$I_{I\ CC\ seguridad} = 1,25 P_I / \eta_I U_R \\ = 1,25 \times 1200\ W / 0,9 \times 24\ V \\ = 69,44\ A$$

nominal U_R del regulador y con la tensión nominal del banco de baterías $U_{bco.\ bat.}$, tal que:

$$U_{I\ in} = U_R = U_{bco.\ bat.} = 24\ V \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

La potencia nominal del inversor P_I debe ser superior a la sumatoria de todas las potencias de los consumos que puedan funcionar simultáneamente. Se debe operar con la potencia aparente S [VA], en aquellos consumos que tengan factor de potencia distinto de la unidad ($\cos \phi \neq 1$). A partir del Inventario de Consumos, se observa que la potencia de la Planta Potabilizadora de Agua de la UNSL es $P_{planta} = 916\ W$ y la energía media diaria consumida es $E_d = 3180\ Wh/día$, tal que:

$$P_I > P_{planta} \Rightarrow \\ 1200\ W > 916\ W \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

Si hay algún receptor que requiera una intensidad de arranque transitoria, se debe corroborar que la potencia máxima durante el tiempo de arranque sea admisible por la capacidad de sobrecarga (IDAE, 2009; Mohanty *et al.*, 2016); es decir, por la **potencia de pico del inversor**. Las dos bombas de la Planta duplican su potencia durante 0,5 s en el arranque, por lo que la potencia transitoria de la Planta será de:

$$P_{planta\ arranque} = 916\ W + 418\ W + 286\ W = 1620\ W$$

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

La potencia de pico del inversor P_{1p} durante 5 s, debe ser mayor que la potencia de arranque transitoria de 0,5 s de los dispositivos receptores de la Planta $P_{\text{planta arranque}}$, tal que:

$$P_{1p} > P_{\text{planta arranque}} \Rightarrow \\ 2400 \text{ W} > 1620 \text{ W} \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

El inversor posee un **convertidor DC/DC** que dispone de un **condensador de elevada capacitancia** que se encarga de suministrar la capacidad de sobrecarga durante 5 segundos, lapso mayor al tiempo transitorio de arranque de las dos bombas de la Planta. El **inversor IS-1200-24** de onda senoidal pura (THD < 2%), **cumple satisfactoriamente todas las premisas.**

RESULTADOS

Se vive en una época histórica marcada por la impronta de la crisis ambiental global, donde el cambio climático (debido al ineficiente consumo

Desde el punto de vista energético, los resultados del presente proyecto se focalizan en el diagnóstico territorial, evaluación del recurso energético y alternativas tecnológicas. La potencialidad del recurso solar resulta alta en relación al lugar geográfico donde se ha de instalar el Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA) para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis.

El proyecto se encuentra ubicado en la isolínea de irradiación solar anual de 1,9 MWh/m²/año, percibida por módulos inclinados un ángulo fijo respecto de la horizontal, con un valor de inclinación óptima. El resultado del análisis del recurso solar determina que las condiciones del emplazamiento del proyecto permiten un aprovechamiento promedio anual de HSP=5,79 (Horas Solar Pico).

Se dimensiona un Sistema Fotovoltaico Autónomo seguro y fiable que garantice el suministro de energía eléctrica a la Planta Potabilizadora de Agua de la UNSL, de manera sostenible y amigable con el medioambiente. Todo ello cumplimentando lo regido por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red (IDAE, 2009), por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002), por la

energético y a la excesiva ignición de combustibles fósiles) y la inadecuada gestión de los recursos hídricos resultan ser temas imprescindibles de abordar. **La interacción entre la degradación ambiental, la problemática de la seguridad hídrica y la crisis energética, temas convergentes dentro de los objetivos del proyecto, han adquirido gran importancia para el desarrollo sostenible.**

Desde la perspectiva hídrica, es un resultado eximio el hecho de que la Planta Potabilizadora de Agua, mediante radiación UV, suministre satisfactoriamente el consumo anual de agua potable de la comunidad universitaria en su totalidad, y el excedente pueda ser donado a organizaciones benéficas sin fines de lucro. Dicha Planta, en fase operativa de prueba y puesta a punto, sanitiza 1500 litros diarios. Cabe resaltar que la Planta fue diseñada para potabilizar el triple de la producción media, debido a que se contempla la construcción de un campus universitario anexo, pudiendo erogar holgadamente hasta 4500 litros por día de agua propiciamente saneada para consumo humano directo, durante una jornada de 8 horas.

Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles y su Anexo Sección 712: Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos (Asociación Electrotécnica Argentina, 2006; Asociación Electrotécnica Argentina, 2015). Además, se prevé implementar un sistema de monitoreo y registro automático de parámetros para sistemas fotovoltaicos off grid (Rodríguez *et al.*, 2018). Por lo expuesto, la implementación del Sistema Fotovoltaico Autónomo es una solución adecuada e idónea para el requerimiento energético de la Planta. Luego de realizar el análisis minucioso, se percibe que la implementación del Sistema Fotovoltaico Off Grid (en fase de licitación), como fuente energética es una alternativa tecnológicamente factible dentro del contexto provincial e institucional de la Universidad Nacional de San Luis.

Desde el punto de vista ambiental, se destaca que el SFA posibilita el uso del recurso solar sustentable y ampliamente disponible en la provincia de San Luis, y fundamentalmente no emite gases de efecto invernadero (GEI), evitando la emisión aproximada de 447 Kg de CO₂ eq/año.

La Universidad Nacional de San Luis para instalar la Planta Potabilizadora de Agua (12.096,70 USD), en

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

fase operativa de prueba y puesta a punto, y suministrarle energía eléctrica mediante un Sistema Fotovoltaico Autónomo (6.749,83 USD), en fase de licitación, debe efectuar una inversión económica total de 18.846,53 USD. Por su parte, la UNSL, tiene un gasto anual en compra de bidones de agua potable de 23.854,12 USD/año. Como resultado del análisis económico, se exhibe que la inversión estimada para implantar la Planta Potabilizadora de Agua y el Sistema Fotovoltaico Autónomo, para abastecer de energía eléctrica a dicha Planta, posee un payback de nueve meses y medio (9,5 meses). Dicho resultado exterioriza que el proyecto en su conjunto es factible, porque es técnica y económicamente viable, y es rentable ya que genera un ahorro monetario a la institución universitaria.

Se observa que, a lo largo de la historia, la disponibilidad y asequibilidad de la energía se han convertido en un motor de progreso y bienestar social. La promoción de las energías renovables se ha vuelto uno de los principales objetivos para el desarrollo sustentable dentro del marco de las políticas públicas verdes. El panorama permite ser optimistas frente al accionar antrópico mejorando el nivel de vida en base a un uso racional y eficiente de la energía, e incrementando la participación de las fuentes renovables en la matriz energética, dentro del La calidad del agua y la energía es un servicio necesario, tanto para el crecimiento económico como para el desarrollo social. Sin lugar a dudas, en el presente, una de las mayores preocupaciones de índole universal, y que no soslaya la UNSL, son todos los temas relacionados con la eficaz gestión de los recursos hídricos y energéticos, que garanticen la prosperidad de la sociedad y de la biosfera. La inquietud por las energías renovables está motivada por ser el motor y el espejo del progreso y bienestar socio-económico, sin omitir el cuidado del medioambiente. La naturaleza inspira progreso e innovación; un progreso que vaya más allá de lo cuantitativo y esté orientado hacia la sustentabilidad ecológica e innovación tecnológica, que a la hora de diseñar e implementar modelos de desarrollo, respete los límites homeostáticos de la biosfera.

Tras la Cumbre del Clima de París, donde se alcanzó un acuerdo histórico, todo parece estar del lado de las energías renovables que representan un verdadero aliado para luchar contra el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto

marco contextual de la sostenibilidad. La Energía Fotovoltaica es actualmente una opción pujante. En dicho contexto, la Universidad Nacional de San Luis así lo ha entendido; permitiéndole avanzar en estrategias ambientales con una impronta propia.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Universidad Nacional de San Luis (UNSL), mediante diferentes proyectos de investigación y vinculación tecnológica, direcciona su labor en investigar y explotar las ventajas del progreso tecnológico y extenderlo socialmente, con la finalidad de lograr un desarrollo sustentable sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones. De ahí que, la ciencia y tecnología tienen que ser instrumentos al servicio de la comunidad universitaria y de su entorno social, que haga posible disfrutar de las nuevas alternativas tecnológicas, respetando la biósfera, cultamente denominada esfera de la vida. Por ello, dicha institución, considera como un deber la promoción de aquellas fuentes energéticas renovables, como la solar fotovoltaica, que dejen la herencia de un mundo limpio y lleno de posibilidades para que la humanidad toda pueda evolucionar sin ser destruida por sí misma.

invernadero (GEI), principalmente de dióxido de carbono.

En los últimos años las Energías Renovables han tenido un continuo y ascendente protagonismo en la generación de energía eléctrica, el cual ha sido impulsado esencialmente por la creciente conciencia sobre la nocividad del cambio climático producido por las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la ignición de combustibles fósiles. Entre las tecnologías basadas en fuentes de energías renovables, la solar fotovoltaica ha adquirido un rol protagónico, como vigorosa opción energética limpia y respetuosa del medioambiente. Se destaca que el Sistema Fotovoltaico hace uso del recurso solar inagotable, en beneficio de la comunidad universitaria, de su integración en el entorno, y del respeto por el medioambiente. Los aspectos negativos de un SFA son mínimos y estarían relacionados principalmente con el impacto visual. Sin embargo, resulta fácil integrarlos en el paisaje, de tal manera que dicha repercusión sea prácticamente nula.

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

Al analizar los escenarios energéticos a mediano y largo plazo, **los sistemas fotovoltaicos contribuyen al desarrollo tripartito tecnocientífico - económico - sustentable**. El período de esplendor de la energía solar fotovoltaica se ha iniciado, y su vertiginoso desarrollo brinda un panorama alentador. La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituye una fuente inagotable frente a los combustibles fósiles. Favorece al autoabastecimiento energético de un país y es menos perjudicial para el medioambiente, evitando los efectos nocivos de los combustibles no renovables y los derivados de su generación.

CONCLUSIONES

La generación de energía eléctrica directa obtenida de la radiación solar mediante sistemas fotovoltaicos no requiere de ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de dióxido de carbono (principal contribuyente al efecto invernadero antrópico).

Se concluye que la finalidad de incorporar un Sistema Solar Fotovoltaico Autónomo a la Planta Potabilizadora de Agua, y por ende, al sistema energético de la Universidad Nacional de San Luis, insta armonizar el abastecimiento conjunto de agua potable y de la progresiva demanda energética con una protección efectiva del entorno, procurando prosperar en la equidad intergeneracional que permita asegurar el derecho de las futuras generaciones, para lograr vivir en un medioambiente sano, con unos niveles óptimos de calidad de vida y con una garantía de futuro sustentable. **Por lo que, las virtudes de las energías renovables**, tales como la baja contaminación que producen, su inagotabilidad y las posibilidades de uso en forma dispersa, **las vuelven muy atractivas en el contexto del desarrollo sostenible y la protección del ecosistema global**.

¡Éste es el momento para decidir salvaguardar a la Madre Naturaleza! De las decisiones y acciones radicales que se implementen a nivel mundial, dependerán las perspectivas futuras del desarrollo sostenible, del acceso equitativo a la energía, de la paz, de la erradicación del hambre y de la escasez de agua potable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Electrotécnica Argentina (2006). *AEA 90364-7-771 Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles*. Recuperado de: <https://aea.org.ar/producto/aea-90364-7-771-reglamentacion-para-la-ejecucion-de-instalaciones-electricas-en-inmuebles-viviendas-oficinas-y-locales-unitarios-edicion-2006/>
- Asociación Electrotécnica Argentina (2015). *AEA 90364-7-712 Lugares y locales especiales – Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos*. Recuperado de: <https://aea.org.ar/producto/aea-90364-7-712-lugares-y-locales-especiales-sistemas-de-suministro-de-energia-mediante-paneles-solares-fotovoltaicos-edicion-2015/>
- Cadena, C. A., Condorí, M., Franco, J., Moragues, J. A., Saravia, L. R. (2017). *Conversión Fototérmica de la Energía Solar*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe).
- Castells, X. E., Bordas Alsina, S. (2012). *Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de: https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=GLW-seakgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Xavier+EI%C3%A4Das+Castells,+2012+agua+medioambiente+pdf&ots=z93hi_dEtT&sig=cvd9lpBWr7Tn8zGn3vImP3Vblj8#v=onepage&q=Xavier%20EI%C3%ADas%20Castells%2C%202012%20agua%20medioambiente%20pdf&f=false
- EPIA y Greenpeace (2008). *Electricidad solar para más de mil millones de personas y dos millones de puestos de trabajo para el año 2020*. Solar Generation V. Recuperado de: <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/solar-generation-v-2008.pdf>
- Frankfurt School-UNEP Centre (2020). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*. Frankfurt School of Finance & Management gGmbH 2020. Recuperado de: <https://www.fs-unep-centre.org/>

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

- Gleick, P.H. (2014). *The World's Water Volume 8: The Biennial Report on Freshwater Resources*. United States of America: Island Press.
- Grossi Gallegos, H., Raichijk, C. (2018). *Radiación Solar, Medición y Modelado*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe) – Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente (ASADES).
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2007). *Atlas de Energía Solar de la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina: secyt - Universidad Nacional de Luján.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - IDAE (2009). Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. PCT-A-REV – febrero 2009. Madrid, España. Recuperado de: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5_e0a327.pdf
- IRENA (2019). *Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2019*. Abu Dhabi, United Arab Emirates: © IRENA 2019. Recuperado de: www.irena.org
- Kalmus, P. (2018). Cambio climático: la humanidad en la encrucijada. En F. González (Presidente, BBVA), *¿Hacia una nueva Ilustración? Una década trascendente* (pp. 220-246). Madrid, España: OpenMind BBVA.
- Metcalf y Eddy (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales - Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología (2002). Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51. Real Decreto 842/2002, España. Recuperado de: <http://www.iet.es/wp-content/uploads/2013/03/REGLAMENTO-RBT-SEPT-2003.pdf>
- Mohanty, P., Muneer, T., Kolhe, M. (2016). *Solar Photovoltaic System Applications - A Guidebook for Off-Grid Electrification*. Springer International Publishing AG Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-14663-8.
- Naciones Unidas (2010). Resolución A/RES/64/292 - El derecho humano al agua y el saneamiento. Sexagésimo cuarto período de sesiones, Tema 48 del programa. Recuperado de: https://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S
- OLADE y GWEC (2020). *Procesos Competitivos de Proyectos de Energías Renovables - Situación en América Latina y el Caribe*. Quito, Ecuador: OLADE 2020.
- OLADE y sieLAC (2020). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2020*. Quito, Ecuador: OLADE 2020.
- OMS y UNICEF (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS*. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260291/9789243512891-spa.pdf?sequence=1>
- Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal, F. J., Alfayate Blanco, J. M. (2011). *Contaminación Ambiental - Una Visión desde la Química*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- Perino, E. J., Perino, E., Perelló, A. D. (2019). Sustentabilidad: Un Nuevo Imperativo Categórico. *Acta de la XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, 7, pp. 79-90. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/337548026_Sustentabilidad_Un_Nuevo_Imperativo_Categorico_ISSN_978-987-29873-1-2?origin=mail&uploadChannel=re390&reqAcc=Amelia_Galdamez&useStoredCopy=0
- Righini, R., Grossi Gallegos, H. (2011). Mapa de Energía Solar Colectada Anualmente por un Plano Inclinado. Un Ángulo Óptimo en la República Argentina. *Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía – HYFUSEN*, 1-6. Recuperado de: <http://www.electroimpulso.com.ar/ENERGIASOLAR/RADIACION%20SOLAR/carta%20radiacion%20solar%20argentina.pdf>

Sistema Fotovoltaico Autónomo para energizar la Planta Potabilizadora de Agua de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

Fecha enviada: 1 julio 2022

Fecha corregida: 22 agosto 2022

Rodriguez, J. J., Perino, E. J., Perelló, D. A., Murdocca, R. M. (2018). Sistema de monitoreo y registro automático de parámetros para instalaciones fotovoltaicas aisladas. *Acta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, 6, pp. 165-176. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/335224464> SISTEMA DE MONITOREO Y REGISTRO AUTOMATICO DE PARAMETROS PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS

Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII (1998). *Universal Technical Standard for Solar Home Systems*. Madrid, España: Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/norma-tecnica-universal-para-sistemas-fotovol.pdf>