

Solar energy in the agrifood industry

Roberto Fuentes, Diego Rojas, Marco Rivera, José Riveros, Javier Muñoz, and Patrick Wheeler,

Abstract—The agriculture and food industry is very important for human society development and is constantly growing with the world's population. Agriculture is also among the activities that generate a lot of greenhouse gases, therefore there is a need to opt for the implementation of renewable energy resources for processing. Solar energy is a good solution because it is clean, natural and abundant as well as usually being available in the regions used for growing food. This paper presents some processes in the agriculture and food industries in which solar energy systems can be used. The state of the art and practical examples of the incorporation and adaptability of solar energy are also presented.

Keywords—Agriculture, Solar energy, Greenhouse gases, Food industry, Irrigation, Photovoltaic panel.

I. INTRODUCCIÓN

LA alimentación del ser humano es muy importante y la agricultura es el sector más primordial para la producción de alimentos. Se espera que para el año 2050 exista una población aproximada de 9.700 millones de personas, aumentando más del 50 % la demanda de alimentos en todo el mundo, representando un desafío ya que esto ocurrirá en un escenario de limitación de agua y suelos disponibles debido al cambio climático [1].

Con respecto a la importancia de la agricultura, es primordial para combatir y reducir la desnutrición en los países en donde la pobreza urbana es relevante, ya que ayuda a responder a las demandas altas en países con problemas de producción de alimentos.

El cambio climático es una alteración del clima en la Tierra y está presente en estos tiempos con impactos negativos en la agricultura, tales como en la productividad, en las prácticas agrícolas (cambios de la utilización del agua), en el espacio rural y en los efectos del medio ambiente (erosión y reducción de la diversidad de cultivos) [2].

La emisión de gases de efecto invernadero es la actividad que produce el cambio climático y principalmente son el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso. La principal distribución de las emisiones de estos gases según el tipo de actividad son: 14 % transporte de gasolina, 21.3 % generación de electricidad, 16.8 % procesos industriales y 12.5 % en la agricultura.

R. Fuentes, D. Rojas estudiantes del Doctorado en Sistemas de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Curicó, Chile (e-mail: rioberf@gmail.com, diego.rojass@utalca.cl).

M. Rivera, J. Muñoz pertenecen a la Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Curicó, Chile (e-mail: marcoriv@utalca.cl, jamunoz@utalca.cl).

J. Riveros pertenece a la Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Asunción, Paraguay (e-mail: joservs@gmail.com).

P. Wheeler pertenece al Power Electronics, Machines and Control Group, The University of Nottingham, Nottingham, UK (e-mail: Pat.Wheeler@nottingham.ac.uk).

La agricultura posicionándose como la cuarta actividad que genera gran cantidad de gases, se le atribuye principalmente en la emisión del 40 % del total de metano emitido y en la emisión del 62 % del total de óxido de carbono emitido mundialmente [3].

La energía es importante para el desarrollo de la industria agroalimentaria, porque ésta es necesaria para varios procesos productivos, desde la preparación de la tierra, la conservación, el riego, la fertilización, y el transporte de los productos. [4].

En general, la industria agroalimentaria usa como fuentes de energía la electricidad y combustibles para la adecuada operación en sus procesos. La energía térmica es producido por la quema de petróleo en las calderas para la generación de vapor y calentar ciertos fluidos. La energía eléctrica se usa para energizar sistemas de refrigeración para túneles de frío y cámaras de conservación, ventiladores y bombas propulsoras utilizadas en distintos procesos de limpieza, bombas de riego, y embalaje [5].

Debido a las negociaciones en la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, los países participantes están asumiendo desafíos y compromisos para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero para reducir el calentamiento global [2]. Como la demanda de alimentos aumenta cada año, conlleva al aumento de la productividad agrícola, aumentando las emisiones de gases contaminantes. Debido a eso, los países internacionales y principalmente Chile apuestan por desafíos para tener una agricultura sostenible y limpia, con el objetivo de disminuir las emisiones de gases contaminantes en la producción agroalimentaria.

Además, las mayores dificultades que enfrenta las empresas agroalimentaria son el aumento de los costos por el uso de la energía eléctrica. Estos podrían disminuir al implementar energías renovables no convencionales [6]. Pero el uso de estas energías renovables, las que son consideradas seguras y rentables, también constituyen la solución para satisfacer la ascendente demanda de agua para ampliar las nuevas fronteras agrícolas. Y es que muchas veces, las nuevas expansiones de campos se ubican en zonas muy apartadas que no cuentan con acceso a la red eléctrica [7].

Con la promulgación de la Ley de Autogeneración de Energía 21118 del Ministerio de Energía [8], se ha buscado promover el diseño de proyectos conectados a la red, para así autogenerar energía, autoconsumirla e inyectar los excedentes a la red de eléctrica.

Junto con lo mencionado anteriormente, una alternativa para disminuir los costos en la industria agroalimentaria y el uso de combustibles fósiles es la energía solar. Este tipo de energía es considerada una solución sustentable, ya que es una energía limpia, renovable y natural [9].

Distintos países apuestan por esta tecnología solar, instalándolas en distintos procesos del ciclo de vida de la

agricultura. La tecnología solar cada vez va aumentando su eficiencia y es considerada una de las alternativas atractivas para disminuir los costos de la energía en empresas del sector agroalimentario [6].

Todo esto, permite además dar un sello sustentable a las empresas y la apertura a mercados más exigentes con la huella de carbono. Si bien existe la ISO 9001 (en inglés, International Organization for Standardization), que es un estándar de reconocimiento de sustentabilidad internacional, en Chile existe el Programa Huella Chile, con el cual es posible obtener una medición y certificación de las emisiones de CO_2 de empresas y organizaciones que cuentan con tecnologías como lo son las plantas fotovoltaicas [10]. Otras certificaciones de procesos carbono neutrales son la ISO 14064-1 o de Agricultura Sostenible como la Rainforest Alliance.

El capítulo II de este documento detalla algunos procesos o actividades en donde es posible implementar tecnología solar. En el capítulo III se presenta el estado del arte de la energía solar en la industria agroalimentaria y en el capítulo IV se presentan ejemplos prácticos.

II. USOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

Para determinar dónde es posible implementar energía solar en la industria agroalimentaria, primero se determina el análisis de ciclo de vida (LCA) para verificar cuáles son sus entradas y salidas por medio del inventario [11].

Esto ayuda a determinar cuáles son los elementos críticos o cuáles son los que se necesitan con mayor cantidad y además se puede determinar cuáles son los procesos que generan mayores emisiones de gases invernaderos. El LCA dependerá del tipo de industria agroalimentaria, cuyos valores de entradas y salidas variarán de una industria con otra. Sin embargo, es posible generalizar el LCA y determinar cuáles son los procesos en donde hay demanda de energía considerable [12].

En general, la industria agroalimentaria necesita para operar de distintas fuentes de energía, tales como los combustibles fósiles y labores humanos y animales [13]. La energía se puede clasificar en directa e indirecta. La energía directa es electricidad y combustible, y pueden ser consumida de tres formas [13]: (I) uso de combustible para maquinaria, vehículos y tractores; (II) refrigeración y calefacción para industrias como la lechera, porcina, entre otras; (III) uso de electricidad para iluminación, irrigación y accesorios. En cambio, la energía indirecta se relaciona a la manufactura de equipos y agroquímicos. Por lo tanto, la mayoría de los procesos que requieren energía (mecánica, calor o electricidad), su fuente principal proviene de combustibles fósiles.

Finalmente, la energía solar se podría utilizar en algunos de los siguientes procesos de la agricultura [12]:

- Generación de electricidad para la energización de maquinarias, iluminación, bombas para irrigación, entre otras.
- Generación de calor para calefacción y refrigeración de espacios.
- Producción de agua caliente.
- Desalinización de agua térmica.
- Tratamiento de efluentes agrícolas.

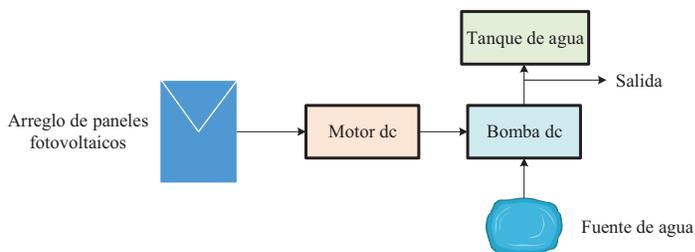


Fig. 1. Configuración del sistema de bombeo con paneles fotovoltaicos del tipo 1.

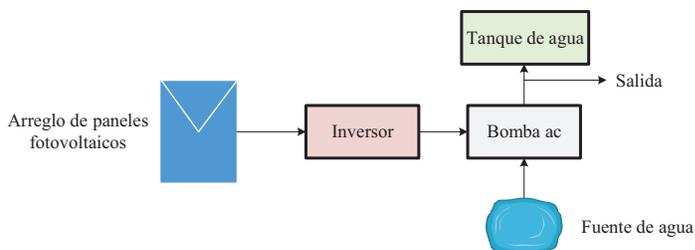


Fig. 2. Configuración del sistema de bombeo con paneles fotovoltaicos del tipo 2.

III. ESTADO DEL ARTE

En la sección anterior se han determinado los procesos en donde es posible implementar alguna tecnología solar.

A continuación se presenta el estado del arte de la energía solar en la industria agroalimentaria.

En [14] es posible encontrar un interesante estudio sobre agricultura inteligente, en donde se detallan las diversas características y tecnologías que se pueden observar hoy en día, así como también los desafíos en seguridad, privacidad y manejo de la energía para la nueva era de la agricultura 4.0. En [15] se propone un nuevo algoritmo de conjunto dominante conectado en sensores de redes inalámbricas con nodos recolectores de energía solar para aplicaciones de agricultura de precisión. Con esto ha sido posible extender la vida útil de estos sensores hasta seis veces más.

Con el fin de contribuir a la reducción de CO_2 , de reducir el consumo de energía desde la red eléctrica y de producción de agua dulce para riego utilizando agua subterránea o de mar por ósmosis inversa sistema de tratamiento/desalinización de agua, en [16] se propone el modelamiento, simulación y estudio del desempeño de un sistema solar fotovoltaico integrado para un campo agrícola. En [17], se realiza también un análisis técnico, económico y ambiental del uso de una microrred inteligente basada en energía solar para electrificación rural de una comunidad agrícola. El estudio mostró que la microrred basada en energía solar es un 33% más económico que el sistema original y con una participación del 100% de energía renovable que reduce 63,750 kg de dióxido de carbono por año.

A. Sistema fotovoltaico para el bombeo de agua

Estos sistemas fotovoltaicos son ampliamente usados en áreas remotas (con dificultades al acceso de electricidad) para el proceso de irrigación (bombeo de agua) [1].

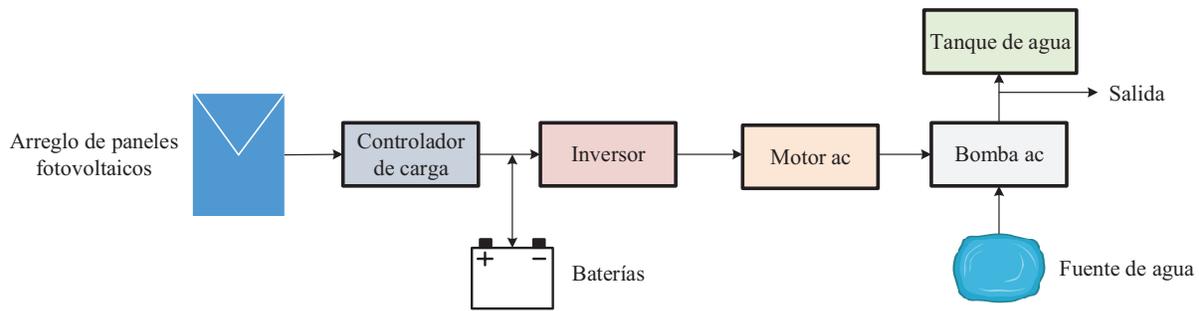


Fig. 3. Configuración del sistema de bombeo con paneles fotovoltaicos del tipo 3.

Son usados en instalaciones de baja escala y en zonas en donde la irradiancia y temperatura son adecuadas para la incorporación eficiente de módulos fotovoltaicos.

Gracias a estos sistemas es posible reducir el uso de combustibles fósiles y además tienen baja mantención [9], [18]. Estos sistemas son ideales para llenar bebederos de animales, llenar tranques, riegos para praderas o llenar estanques de acumulación de agua en altura [6].

Los componentes principales de un sistema de bombeo de agua son el conjunto de paneles o módulos fotovoltaicos, bomba dc o ac, convertidores de potencia y el tanque de agua. Las distintas configuraciones de instalación de los sistemas de bombeo se presenta en la Fig. 1, 2 y 3 que varían entre sí principalmente por los diferentes componentes o elementos incluidos en el sistema. La eficiencia hidráulica puede llegar al 70 % usando un sistema fotovoltaico [19].

B. Sistemas de desalación con energía solar

El uso de agua en la agricultura es fundamental y crítico a la vez, debido al cambio climático y al calentamiento global. Debido a esto, es que se necesitan soluciones para generar fuentes de agua para la agricultura. La desalación es un proceso en el cual la sal y otras impurezas son removidas de las aguas salinas tal como el agua de mar, produciendo agua potable para usarse en la agricultura [9]. En la Fig. 4 se presenta el esquemático de un sistema de desalación con paneles fotovoltaicos. Esto consiste de los siguientes elementos o componentes para el caso de un sistema directo: tanque de salmuera, tanque de agua fresca, cubierta de vidrio y tanque de agua salada. Para el caso de un sistema indirecto, en donde el panel fotovoltaico es usado como fuente de energía eléctrica, el diagrama se presenta en la Fig. 5.

C. Sistema de secado con energía solar

El sistema de secado consiste en eliminar la humedad que contiene el producto y así evitar que se deteriore [9]. Estos sistemas pueden usarse por ejemplo en el secado de tomates usando un sistema fotovoltaico como se presenta en [20] y se pueden usar en el secado de pescados como se presenta en [21]. En general, un sistema solar de secado proporciona un proceso limpio que puede aumentar la eficiencia energética y minimizar el consumo eléctrico. En la Fig. 6 se presenta el proceso de secado y consta de los siguientes elementos: aislación, cubierta de vidrio para que ingrese la radiación solar

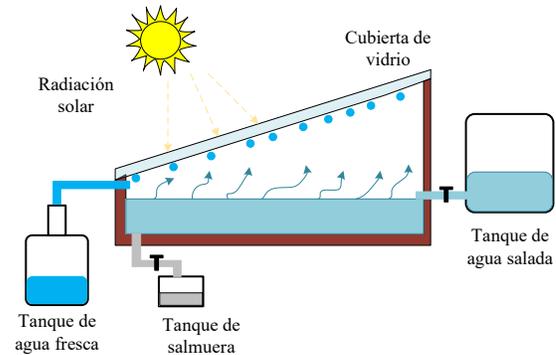


Fig. 4. Sistema de desalación con sistema de energía solar directa térmica.

y un espacio en donde entre el aire frío y otro donde se escape el aire caliente.

D. Sistema fotovoltaico para satisfacer demandas eléctricas en la agricultura.

Como en todo proceso existen cargas locales que necesitan ser energizadas eléctricamente para un correcto funcionamiento, es que con el uso de sistemas fotovoltaicos es posible satisfacer las demandas eléctricas. Esto conlleva a la minimización de las emisiones de gases contaminantes, aumentando la eficiencia energética del proceso de alimentación de los distintos elementos y reduciendo el costo energético. Un sistema con diferentes cargas locales con fuentes fotovoltaicas integrado a la red eléctrica se presenta en la Fig. 7, y consiste de los módulos fotovoltaicos, convertidores de potencia, iluminación, ventilación, sistema de refrigeración y calefacción, equipos electrónicos, baterías y la red eléctrica. La incorporación de un banco de baterías permite mejorar la calidad de energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos, como también permite satisfacer las demandas eléctricas en todo momento (ante cortes de la red eléctrica y cuando el arreglo fotovoltaico no genere electricidad). Últimamente, los sistemas fotovoltaicos son la fuente clave de energización eléctrica para los sistemas basados en internet de las cosas (IoT) usados en la industria agroalimentaria [22].

E. Invernaderos solares

Los invernaderos son usados para prevenir la contaminación y proteger el cultivo de las plagas, con el objetivo de no dañar

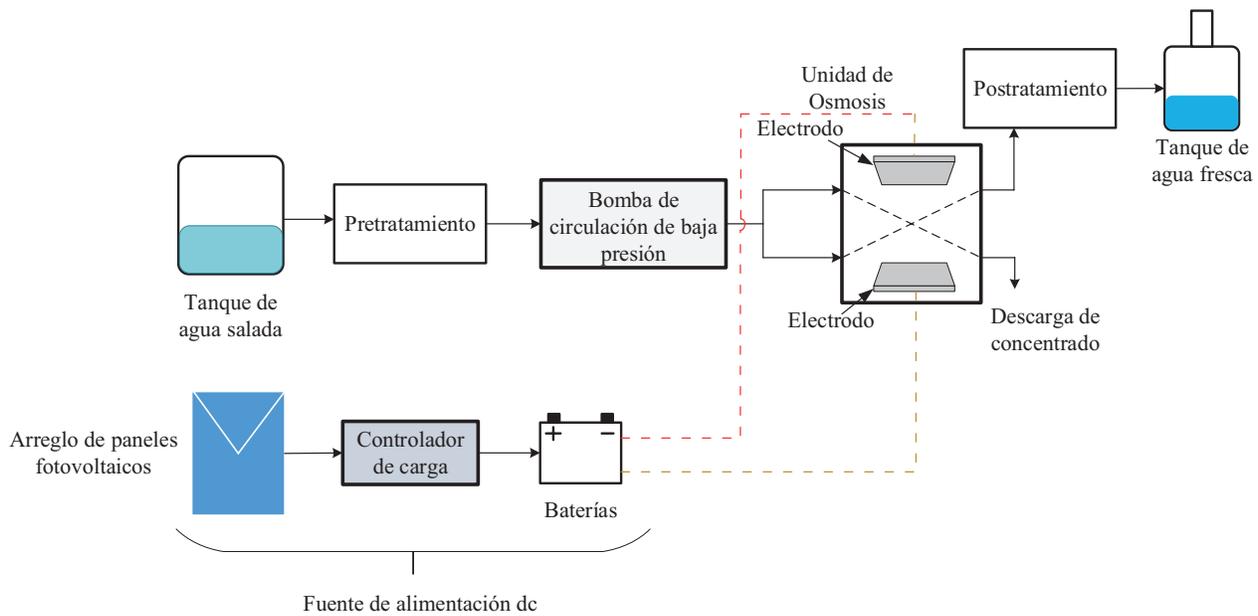


Fig. 5. Sistema de desalación con sistema de energía solar indirecta (paneles fotovoltaicos).

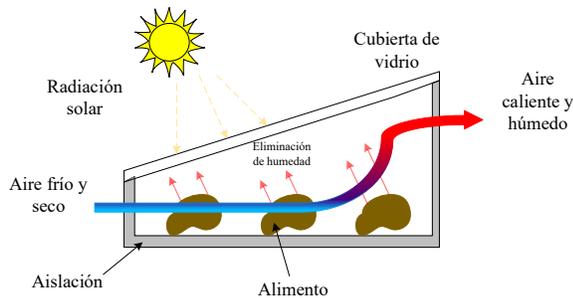


Fig. 6. Sistema de secado con energía solar.

el producto o alimento [9]. Principalmente los módulos fotovoltaicos generan la electricidad para satisfacer las demandas del invernadero y pueden ser conectados a la red eléctrica u operados en modo aislado.

Otra de las aplicaciones recientemente usadas es la de generación de potencia eléctrica y térmica por medio de la energía solar y el diagrama se presenta en la Fig. 8 [23]. El sistema consiste de un inversor, paneles fotovoltaicos, colectores térmicos solares, bombas de agua y un tanque de almacenamiento térmico para la transferencia de calor. También, se está investigando en la implementación de sistemas fotovoltaicos integrados semitransparentes ubicados en el techo de un invernadero [24].

Finalmente en la Tabla I se presentan los distintos beneficios y desafíos de la energía solar en la industria agroalimentaria.

IV. EJEMPLOS PRÁCTICOS INSTALADOS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

En esta sección se presentarán distintos trabajos ya instalados de sistema de energía solar aplicados a la industria agroalimentaria.

El proyecto que trabajó el ministerio de agricultura en Chile que se presenta en [25] consiste en la incorporación de energía solar fotovoltaica y térmica en las zonas de Arica y Parinacota y Atacama (las zonas más áridas y con mayor índice de radiación solar de Chile [26]).

Los principales objetivos del proyecto consisten en incrementar la sustentabilidad energética de la agricultura en esas zonas. Las soluciones consistieron en la instalación de módulos fotovoltaicos para generación eléctrica on-grid con banco de baterías y un sistema de colectores solares térmicos en dos sitios llamados Parcela 11 y Parcela 52 [25]. En cambio, en el sitio Parcela 62 se instaló un sistema de módulos fotovoltaicos off-grid para la automatización del riego y un conjunto de colectores solares térmicos [25].

Los principales beneficios e impactos del proyecto [25] fueron los siguientes:

- Disminuir el uso de los combustibles fósiles para la generación eléctrica.
- Reducción del costo energético.
- Disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Inyección de electricidad excedente a la red eléctrica, consiguiendo un ahorro económico.
- Desarrollo de una industria agroalimentaria sustentable y con alta eficiencia energética.

En [27], [28] se presenta el concepto AgroPV o Agrovoltaico para la incorporación de paneles fotovoltaicos en la industria agrícola de Lampa, Curacaví y el Monte. Los objetivos principales del proyecto es la generación eléctrica y la distribución espacial de los módulos para generar sombreado sobre el alimento o cultivo. El valor agregado de los proyectos es la incorporación de monitoreo en línea para el análisis de los cultivos. Estos sistemas de monitoreo y medición conlleva distintos elementos tales como unidad de procesamiento, sensores

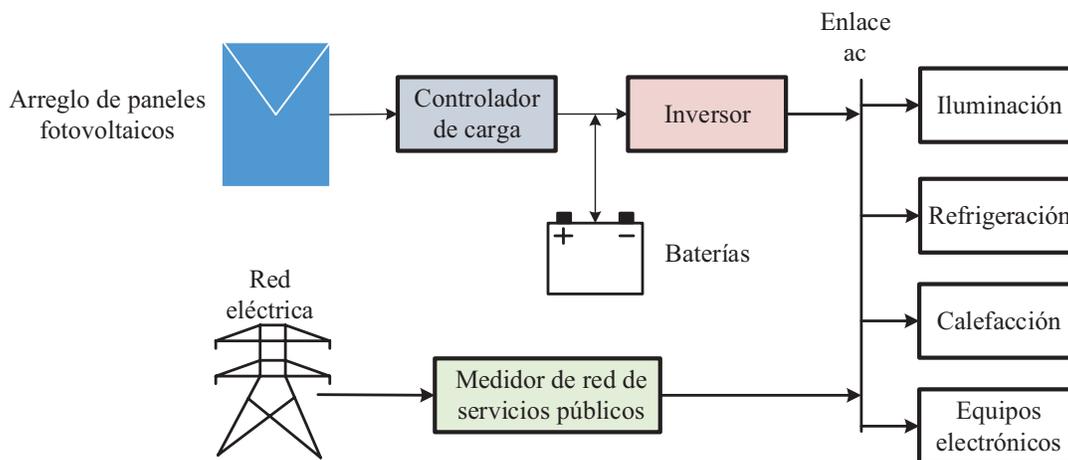


Fig. 7. Sistema fotovoltaico para satisfacer demandas eléctricas.

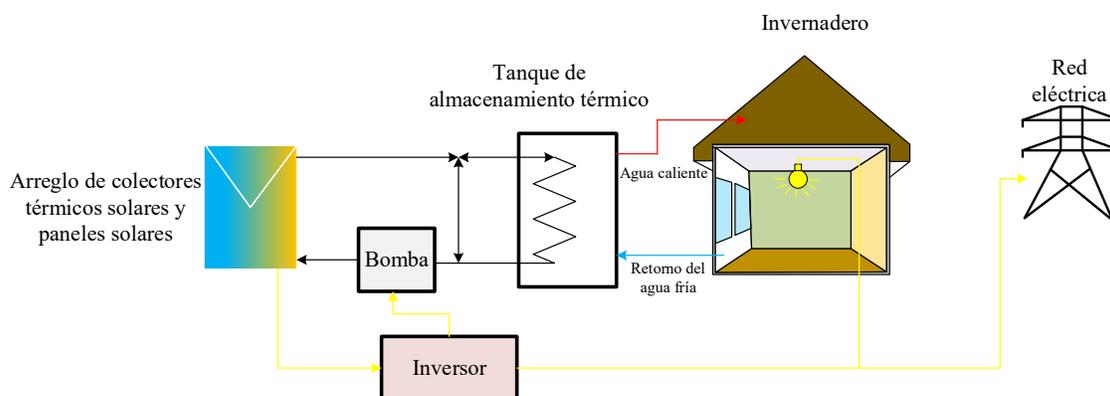


Fig. 8. Sistema híbrido para calefacción y energización eléctrica en un invernadero.

TABLA I
BENEFICIOS Y DESAFÍOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA AGRICULTURA.

Beneficios	Desafíos
Reducción del efecto de gases de invernadero cumpliendo con las políticas ambientales vigentes.	Fuente de energía intermitente e impredecible.
Permite el acceso a electricidad en áreas rurales alejadas de la red eléctrica central.	Aplicable sólo para sistemas de baja escala, con mejoras en la optimización de control del sistema completo.
Permite adaptar tecnologías híbridas, tal como solar fotovoltaica y térmica en un mismo proceso.	Adición de elementos costosos tales como baterías.
Reduce el costo energético y permite la inyección de excedentes.	El costo de inversión es más alto que la inversión en los combustibles fósiles.

y unidad de almacenamiento de datos, y todos alimentados con energía eléctrica basado en los módulos fotovoltaicos.

Los principales beneficios e impactos del proyecto [27] fueron los siguientes:

- Desarrollo armónico y conjunto de la agricultura y el sistema fotovoltaico.
- Ahorro de costos energéticos debido a la autogeneración y venta de excedentes.
- Disminución de las emisiones de gases contaminantes.
- Mejorar la calidad del producto y generar una estabilidad eléctrica en zonas rurales remotas.

En [6] se describe una planta fotovoltaica de 8 kWp ubicada en Futrono, Chile, para un predio ganadero. Produce 13.106

kwh/año, satisfaciendo el 64% de los gastos energéticos de las facturas anuales. El sistema tiene una amortización de 6 años con un TIR de 22%.

En [29] se presenta otro ejemplo de una instalación fotovoltaica en una lechería en el Fundo Llay Llay de la comuna de Purranque, Región de Los Lagos. La instalación produce 22.4 kilowatts peak en modalidad conectado a la red eléctrica, con un retorno al octavo año y con una vida útil que sobrepasa los 20 años. En [30] es posible encontrar una descripción sobre la instalación del primer riego solar conectado a la red eléctrica de Chile, situada en el sector Punta Negra de Alto del Carmen en la Región de Atacama. Con esta instalación fotovoltaica, se logró reducir los costos energéticos asociados al riego y de

proveer de energía al consumo eléctrico del hogar, generando ahorros durante todo el año. Las dos lecciones aprendidas con esta instalación son: aplicar eficiencia energética en el riego para reducir el consumo de energía y agua y posteriormente aplicar energías renovables; segundo, el dimensionamiento del sistema energético renovable debe satisfacer la necesidad de demanda anual. En el mismo sitio, es posible encontrar otros ejemplos de instalaciones fotovoltaicas considerando sistemas de riego solar de alta potencia, sistemas de riego fotovoltaicos aislados, entre otros.

V. CONCLUSIÓN

La aplicación de la energía solar tanto para la generación eléctrica como también para la generación térmica es una solución prometedora para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentar la eficiencia energética, reducir los costos energéticos y permitir la autogeneración y venta de excesos de energía en la industria agroalimentaria.

Gracias al análisis de ciclo de vida de una industria agroalimentaria, es posible determinar cuáles son los procesos o actividades en donde se podrían instalar e innovar en una tecnología solar. Las actividades o procesos en donde se podría instalar soluciones solares son: generación de electricidad para distintos componentes o elementos, calefacción, refrigeración, producción de agua caliente, desalización de agua térmica y tratamiento de efluentes agrícolas.

Las aplicaciones prácticas instaladas en industrias agroalimentarias tienden principalmente a la generación de electricidad basada en módulos solares fotovoltaicos.

Ya que el uso de los combustibles fósiles es la principal fuente usada en la agricultura y es el elemento que genera gran porción de gases de efecto invernadero, la meta principal es reducir el uso de estas fuentes.

Por eso la incorporación de los paneles fotovoltaicos pueden ser usados para energizar bombas de agua (proceso de irrigación), ventiladores, equipos electrónicos, sistemas de monitoreo y medición.

La energía solar para otros procesos o actividades tales como desalación y secado pueden ser directo o indirecto. Estos procesos con integración de energía solar aún están en etapa de investigación en laboratorios, siendo para un futuro una solución prometedora en la industria agroalimentaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al financiamiento del Programa FONDECYT Regular a través del proyecto 1191028, Beca ANID de Doctorado Nacional 21201878 y FONDAP SERC Chile 15110019.

REFERENCIAS

- [1] O. de estudios y políticas agrarias ODEPA, "Panorama de la agricultura en Chile." [Online]. Available: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>
- [2] ODEPA, "Chile y su agricultura en el contexto global de emisiones de gases." [Online]. Available: <https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/10016.pdf>
- [3] O. de estudios y políticas agrarias ODEPA, "Cambio climático impacto en la agricultura heladas y sequía." [Online]. Available: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/12/cambioClimatico2013.pdf>

- [4] R. E. Group, "Energías fotovoltaicas ¿una solución para la agroindustria?" [Online]. Available: <https://bit.ly/3pKJKqf>
- [5] E. Energy, "Agroindustria." [Online]. Available: <https://bit.ly/3nAwcLm>
- [6] D. Agrovoltáica, "Energía solar en la agroindustria ¿la solución del futuro o del presente?" [Online]. Available: <https://bit.ly/3pGx4AG>
- [7] E. SA, "Agroindustria y la energía solar." [Online]. Available: <https://bit.ly/2ZtVNgD>
- [8] M. de Energía, "Ley 21118, modifica la ley general de servicios eléctricos, con el fin de incentivar el desarrollo de las generadoras residenciales." [Online]. Available: <https://bit.ly/3Gv8GYy>
- [9] S. Gorjian and A. Shukla, *Photovoltaic Solar Energy Conversion: Technologies, Applications, and Environmental Impacts*, 07 2020.
- [10] R. S. E. Solar, "Energía solar: Beneficios en la agroindustria." [Online]. Available: <https://bit.ly/3jNW4C6>
- [11] M. Tsangas, I. Gavriel, M. Doula, F. Xenii, and A. A. Zorpas, "Life cycle analysis in the framework of agricultural strategic development planning in the balkan region," *Sustainability*, vol. 12, no. 5, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/5/1813>
- [12] J. Bundschuh and G. Chen, *Sustainable energy solutions in agriculture*. CRC Press, 2017.
- [13] J. Bundschuh, G. Chen, D. Chandrasekharan, and J. Piechocki, *Geothermal, Wind and Solar Energy Applications in Agriculture and Aquaculture*. Taylor & Francis Ltd, 2017.
- [14] X. Yang, L. Shu, J. Chen, M. A. Ferrag, J. Wu, E. Nurellari, and K. Huang, "A survey on smart agriculture: Development modes, technologies, and security and privacy challenges," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 8, no. 2, pp. 273–302, February 2021.
- [15] O. Gulec, E. Haytaoglu, and S. Tokat, "A novel distributed cds algorithm for extending lifetime of wsns with solar energy harvester nodes for smart agriculture applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 58 859–58 873, 2020.
- [16] C. Ghenai, A. Almasri, J. Alrejil, and N. Khalil, "Modeling, simulation and performance analysis of solar pv integrated with reverse osmosis water treatment unit for agriculture farming," in *2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*, April 2019, pp. 1–5.
- [17] A. Desai, I. Mukhopadhyay, and A. Ray, "Techno-economic-environment analysis of solar pv smart microgrid for sustainable rural electrification in agriculture community," in *2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, June 2021, pp. 2281–2285.
- [18] K. Stokes and J. Bigger, "Reliability, cost, and performance of pv-powered water pumping systems: a survey for electric utilities," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 8, no. 3, pp. 506–512, 1993.
- [19] A. K. Mishra and B. Singh, "Solar photovoltaic array dependent dual output converter based water pumping using switched reluctance motor drive," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 6, pp. 5615–5623, 2017.
- [20] A. Abuelnuor A. A., A. A. M. Omara, I. k. Salih, E. K. M. Ahmed, R. M. Babiker, and A. A. M. Mohammedali, "Experimental study on tomato drying using a solar dryer integrated with reflectors and phase change material," in *2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEE)*, 2021, pp. 1–5.
- [21] E. F. Nugrahani, Y. Siti Mardhiyyah, and A. Tavif, "Harvesting solar energy by combining thermal and photovoltaic system in fish dryer," in *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2019, pp. 156–162.
- [22] K. Huang, L. Shu, K. Li, F. Yang, G. Han, X. Wang, and S. Pearson, "Photovoltaic agricultural internet of things towards realizing the next generation of smart farming," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 76 300–76 312, 2020.
- [23] S. Tiwari, V. Dwivedi, R. Tripathi, and G. Tiwari, "Energy analysis of photovoltaic-thermal (pvt) greenhouse under forced mode without load condition," in *2016 Second International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)*, 2016, pp. 183–187.
- [24] R. H. E. Hassanien, M. Li, and F. Yin, "The integration of semi-transparent photovoltaics on greenhouse roof for energy and plant production," *Renewable Energy*, vol. 121, pp. 377–388, 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118300442>
- [25] I. de investigaciones agropecuarias, "Aplicaciones de energía solar fotovoltaica en la agricultura de zonas Áridas." [Online]. Available: <https://bit.ly/3jOi2VF>
- [26] "Solar resource maps of Chile." [Online]. Available: <https://solargis.com/mapsandgis/datadownloadchile>

- [27] F. C. Research, "Concepto agro pv y su aplicación en el sector hortalizas en la región metropolitana de santiago." [Online]. Available: <https://bit.ly/3Eo715k>
- [28] D. Jung and A. Salmon, "Agrivoltaico: Protección de cultivos, agua y clima con paneles fotovoltaicos." [Online]. Available: <https://bit.ly/311xgA4>
- [29] Mundoagro, "El salto a la energía solar del sector agroindustrial." [Online]. Available: <https://bit.ly/3En3CDO>
- [30] E. Energy, "Proyectos." [Online]. Available: <https://bit.ly/3nFMT7T>