

Uso de **tecnología solar**
en actividades agropecuarias
de la Región Huetar Norte
de Costa Rica

Noviembre 2016

Contacto

Dirección postal

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA, SEDE REGIONAL SAN CARLOS, Santa Clara de San Carlos.
Apdo. 223-21001 Ciudad Quesada, Alajuela, Costa Rica.

Teléfono

(+506) 2401-3020

Fax: (+506) 2475-5395

Correo electrónico

Dr. Tomás Guzmán Hernández, tjguzman@itcr.ac.cr

Dr. Freddy Araya Rodriguez, faraya@itcr.ac.cr

Dr. Javier Mauricio Obando Ulloa, jaobando@itcr.ac.cr

M.Cs. Mikel Rivero Marcos, mriveromarcos@gmail.com

Lic. Guillermo Castro Badilla, gucastro@itcr.ac.cr

Página web: www.solarhuetarnorte.org

Redes sociales: www.facebook.com/solarhuetarnorte

Índice general

CAPÍTULO I UN PROBLEMA DE TODOS	11
¿Cómo afecta el cambio climático a Costa Rica?13	
El sector agropecuario en Costa Rica, el que más contamina	14
7° Plan Nacional de Energía 2015-2030	16
CAPÍTULO II LA ENERGÍA SOLAR	17
¿Cómo se aprovecha la radiación solar?	20
El potencial de Costa Rica	23
Razones para su uso	24
CAPÍTULO III 27 USO AGROPECUARIO DE LA ENERGÍA SOLAR	27
Obtención de agua caliente	30
Calefacción	31
Secado	32
Electricidad	32
CAPÍTULO IV ASPECTOS FINANCIEROS	35
Energía Solar Fotovoltaica	37
Costo de la energía eléctrica en Costa Rica	37
Tarifas eléctricas en Costa Rica.....	38
Generación distribuida para autoconsumo	40
Aspectos jurídicos más importantes	40
Trámites para la instalación de un sistema fotovoltaico .	41
Costos de Inversión	41
Rentabilidad del sistema solar fotovoltaico	43
Ejemplo práctico de evaluación financiera	43
Energía Solar Térmica	45
Eficiencia de los sistemas solares térmicos	45
Costos de inversión	45
CAPÍTULO V CERTIFICADOS ECOLÓGICOS	47
CAPÍTULO VI EL PROYECTO	51
Metodología.....	53
Lechería del Instituto Tecnológico de Costa Rica.....	53
Lechería de la Escuela Técnica e Industrial de San Carlos (ETA)	55
Plantas procesadoras de leche LLAFRAK y San Bosco...55	
Toma de datos y análisis	58
Resultados y discusión	61
Energía producida	61
Ahorro económico	75
Impacto ambiental.....	77
Mantenimiento	80
Recomendaciones de uso	81
Conclusiones	82
CAPÍTULO VII CAPACITACIONES A PRODUCTORES DE DOS PINOS	83
Preguntas frecuentes	87
Bibliografía	91
Anexo	97

Índice de figuras

Figura 1.	Consumo mundial de fuentes de energía.	13
Figura 2.	Presa seca.	14
Figura 3.	Principales emisores de gases de efecto invernadero a la atmósfera dentro de la ganadería.	15
Figura 4.	San Carlos de Costa Rica. En este cantón se encuentra el 55% de los asociados de la Cooperativa Dos Pinos	15
Figura 5.	Espectro electromagnético.	19
Figura 6.	Proceso de la fotosíntesis.	20
Figura 7.	Funcionamiento básico de un colector termosifónico.	20
Figura 8.	Funcionamiento básico de un colector térmico-híbrido forzado.	21
Figura 9.	Funcionamiento básico de un panel fotovoltaico.	22
Figura 10.	Tipos de paneles fotovoltaicos.	23
Figura 11.	Radiación global recibida en Costa Rica.	23
Figura 12.	Bolsas de plástico negro colocadas entre las líneas de cultivos e interconectadas entre sí.	29
Figura 13.	Colector solar de tubo de plástico. Inflado para calentar aire para secado de granos	29
Figura 14.	Uso de agua caliente I.	30
Figura 15.	Uso de agua caliente II.	30
Figura 16.	Calefacción.	31
Figura 17.	Funcionamiento básico de un secador térmico solar.	32
Figura 18.	Cerca eléctrica solar.	33
Figura 19.	Bomba solar para extracción de agua de un pozo.	33
Figura 20.	Arador solar.	34
Figura 21.	Mapa de distribuidoras eléctricas de Costa Rica.	38
Figura 22.	Comparativa de tarifas residencial y comercio-servicio según empresa de distribución.	39
Figura 23.	Diagrama básico de una instalación fotovoltaica conectada a la red pública.	42
Figura 24.	Flujo de inversión y ahorro acumulado.	44
Figura 25.	Logos de las agencias certificadoras de buenas prácticas ecológicas más serias que operan en Costa Rica.	49
Figura 26.	Certificado GlobalGAP.	50
Figura 27.	Productos lácteos de LLAFRAK.	50
Figura 28.	Localización sobre mapa de la lechería del ITCR-SSC. Santa Clara de San Carlos, a 105 km de San José.	54
Figura 29.	Foto panorámica de los sistemas solares implantados en la lechería ITCR-SSC	54
Figura 30.	Los tres colectores termosifónicos localizados en la ETAI.	55
Figura 31.	Localización de las dos plantas procesadoras de lácteos de LLAFRAK y San Bosco. Santa Rosa de Pocosol.	56
Figura 32.	Comparativa del estado de la planta antes y después de la implementación de los sistemas solares.	57
Figura 33.	Herramientas informáticas para la obtención automática de datos.	58
Figura 34.	Estación meteorológica instalada en la lechería del ITCR-SSC ...	59

Figura 35. Energía total generada mensualmente por el sistema fotovoltaico durante el año y medio de estudio en la lechería del ITCR-SSC.	62
Figura 36. Relación entre la cantidad de radiación incidente y producción eléctrica.	62
Figura 37. Energía solar y energía eléctrica generada por día (promedio anual).	63
Figura 38. Comparativa de la energía calorífica mensual producida por los sistemas térmicos de calentamiento de agua, en las lecherías del ITCR-SSC y ETAI y en la planta procesadora de lácteos LLAFRAK de Juanilama de Pocosol.	67
Figura 39. Comparativa del ahorro energético de los sistemas térmicos en las diferentes instalaciones.	67
Figura 40. Temperaturas medias del agua a la entrada y salida del sistema solar térmico registrada.	73
Figura 41. Producción energética de los paneles fotovoltaicos y térmicos a lo largo de un día de luz (en Wh por m ²) en la lechería del ITCR-SSC.	74
Figura 42. Recuperación de la inversión en dólares, según el ahorro mensual durante el año evaluado y en el marco actual y futuro de las tarifas eléctricas.	76
Figura 43. Antigua caldera de leña improvisada en San Bosco.	80
Figura 44. Mantenimiento.	81
Figura 45. Respuesta porcentual a la pregunta “¿conoce ud. el uso de sistemas renovables en finca?”.	86
Figura 46. Opinión a priori para usar alternativas de energía limpias.	86
Figura 47. Valoración porcentual a los docentes por la capacitación en aula y campo.	86
Figura 48. Precio del panel fotovoltaico de panel plano (en euros por vatio pico) en función de la producción acumulada.	88

Índice de tablas

Tabla 1.	Tarifas eléctricas según empresas de distribución en Costa Rica.	39
Tabla 2.	Costos de instalación de paneles fotovoltaicos según potencia.....	42
Tabla 3.	Ejemplo de factura eléctrica para consumos menores de 3000 kWh por mes.....	43
Tabla 4.	Ejemplo de nueva factura con consumo eléctrico de paneles fotovoltaicos	44
Tabla 5.	Ahorro generado	44
Tabla 6.	Precios aproximados de los sistemas termosifónicos.....	46
Tabla 7.	Precios aproximados de los sistemas forzados.	46
Tabla 8.	Unidades de producción seleccionadas en la Región Huetar Norte para la instalación de los sistemas térmicos solares.....	53
Tabla 9.	Cargos de COOPELESCA para instalaciones con más de 3.000 kWh de consumo mensual.	60
Tabla 10.	Cantidades de CO2 equivalente por kWh de energía producida en función del tipo de fuente.	60
Tabla 11.	Radiación solar promedio y generación de energía eléctrica por mes y día, en la lechería del ITCR-SSC (Santa Clara de San Carlos).	61
Tabla 12.	Energía generada mensualmente por los sistemas solares termosifónicos instalados en la lechería del ITCR-SSC.	64
Tabla 13.	Energía generada mensualmente por los sistemas solares termosifónicos instalados en la lechería de la ETAL.	65
Tabla 14.	Energía generada mensualmente por los sistemas solares forzados instalados en la planta de productos lácteos LLAFRAK.	66
Tabla 15.	Contribución económica de los sistemas solares a la factura anual de electricidad en la lechería del ITCR-SSC.	75
Tabla 16.	Comparación económica del sistema de generación de vapor con leña y del actual ST híbrido solar.	76
Tabla 17.	Lechería del ITCR-SSC.	78
Tabla 18.	Lechería de la ETAL.	78
Tabla 19.	Planta de procesados lácteos LLAFRAK.	79
Tabla 20.	Respuestas a las encuestas realizadas a los productores de Dos Pinos que asistieron a los días de capacitación en el ITCR-SSC.	85

Índice de Anexos

Tabla anexo 1.	Promedios mensuales de datos climáticos (estaciones mecánicas).	99
Tabla anexo 2.	Producción eléctrica de los paneles fotovoltaicos instalados en la finca El Tremedal y el ahorro energético equivalente.....	102

Prólogo

El Sol sale todos los días e ilumina cualquier rincón del planeta, aportando una gran cantidad de energía que, en realidad, se aprovecha muy poco. Sin embargo, son los seres vivos fotosintéticos quienes utilizan mucho mejor esta energía para producir el oxígeno y el alimento para los otros seres vivos.

Ya desde el siglo XVIII, el desarrollo tecnológico apuntaba a la utilización del sol para fines productivos. En el pasado siglo XX, se ha venido desarrollando y mejorando las tecnologías de uso de la energía del sol para varios fines, entre los cuales está el calentamiento de fluidos, agua, producción de vapor, así como la generación de corriente eléctrica.

El uso que hoy se ofrece de esta energía es a nivel residencial, industrial y agrícola, la cual puede ser aplicada a diferentes usos y niveles. De esta manera, las fuentes de energía renovables son hoy uno de los objetivos primordiales para contribuir a mitigar el calentamiento global y reducir la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales son problemas muy serios que nos afecta globalmente.

La investigación es una pieza fundamental en la generación de conocimiento que posee un país, una localidad o una región, y sus frutos en el campo de la tecnología y la ciencia son patrimonio invaluable de su gente. El avance a pasos agigantados de las aplicaciones de la energía solar tiene sus bases en la investigación básica y aplicada como lo demuestra el aumento en la eficiencia de las celdas fotovoltaicas y su producción en masa, los calentadores de agua comerciales, las tecnologías de concentración solar, entre muchas otras aplicaciones y dispositivos.

Por esta razón, en este manual se pretende mostrar los resultados de la aplicación de esta energía en sistemas de producción agropecuaria en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Para ello se ha montado varios sistemas térmicos y uno fotovoltaico y se ha determinado su volumen de producción a través de un sistema computarizado de registro de datos.

Esperamos que el mismo pueda ser de utilidad para productores, estudiantes y profesionales.

Firmado:

Dr. Tomás de Jesús Guzmán Hernández

Coordinador del proyecto

Reconocimiento

Los autores agradecen los aportes y ayudas recibidas por parte del Programa de Regionalización Universitaria (PUR), a través de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de la región Huetar Norte. Así como también, agradecen el apoyo financiero por parte del señor MSc. Luis Paulino Mendez Badilla, Vicerrector de Docencia y el MBA. William Vives Brenes, Vicerrector de Administración, ambos del ITCR, para la puesta en marcha de esta propuesta de trabajo. A su vez los autores agradecen toda la cooperación y ayuda recibida por parte de la Dirección Administrativa de la Sede Regional de San Carlos, MSc. Egardo Vargas Jarquín, Lic. Mildred Zúñiga Carvajal y el Bach. Dennis Mendez Palma. A la Ing. Marcela María Chavez Alvarez, por su colaboración con el programa DIA. Finalmente agradecemos el apoyo financiero recibido por parte de la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITTACORI) del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica.

CAPÍTULO

CAPÍTULO I

UN PROBLEMA DE TODOS

La dependencia actual a nivel global por los combustibles fósiles nos está condenando a un cambio climático de consecuencias impredecibles. El combustible que usamos en el transporte, la industria y los hogares, libera gases como el CO₂ que absorbe la radiación del Sol y ello hace calentar el planeta. Por eso, estos gases reciben el nombre de gases de efecto invernadero (GEI). El hecho es que la temperatura del planeta está aumentando y si se llega a un incremento de 2-3°C, aunque pueda parecer poco, será más que suficiente para que los casquetes polares se derritan y en consecuencia aumente el nivel del mar. Con tantos habitantes que somos en el planeta, ello se traducirá en un drama humano de millones y millones de migraciones desde las costas, sin mencionar el desajuste de los regímenes de lluvias, agravando los episodios de sequías e inundaciones en todo el planeta con un impacto directo sobre la agricultura (Rockström, 2009).

Lejos de cambiar nuestros hábitos y el uso racional de recursos, se continúa utilizando este tipo de combustibles (Fig. 1) porque siguen siendo más baratos y accesibles. Para cambiar el futuro y no condenar a nuestra descendencia a vivir en un planeta estéril, es preciso conocer las bondades de los sistemas limpios de producción y comenzar a utilizarlos de verdad.

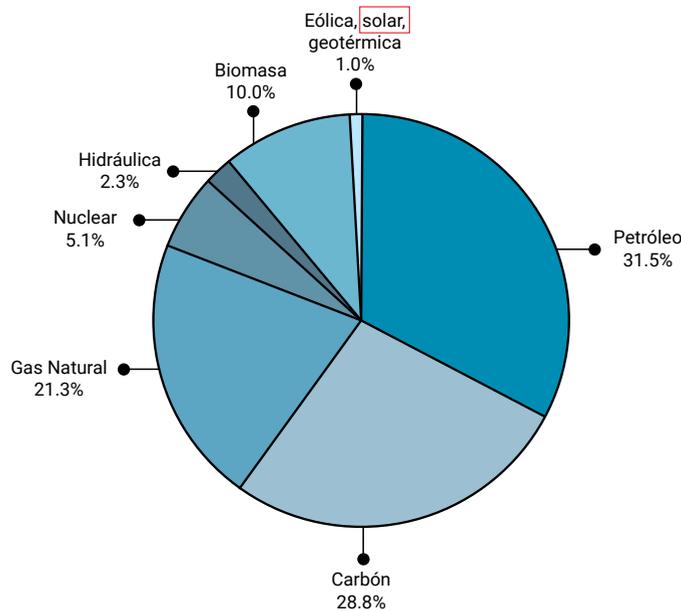


Figura 1. Consumo mundial de fuentes de energía.
(Fuente: AIE, 2016).

¿Cómo afecta el cambio climático a Costa Rica?

Ya lo está haciendo. El tamaño del país es un factor determinante de su vulnerabilidad respecto a las consecuencias del calentamiento global. Las zonas de alto riesgo en Costa Rica son las partes altas de las montañas, los manglares y los arrecifes, así como los bosques en zonas calientes (como los bosques de bajura de las costas Atlántica y Pacífica). De forma general, los bosques tropicales del país están muy cerca de ser afectados por las altas temperaturas, lo cual podría tener graves consecuencias ecológicas y sociales.

En general, la región Centroamericana sufre cada vez más el embate de huracanes, fuertes lluvias, inundaciones y sequías. Fenómenos como ciclones y tormentas se producen cuando existen temperaturas mayores a los 26 oC, situación que será muy común debido al efecto invernadero.

Aunque en Costa Rica la energía continua es mayoritariamente **hidroeléctrica**, es en épocas secas cuando se viene utilizando de manera gradual la generación térmica con combustibles fósiles importados (DSE, 2012). La variabilidad climática en cuanto a los regímenes de lluvia se ha visto incrementada en los últimos 10 años, prolongándose el periodo seco, por lo que será una causa más del progresivo encarecimiento de la electricidad por falta de lluvia en el futuro (Alvarado et al., 2012. Fig. 2).



Figura 2. Presa seca.

Un país como Costa Rica, tan dependiente del agua para la producción eléctrica, debería buscar otras fuentes de energía. Las previsiones indican una tendencia a la disminución de las lluvias y encarecimiento de la energía hidroeléctrica. (Imagen: modificado de cambioclimaticocr.com).

Precisamente las alteraciones del ciclo hidrológico, producto del cambio climático, modifican la intensidad, volumen, duración y distribución de las precipitaciones. Esto afecta el régimen de escorrentía, erosión y arrastre de sedimentos, acentuando, por un lado, problemas de inundaciones (principal amenaza natural del país) y por el otro, de sequía en regiones como Guanacaste. Los impactos urbanos se verían reflejados en la disponibilidad de agua para generación hidroeléctrica, sistemas de riego, acueductos y alcantarillados.

En Costa Rica, la elevación del nivel del mar, otra consecuencia del cambio climático, se estima que provocaría la ampliación de las áreas sujetas a inundación mareal, por lo que las principales ciudades portuarias del país (Puntarenas, Limón, Quepos y Golfito) serían afectadas (DCC, 2012).

El sector agropecuario en Costa Rica, el que más contamina

La ganadería es responsable del 18% de las emisiones mundiales de GEI más que el transporte, de acuerdo al informe presentado por la FAO sobre el impacto ambiental de esta actividad. De esas emisiones, la gran mayoría es generado por el metano procedente de los deshechos del ganado y del óxido nitroso que despiden los fertilizantes químicos (Fig. 3). Por lo tanto, urge aplicar tecnologías que minimicen este impacto generado en los procesos productivos del sector.



Figura 3. Principales emisores de gases de efecto invernadero a la atmósfera dentro de la ganadería.
(Imagen: modificado de Lira, J. (2014).

En el cantón de San Carlos, en Costa Rica, se encuentra el 55% de los asociados de la **Cooperativa de Productores Dos Pinos** (Fig. 4), con un total de 850 productores de leche y una producción de más del 50% de la producción nacional (0,6 millones de kilos de leche). Entre los procesos productivos del sector ganadero y lechero que inciden negativamente en la huella de carbono local se encuentra el consumo eléctrico, de gas licuado (LP), búnker y diesel.



Figura 4. San Carlos de Costa Rica. En este cantón se encuentra el 55% de los asociados de la Cooperativa Dos Pinos
(Imagen: modificado de elfinancierocr.com).

7° Plan Nacional de Energía 2015-2030

La política energética del gobierno del Presidente Luis Guillermo Solís está guiada por una orientación central que se puede resumir como sostenibilidad energética con un bajo nivel de emisiones. Con esto se entiende que el país debe aspirar a contar con un sistema energético nacional con un bajo nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), basado en el uso de fuentes limpias y renovables, en condiciones de absorber los aumentos en la demanda de manera consistente, con precios lo más competitivos posibles en el entorno internacional y capaz de sustentar el bienestar de la mayoría de la población.

Costa Rica no tiene otra opción que sumarse a los esfuerzos globales por revertir las tendencias del cambio climático, ya que dada su magnitud e intensidad, no sólo están golpeando fuertemente a las poblaciones y las economías de todos los países, sino que también están amenazando la vida misma en el planeta.

Costa Rica es pequeño en territorio, población y producción, por ello su participación dentro de los esfuerzos mundiales en materia de cambio climático es reducida en términos cuantitativos. Sin desconocer esta realidad, el Estado costarricense puede asumir una posición de avanzada que tenga un efecto ejemplarizante en el contexto internacional, que le brinde legitimidad para participar en los foros internacionales donde se toman decisiones de alcance global sobre cambio climático y que le permita constituirse en una especie de campo de aprendizaje de prácticas efectivas de reducción de gases de efecto invernadero que también resulten útiles para otros países.

Pero, además, se debe tener presente que los esfuerzos del país en materia de reducción de emisiones no sólo tienen sentido dentro de las estrategias mundiales sobre cambio climático, sino que también son clave para elevar los niveles de progreso y bienestar de nuestra sociedad. Ser un país ejemplar en este campo abrirá nuevas oportunidades de negocios en el corto y mediano plazo, tal vez más de las que se puede vislumbrar en este momento. Además, el avance hacia una economía baja en emisiones facilitará la tarea de reducir los impactos ambientales derivados del suministro y consumo de energía. Con ese propósito, es preciso aprovechar los cambios tecnológicos mundiales en materia de eficiencia energética y optimizar las formas de uso de la energía.

La Política Energética de Costa Rica está guiada por una orientación central que se puede resumir como **sostenibilidad energética con un bajo nivel de emisiones**

Con esto se entiende que el país debe aspirar a contar con un sistema energético nacional con un bajo nivel de emisiones de gases de efecto invernadero basado en el uso de fuentes limpias y renovables, en condiciones de absorber los aumentos en la demanda de manera consistente, con precios lo más competitivos que sean posible en el entorno internacional y capaz de sustentar el bienestar de la mayoría de la población.

CAPÍTULO

CAPÍTULO II

LA ENERGÍA SOLAR

Nuestro Sol permite la vida aquí en la Tierra gracias al **calor** que emite en forma de radiación electromagnética.

El Sol también nos proporciona **luz**, gracias a la cual podemos ver. Sin embargo, esa "luz visible" es tan sólo una parte de la radiación. Más allá de esa franja de luz visible están, en grado de intensidad creciente, los rayos ultravioleta, X, gamma y los cósmicos, y tras suya la radiación menos intensa como el infrarrojo, radar y microondas (Fig. 5).

Por lo tanto, vemos que lo que nos llega del Sol es radiación electromagnética, la cual proporciona, aparte de luz y calor, **energía** que es lo que de verdad importa en los procesos de aprovechamiento que veremos más adelante.

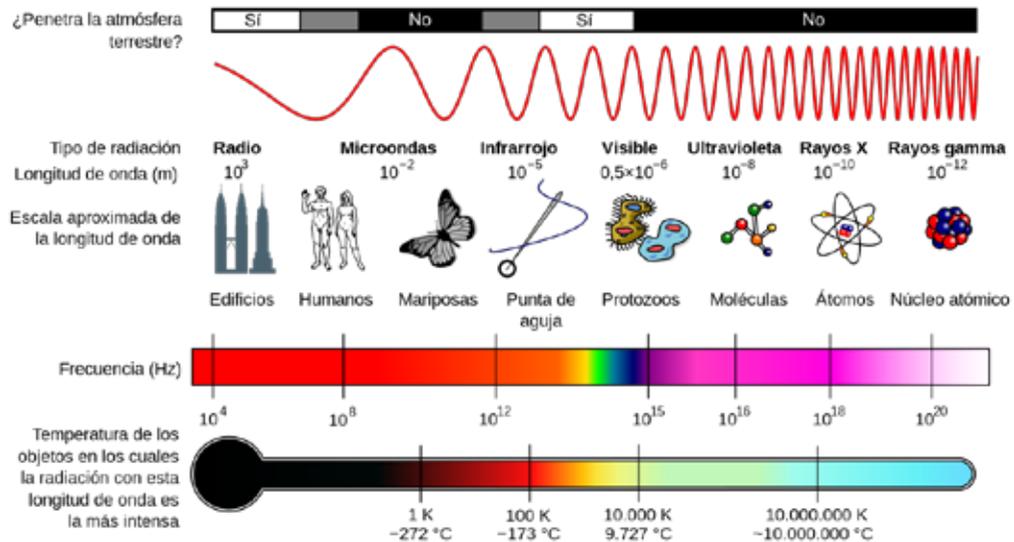


Figura 5. Espectro electromagnético.

La radiación que vemos es tan solo una pequeña porción del espectro electromagnético llamada "visible".

De manera que, aunque el tiempo esté nublado y haya "menos luz visible", se sigue recibiendo radiación electromagnética para ser aprovechada.

¡Es una falacia que con tiempo nublado no se produce energía!

¿Cómo se aprovecha la radiación solar?

- ❖ Las plantas y muchas bacterias con clorofila son capaces de realizar la **fotosíntesis** (Fig. 6):

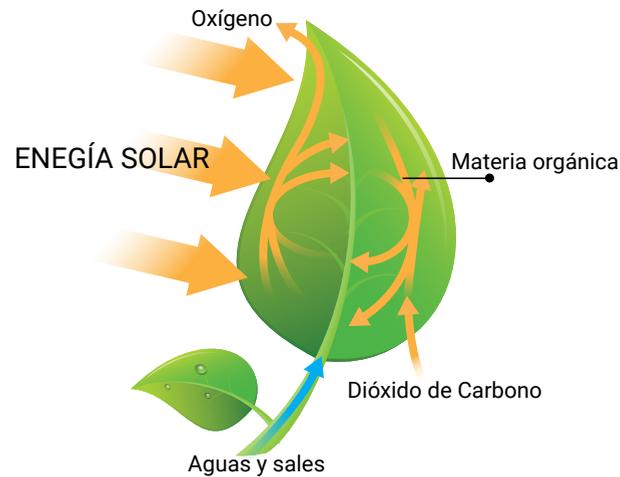


Figura 6. Proceso de la fotosíntesis.

Las plantas absorben el CO_2 , el agua y las sales minerales que, junto con la radiación solar, transforman el oxígeno que respiramos y glucosa (Imagen: De La Vega JA, 2010).

El ser humano ha sido capaz de desarrollar tecnología en la forma de paneles fotovoltaicos y colectores solares capaces de generar electricidad y calentar fluidos, como el agua, partir de la radiación solar para diversos usos domésticos e industriales (González, 2009):

- ❖ Colectores solares para el calentamiento del agua (**sistemas térmicos**): En estos sistemas, el agua de consumo se traslada a través de un circuito que pasa directamente por los colectores solares, donde se calienta por acción de la radiación solar y se almacena en un depósito para su posterior uso. Se distinguen dos tipos de sistemas térmicos en función del flujo de agua:
 - por termosifón: en el cual el agua circula por diferencia de densidad. El agua al calentarse se hace menos densa respecto de la que entra al sistema y, por tanto, el agua caliente circula ascendiendo por éste y se deposita en el tanque de acumulación (Fig. 7).

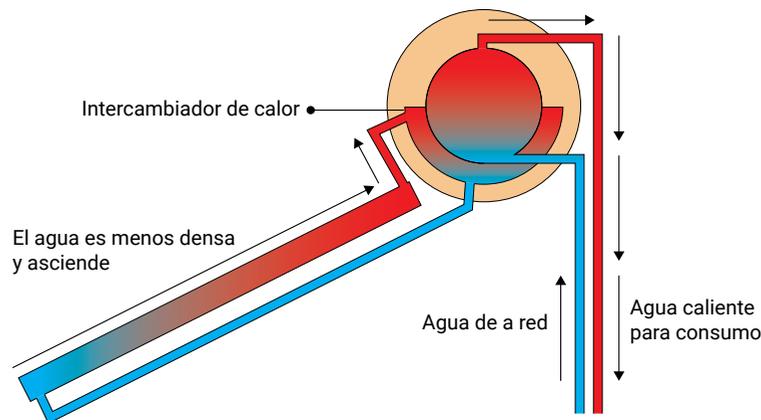


Figura 7. Funcionamiento básico de un colector termosifónico.

El agua caliente asciende por diferencia de densidad hasta depositarse en el tanque de consumo. (Imagen: modificado de www.nergiza.com).

- ii) forzado: en este caso la circulación del agua se hace mediante una bomba que mueve el fluido por el sistema hasta el depósito de consumo (Fig. 8).

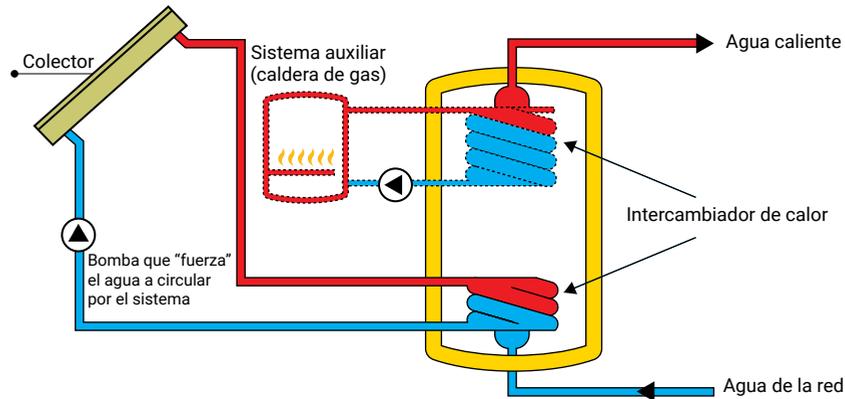


Figura 8. Funcionamiento básico de un colector térmico-híbrido forzado.

Para hacer circular el agua más rápido y a más distancia, se instala una bomba que la mueve por los conductos. (Imagen: modificado de www.programasolar.cl).

El sistema termosifónico incorpora todos los elementos para transformar la energía del sol en agua caliente en un sólo producto. Con una instalación muy fácil, es la solución más sencilla y económica para el calentamiento de agua ideal en las regiones más cálidas.

En cambio, se recurre al sistema forzado cuando se necesita mayores volúmenes de agua, por lo que se requiere una instalación algo más compleja, pero se integra mejor a nivel estético en cualquier edificación y la circulación del agua es más rápida.

Es preciso señalar que estos sistemas deben llevar acoplado un **sistema energético auxiliar** (resistencias eléctricas, gas u otro combustible) que se activará sólo cuando la temperatura del agua sea inferior a la que los consumidores requieren (Shyam, 1996).

- ❖ Paneles o módulos fotovoltaicos (**sistemas fotovoltaicos**, Fig. 9): están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas (1000 W/m²) y temperatura de célula (25 °C).

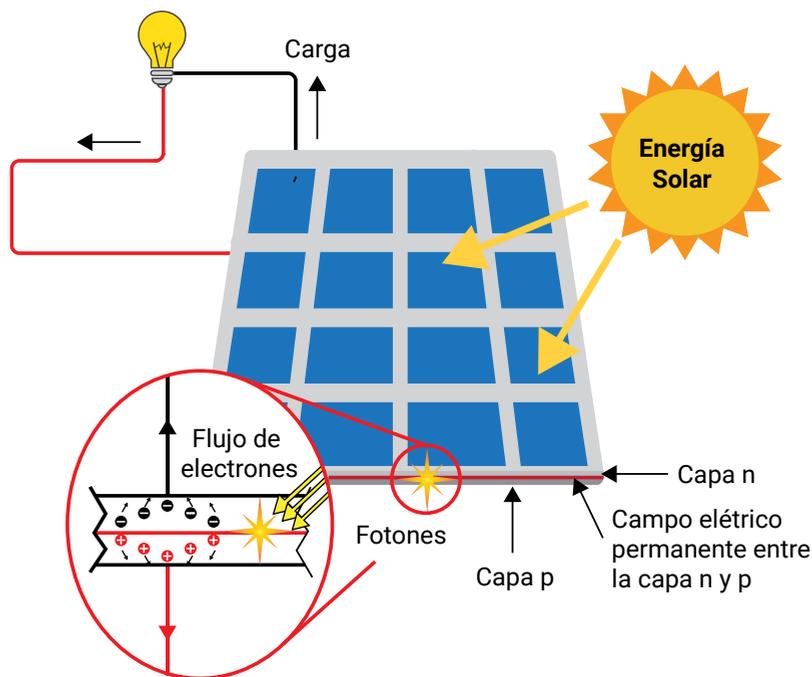


Figura 9. Funcionamiento básico de un panel fotovoltaico.

En un semiconductor expuesto a la luz, un fotón de energía arranca un electrón (parte negativa de cada átomo de los que se compone la materia), creando a la vez un «hueco» en el átomo excitado. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, se disipa en forma de calor. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él. De esta forma, se produce una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material. Para ello, se crea un campo eléctrico permanente a través de una unión pn, entre dos capas dopadas respectivamente, p y n. (Imagen: modificado de www.etap.com).

Alrededor del 90% de la tecnología fotovoltaica se basa en el uso de alguna variación de silicio y puede tener varias formas (Fig. 10). La mayor diferencia entre ellas es la pureza del silicio usado. Cuanto más puro es el silicio, mejor alineadas están sus moléculas, y mejor convierte la energía solar en electricidad. Con base en dicha pureza, los paneles fotovoltaicos se dividen en monocristalinos (compuestos de secciones de un único cristal de silicio), policristalinos (formados por pequeñas partículas cristalizadas) y amorfos (partículas de silicio sin cristalizar). Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas, aunque su peso y costo es muy inferior, no llega al 10% (Espejo-Marín, 2004; González, 2009).

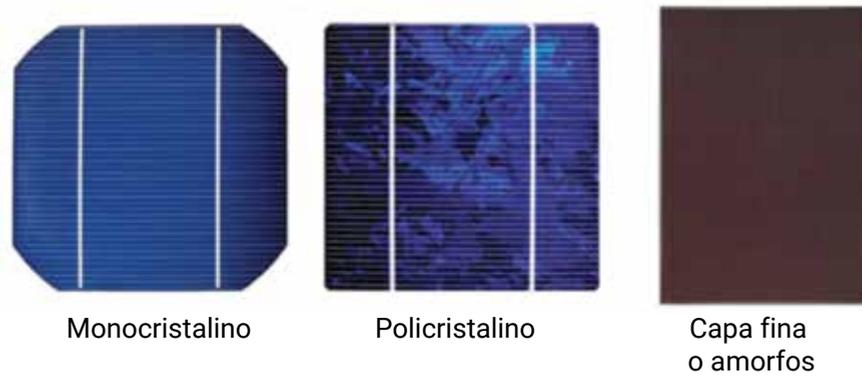


Figura 10. Tipos de paneles fotovoltaicos.

Los rendimientos disminuyen a medida que el silicio es menos puro: monocristalinos 15-21%, policristalinos 13-15% y amorfos o de capa fina 7-13%. (Imagen: modificado de energiasrenovablesinfo.com).

El potencial de Costa Rica

Aunque Costa Rica presenta un potencial solar teórico de **10.000 MW**, el grado de utilización es mínimo. Ante esta situación y, enmarcados en la línea de acción de la estrategia 2.2 del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) para el sector energético, la cual insta a “Promover programas de ahorro energético en los macro-consumidores”, se ha estudiado las alternativas y estrategias de eficiencia energética, oportunidades y potencial presentes en la zona optando por la tecnología solar como alternativa viable y efectiva, debido a que, en el último estudio del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), las dos mejores zonas de radiación solar en el país son la Región Huetar Norte y la Región Chorotega (Fig. 11).

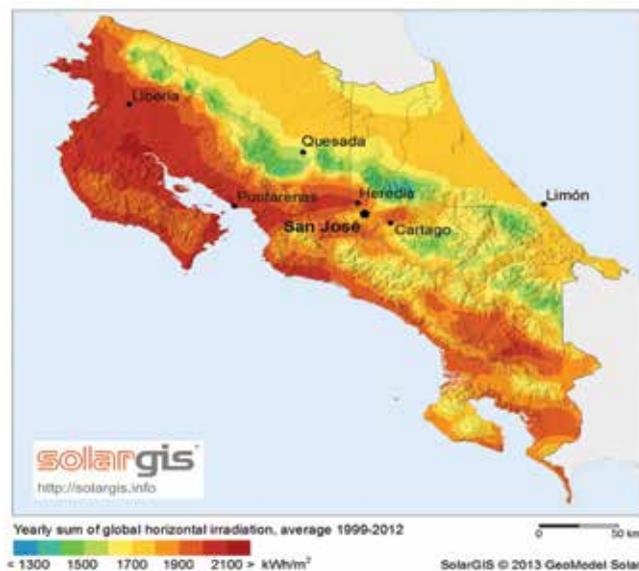


Figura 11. Radiación global recibida en Costa Rica.

En la Región Huetar Norte la radiación incidente es de 1.700 kWh/m² anual, la cual no se está aprovechando bien. (Imagen: ACESOLAR, 2013).

Razones para su uso

La energía del sol es un excelente candidato porque:

- (a) Emite energía 365 días al año en todo el planeta.
- (b) Es abundante y gratuita. Si el ser humano lograra aprovechar tan sólo un segundo del potencial energético del Sol (3.800.000 EJ anuales) se cubriría el consumo energético humano a nivel global para todo un año. (Schonewille y Anderton, 2005).
- (c) Supone un importante ahorro de combustible.
- (d) Permite reducir la emisión de gases productores de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.
- (f) Reduce la dependencia energética del Estado respecto a terceros países.
- (g) Genera empleo y contribuye a dinamizar la economía.
- (h) Aporta valor añadido y el potencial de adquirir un sello ecológico para los procesos en los que se use, mejorando la imagen pública (véase capítulo V).
- (i) El costo diferencial de la instalación se amortiza a medio plazo.
- (j) La energía se produce en el sitio donde se consume, por lo que generalmente disminuyen las pérdidas de transporte por las redes de distribución.

Si el ser humano lograra aprovechar tan sólo un segundo del potencial energético del Sol, se cubriría el consumo energético humano a nivel global para todo un año. ¡Cuánta energía desaprovechada!

Rompiendo paradigmas (Blanco, J. y González, E., 2014).

A continuación, figura un extracto sumamente interesante sobre los paradigmas y recomendaciones por tratar para ampliar la participación de la energía solar en Costa Rica, elaborado por Jorge Blanco Alfaro y Estiven González Jiménez (Friedrich Ebert Stiftung de América Central, 2014).

"La energía solar en Costa Rica ha encontrado barreras técnicas, políticas y paradigmas mentales que le impiden contribuir con mayor rapidez al desarrollo sostenible del país. El mundo vive una carrera entre la centralidad y la descentralización. En el sector energético esa situación se manifiesta en la disyuntiva entre la generación centralizada o distribuida, entre los monopolios y la democratización de las inversiones. La energía solar es una fuente que rompe estos paradigmas, porque su mayor potencial se encuentra en generación distribuida; razón por la que ha encontrado reticencia y resistencia, especialmente en las compañías eléctricas.

Democratizar la producción energética es la mayor contribución de la generación solar distribuida. La política con visión de futuro debe considerar la energía como un bien público pero descentralizado, deslocalizado y autónomo. La descentralización es una forma de democratizar la producción de electricidad, porque las inversiones las realizan los mismos ciudadanos de los países donde se promueven estos nuevos paradigmas. Estas inversiones son cada vez más atractivas, porque operan con una fuente gratuita, el sol, la disminución sostenida en el precio de los equipos y bajos costos de mantenimiento.

La transición de los combustibles fósiles hacia las energías limpias es la mayor oportunidad para la generación de riqueza del siglo. El problema es que estas inversiones no cuentan con una plataforma que las facilite. Una mayor participación de esta fuente demanda desafíos técnicos a largo plazo, porque amerita de una red eléctrica inteligente y métodos de almacenamiento de energía, entre muchos otros aspectos por resolver. La solución está en cambiar de mentalidad; visualizar las limitaciones técnicas

como oportunidades para generar investigación, de manera que éstas no terminen limitando la posibilidad de avanzar hacia nuevas formas de producción y consumo.

Este nuevo paradigma amenaza el esquema tradicional de las grandes compañías monopólicas (públicas o privadas). El desafío es implementar una política que estimule la generación solar en paralelo con las compañías actuales."

Si Costa Rica anhela con ser diferente, debe superar los esquemas tradicionales. Los países de vanguardia son aquellos que se atreven a implementar nuevas formas de producción y consumo, asumiendo incluso el riesgo a equivocarse. El país está en el momento para tomar decisiones, privilegiar el statu quo o atreverse a romper paradigmas.

Es muy necesario darse cuenta que, en los costos, el principal obstáculo para invertir en energía solar, existen dos aspectos sobre la rentabilidad: la **rentabilidad económica** y la **rentabilidad social**. Si podemos demostrar que la producción de energía eléctrica mediante aplicaciones con equipos solares es rentable, habríamos rebatido este gran prejuicio, ya que si algo es rentable entonces su costo no es excesivo. El retorno de la inversión se logra en regiones próximas al ecuador, como Costa Rica, con una alta radiación solar, en menos de 9 años.

Una actividad es rentable socialmente cuando brinda más beneficios que pérdidas a la sociedad en general, independientemente de si es rentable económicamente para quien la promueve. Se utiliza como contrapartida al concepto de rentabilidad económica, donde la rentabilidad sólo concierne al inversionista. Es indudable la rentabilidad social que conllevan estos proyectos. Se está contribuyendo en gran manera a la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero al sustituirse la generación de electricidad mediante la combustión de hidrocarburos por una fuente limpia con menor impacto ambiental.

Otro aspecto digno de mencionar es la democratización de la producción de energía eléctrica mediante la generación distribuida. No se requiere de mucho espacio ni capital para convertirse en un productor de energía eléctrica.

Veamos un ejemplo real: los alemanes quieren energía limpia y muchos de ellos quieren producirla por sí mismos. La ley de energía renovable garantiza prioridad de acceso a la red a toda electricidad generada a partir de energías renovables y fue aprobada inicialmente para rendir ganancias razonables a los inversionistas. El éxito germano también radica en la simplificación de trámites para la instalación de plantas, créditos con bajas tasas de interés para la compra de equipos, o exoneraciones fiscales para las industrias que optan por la auto generación eléctrica mediante energía solar. La diferencia entre Alemania y otros países es el ajuste constante de las tarifas, las políticas e incentivos para la promoción de la energía solar. De no ser así, los instrumentos se vuelven perjudiciales porque no responden a la dinámica de un mercado en constante cambio. Este error ocasionaría, como ha sucedido en otros países, que los incentivos impacten las tarifas eléctricas, obligando a cambios drásticos que afectan la incorporación solar en la matriz energética.

Ya para 2011, más de la mitad de las inversiones en energías renovables las habían hecho pequeños inversionistas. Las grandes corporaciones, por otro lado, han invertido relativamente poco hasta ahora. El cambio hacia las energías renovables ha fortalecido a las pequeñas y medianas empresas, al mismo tiempo que ha empoderado a comunidades locales y sus ciudadanos para que generen su propia energía renovable. El mismo efecto podría darse en Costa Rica.

Estos autores concluyen diciendo que para ampliar la generación solar en Costa Rica, se requiere una política nacional sustentada en los siguientes pilares:

I. Investigación, desarrollo y capacitación, para superar los vacíos técnicos y mejorar la gestión de la red eléctrica.

II. Tarifas de acceso a la red y venta de excedentes, adaptando el modelo de negocio de las empresas distribuidoras hacia uno que les permita proseguir con sus actividades y obtener beneficios de este nuevo paradigma de producción, con el que ganen abonados y distribuidoras.

III. Respaldo jurídico para la generación distribuida, tramitología expedita, **incentivos** y la energía solar para fines **educativos**".

CAPÍTULO

CAPÍTULO III

USO AGROPECUARIO
DE LA ENERGÍA SOLAR

El empleo de la energía solar en agricultura, tanto los invernaderos en cultivos protegidos como en el secado de cosechas al sol es muy antiguo. Las novedades en este campo consisten en una mejora de la tecnología utilizada que permite una mayor eficacia en el aprovechamiento de la energía solar y una utilización más amplia y variada. Entre estas mejoras tecnológicas se encuentra la acumulación de calor durante el día para ser utilizado durante la noche o en períodos nublados (Besnier, 1980).



Figura 12. Bolsas de plástico negro colocadas entre las líneas de cultivos e interconectadas entre sí. Estas bolsas actúan como colectores de calor empleando agua que se almacena en un depósito aislado térmicamente. (Imagen: Besnier, 1980).



Figura 13. Colector solar de tubo de plástico. Inflado para calentar aire para secado de granos (Imagen: Besnier, 1980).

Obtención de agua caliente

En el caso de que se empleen colectores con agua, la acumulación de calor se realiza fácilmente en un depósito de agua caliente, ya que el agua almacena bien el calor. Cuando se trata de aprovechamiento de energía solar para producir agua caliente para usos agropecuarios (agua caliente para la lechería, Fig. 14; y plantas procesadoras de lácteos, Fig. 15), el depósito de agua caliente forma parte indispensable del sistema.



Figura 14. Uso de agua caliente I. Para limpieza e higiene de equipos e instalaciones.
(Imagen: Córdoba y Moreira, 2014).



Figura 15. Uso de agua caliente II.
Para pasteurización de la leche. Superior: interior de la marmita donde se encuentran tubos de cobre en cuyo interior circula el agua caliente (70°C) para calentar la leche. Inferior: Marmita con 600L de leche en proceso de pasteurización con agua caliente procedente de los colectores solares. (Planta procesadora de productos lácteos LLAFRAK, en Juanilama de Santa Rosa de Pocosol).

Calefacción

La acumulación de calor en depósitos de agua con absorción de energía solar mediante colectores planos o bolsas de plástico permite mantener durante la noche o en periodos nublados la adecuada temperatura. Esto es especialmente importante en invernaderos de plástico situados en regiones con inviernos suaves y que normalmente no están dotados de calefacción (Beisner, 1980).

Evidentemente en los invernaderos se puede utilizar el sistema mixto de colectores con agua y aire, ya mencionado (Fig. 16) para calefacción de túneles, calentamiento de la tierra en semilleros, cultivos forzados, etc.



Figura 16. Calefacción.

Instalación solar térmica de captadores planos de gran formato en un invernadero experimental en el centro de Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA). La Mojonera (Almería, España).

Secado

El aire caliente de los colectores planos con aire o de los tubos inflables de plástico puede utilizarse directamente para el secado de toda clase de productos vegetales (granos, frutas, forraje, etc.; Fig. 17).

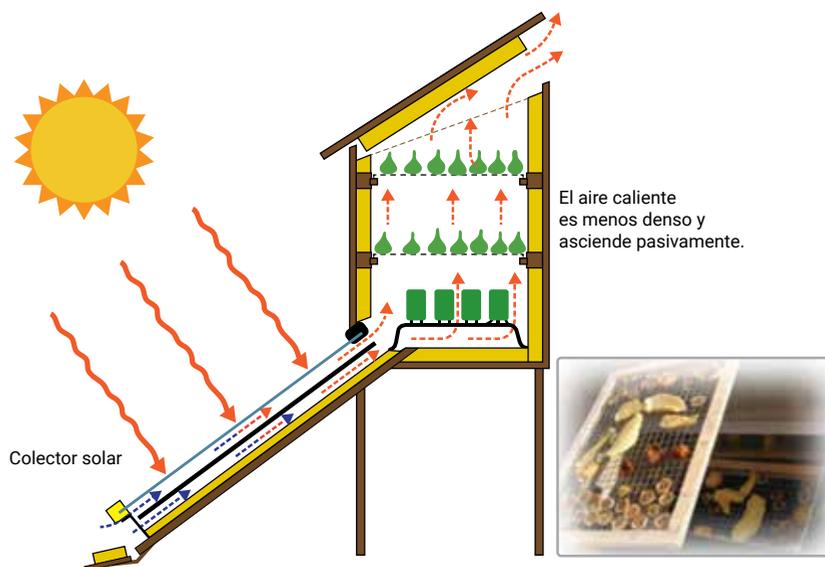


Figura 17. Funcionamiento básico de un secador térmico solar.

El aire, canalizado en el interior de un colector térmico, se calienta por acción de la radiación solar y asciende pasivamente por el mismo hasta el receptáculo donde se haya el producto por deshidratar. Como el aire caliente siempre circula en sentido ascendente, el secado se da de forma uniforme hacia la parte superior. (Imagen: modificado de terra.org).

Los colectores descritos anteriormente absorben y acumulan energía solar en forma de aire o agua calientes. La utilización más simple e inmediata de esta energía solar consiste en la calefacción de instalaciones, secado de productos agrícolas y obtención de agua caliente para diversos usos, como limpieza, esterilización de equipos, descamisado de ganado, pasteurización de la leche, etc.

Electricidad

Más complicada y menos resuelta en la actualidad resulta la utilización de la energía solar para obtener electricidad en potencias suficientes para satisfacer, aunque sea en parte, las necesidades de las explotaciones agrarias. En algunos casos es más fácil en estos momentos obtener electricidad por medio de aerogeneradores, ya que la energía proporcionada por el viento debe ser, en el futuro, un buen complemento de la energía solar.

Un ejemplo de su posible utilización consiste en el suministro de electricidad para cercas eléctricas (Fig. 18), ya que éstas precisan una baja intensidad de corriente. También existen modelos comerciales de bombas elevadoras de agua movidas por energía fotovoltaica (Fig. 19) y, obviamente, para hacer funcionar cualquier arado, sembrador, bomba o maquinaria que precise electricidad (Fig. 20).



Figura 18. Cerca eléctrica solar.
(Imagen: modificado de saecsaelectro.com).

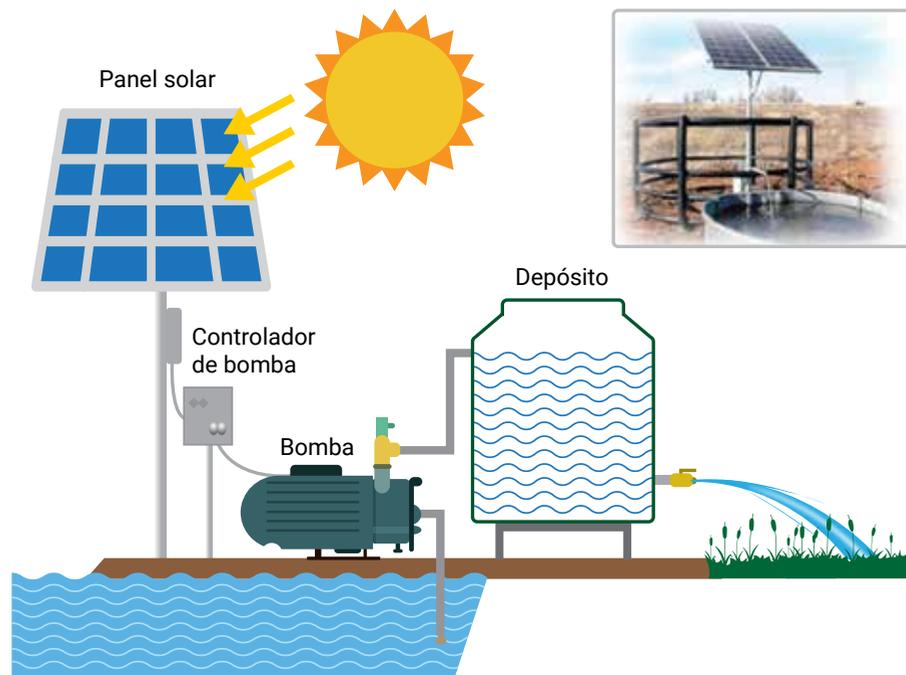


Figura 19. Bomba solar para extracción de agua de un pozo.
La electricidad generada por un panel fotovoltaico a partir de la radiación solar, acciona una bomba que extrae agua para canalizarla a un depósito. De la misma manera que extrae agua, puede hacerlo de purines, por ejemplo, y canalizarlo a un biodigestor. (Imagen: modificado de renovablesdeleste.com).



Figura 20. Arador solar.

No compacta la tierra y trabaja de manera rápida y eficiente con energía del Sol. Invento de Damià Bover Trobat. (Imagen: www.masquemaquina.com).

Los sistemas fotovoltaicos son muy útiles en lugares donde no es posible acceder a la red general de electricidad o bien supone un precio prohibitivo. Su costo es generalmente más económico debido a sus menores costos de operación y mantenimiento.

CAPÍTULO

CAPÍTULO IV

ASPECTOS FINANCIEROS

Sin lugar a dudas, la energía solar ha cambiado radicalmente la forma de pensar con respecto a la energía renovable debido al aumento sostenido de su eficiencia de producción energética y principalmente porque los precios de los paneles solares de los últimos años han caído a valores que nadie se hubiera imaginado y de acuerdo con los pronósticos, estos precios seguirán bajando aún más. Según estudios de la Universidad de Oxford, la tasa anual de caída del precio de venta es del 10% (Doyne y Lafond, 2016).

Su facilidad de instalación y los argumentos descritos en los capítulos anteriores han abierto los ojos de muchos hogares, comercios e industrias en busca de poder satisfacer sus necesidades de energía en una forma menos costosa y menos contaminante.

De ahí mismo nace la pregunta que todos queremos contestar para poder aprovechar de una forma inteligente los recursos: **¿qué tan rentable es hacer una instalación solar para satisfacer el requerimiento energético de un productor agropecuario y/o de su hogar?**

Energía Solar Fotovoltaica

Costo de la energía eléctrica en Costa Rica

En Costa Rica, la producción de energía eléctrica es un monopolio del Estado; es decir, sólo el Gobierno Central, a través del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), tiene la facultad para producir energía eléctrica. Además, la Ley 7200 (que autoriza la generación eléctrica autónoma o paralela^[1]) otorga un margen del 15% de la producción para que empresas privadas puedan producir energía y vendérsela exclusivamente al ICE.

A su vez, la distribución eléctrica está repartida por diferentes empresas, incluyendo al mismo ICE:

Instituto Costarricense de Electricidad	ICE
Compañía Nacional de Fuerza y Luz	CNFL
Empresa de Servicios Públicos de Heredia	ESPH
Junta Administradora de Servicios Públicos de Cartago	JASEC
Cooperativa Guanacaste	COOPEGUANACASTE
Cooperativa de San Carlos	COOPELESCA
Cooperativa de la Zona de los Santos	COOPESANTOS
Cooperativa de Alfaro Ruíz (Sarchí)	COOPEALFARO RUIZ

En conjunto, las empresas de distribución eléctrica ofrecen una cobertura del 99,3%, posicionando al país con una de las mejores coberturas del mundo. En la figura 21 se aprecia las áreas de cobertura de cada una de las empresas eléctricas, así como su área e índice de cobertura en forma individual.

Para poder definir las tarifas eléctricas en Costa Rica, la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) implanta las reglas y ecuaciones matemáticas para poder establecer los precios respectivos, tomando en cuenta el principio de “servicio al costo” y considerando todos los aspectos como eficiencia, mantenimiento, nuevos proyectos y demás gastos e inversiones en los que incurre cada una de las

[1] Para más información: http://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/normativa/archivos/leyes_nac/Ley_que_Autoriza_la_Generacion_Electrica_Autonoma.pdf

empresas eléctricas encadenadas en el proceso de **Generación – Transmisión - Distribución** de la energía eléctrica en Costa Rica.

Las tarifas eléctricas son de conocimiento público y pueden ser revisadas en la página web de la ARESEP (<https://aresep.go.cr/>). Además, en este sitio se puede encontrar información referente a tarifas, normativas, metodologías, estadísticas, calidad e información regulatoria. De igual forma, la ARESEP mantiene una línea de contacto abierta para que cualquier usuario de los servicios públicos pueda hacer sus consultas en una forma directa.

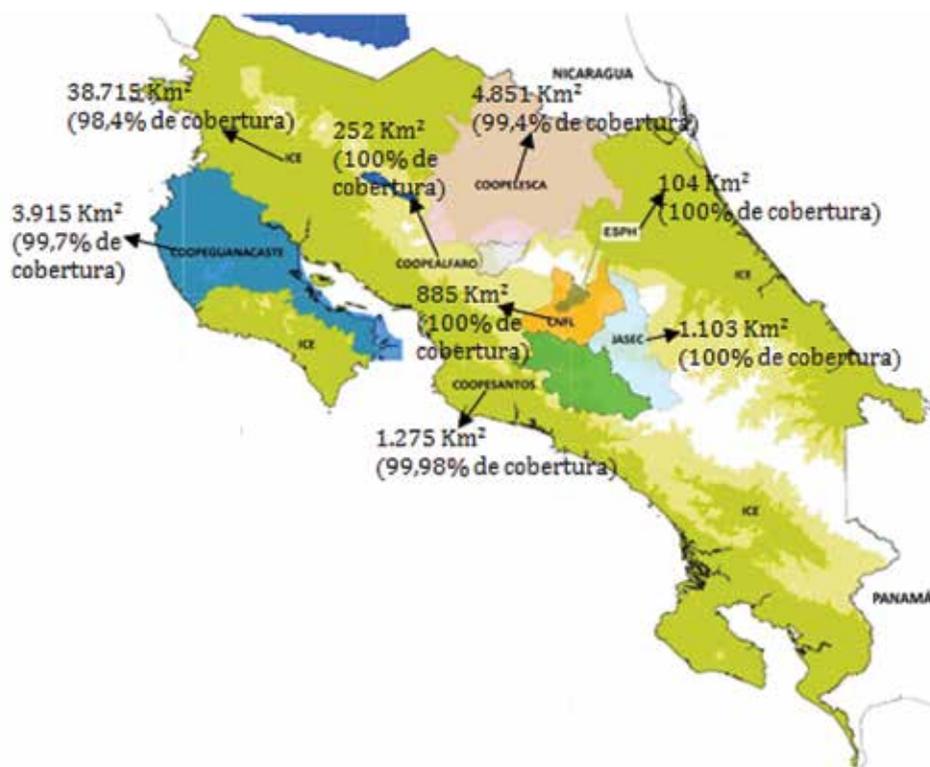


Figura 21. Mapa de distribuidoras eléctricas de Costa Rica.
(Fuente: ICE, 2015 a).

Tarifas eléctricas en Costa Rica

Las tarifas eléctricas se dividen, según el tipo de cliente al que sirven, en: residencial (T-RE), comercios y servicios (T-CO), industrial (T-IN), preferencial (T-CS) y media tensión (T-MT).

Para efectos de este manual nos enfocaremos en la tarifa Residencial, y Comercios y Servicios de las diferentes empresas de distribución (tabla 1, Fig. 22), que obedece al mayor porcentaje de empresas agropecuarias y de pequeños productores del país que consumen energía eléctrica en sus procesos.

Tabla 1. Tarifas eléctricas según empresas de distribución en Costa Rica.

Empresas de Distribución	Residencial (T-RE)	Comercios y Servicios (T-CO)
ICE	¢142,71 (\$0,25)	¢119,25 (\$0,21)
CNFL	¢116,97 (\$0,21)	¢124,59 (\$0,22)
ESPH	¢85,64 (\$0,15)	¢91,35 (\$0,16)
JASEC	¢90,27 (\$0,16)	¢104,27 (\$0,19)
COOPEGUANACASTE	¢95,66 (\$0,17)	¢100,11 (\$0,18)
COOPELESCA	-	¢91,61 (\$0,16)
COOPESANTOS	¢131,43 (\$0,23)	¢95,09 (\$0,17)
COOPEALFARO RUIZ	¢93,93 (\$0,17)	¢101,14 (\$0,18)

* Información tomada del sitio web de la ARESEP. Tarifas publicadas en el periódico oficial La Gaceta 182, Alcance 197 del 22/09/2016

** Tipo de Cambio ¢/\$ 560

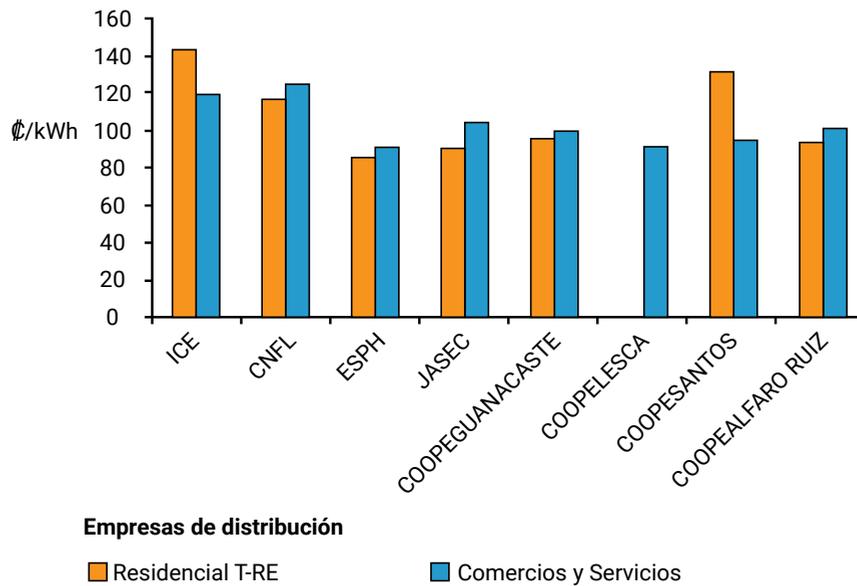


Figura 22. Comparativa de tarifas residencial y comercio-servicio según empresa de distribución.

Es importante recalcar que las tarifas eléctricas no son lo mismo que el precio del recibo eléctrico, ya que este último incluye también el costo del alumbrado público, variable de combustible, impuestos y otras recargas según el caso particular de cada cliente.

Generación distribuida para autoconsumo

Con el objetivo de fomentar el uso y aprovechamiento directo de las energías renovables en los consumidores eléctricos y de poder brindar la oportunidad de que los clientes o consumidores pasen a formar parte de los productores de energía eléctrica del país, el gobierno emitió la legislación necesaria para permitir la **generación distribuida**.

La generación distribuida para autoconsumo es la alternativa para que los abonados generen electricidad mediante fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, funcionando en paralelo con la red de distribución eléctrica, bajo el concepto de depósito y devolución de energía (MINAE, 2015).

En el mes de abril de 2014, la ARESEP promulgó la normativa “Planeación, operación y acceso al sistema eléctrico nacional” (AR-NT-POASEN, 2014), la cual en su capítulo XIII artículo 123, permite el libre acceso a la red de distribución nacional para efectos de conectar micro o mini generadores de autoconsumo a partir de fuentes de energía renovable siempre y cuando existan condiciones en la red pública y en los equipos que el abonado o cliente pretenda instalar.

Después de emitida la normativa de la ARESEP, en octubre de 2015, el MINAE promulga el “Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla”, con lo cual se permite regular la generación distribuida en el país.

Para culminar el proceso de regulación, en febrero de 2016, la ARESEP promulgó los ajustes a la norma técnica AR-NT-POASEN-2014 en lo que aplica para la generación distribuida, según el reglamento del MINAE y también publica las metodologías y tarifas de acceso para la interconexión de sistemas de generación distribuida.

Aspectos jurídicos más importantes

- i) Se declara de interés público la generación distribuida para autoconsumo con fuentes de energía renovable y para contribuir con la meta de “carbono neutro” del país.
- ii) Se permite la interconexión del sistema de generación distribuida para uso exclusivo de autoconsumo, no se otorga derecho a distribuir o comercializar energía.
- iii) El productor-consumidor podrá depositar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49%) de la energía total generada, para ser utilizada en los meses siguientes durante el periodo anual establecido.
- iv) Se define la medición neta sencilla. Esta modalidad permite que se deposite en la red de distribución la energía no consumida en forma mensual para hacer uso de ella durante un ciclo anual, en forma de consumo diferido. Si el productor-consumidor consume más energía que la depositada en la red de distribución deberá pagar la diferencia de acuerdo con las tarifas establecidas por la ARESEP.
- v) Se deberá cancelar un costo por interconexión con la distribuidora eléctrica
- vi) Se deberá cancelar el costo por acceso a la red de la energía producida y consumida en tiempo posterior según la medición neta sencilla, tarifa que será definida por ARESEP.
- vii) No existirá compra o remuneración del distribuidor eléctrico por la energía producida en exceso.
- viii) La capacidad máxima de todos los sistemas de generación conectados en un mismo circuito, incluyendo el sistema propuesto, no deberá exceder el quince por ciento (15%) de la demanda máxima anual del circuito.

Trámites para la instalación de un sistema fotovoltaico

De acuerdo con el Reglamento de “Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables” del MINAE, cada distribuidor eléctrico es responsable de generar un contrato y un procedimiento para la adecuada interconexión, por lo cual se sugiere que antes de iniciar su proyecto pregunte directamente con la empresa que le suple la energía. En términos generales, el procedimiento y las etapas del proceso son las siguientes:

- 1°. Solicitud de conexión del sistema de generación distribuida ante la distribuidora eléctrica.
- 2°. La empresa distribuidora genera un estudio de capacidad del circuito eléctrico y le comunica al cliente su decisión respecto a la posibilidad de conexión.
- 3°. El abonado presenta a la distribuidora eléctrica respectiva el diseño eléctrico del sistema de generación distribuida aprobado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, así como también los formularios completos, documentación y especificaciones técnicas del sistema por instalar.
- 4°. Después de la aprobación de la documentación por parte de la distribuidora se procede a efectuar la instalación de los equipos con los permisos constructivos correspondientes.
- 5°. Inspección y aprobación final de la instalación por parte de la distribuidora eléctrica.
- 6°. Instalación de los medidores eléctricos.
- 7°. Puesta en marcha del sistema.

Costos de Inversión

La inversión que se hace en una instalación solar fotovoltaica (tabla 2) es algo que no debe ser tomado a la ligera, pues requiere de una evaluación correcta de las necesidades, expectativas, ofertas de mercado y sin lugar a dudas del costo de inversión del sistema.

Los costos de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (Fig. 23), básicamente incluyen:

- a. Paneles Solares.
- b. Inversor.
- c. Accesorios de conexión (cables, tubería, interruptores y protecciones eléctricas).
- d. Ingeniería, diseño, supervisión, trámites de conexión
- e. Construcción y mano de obra

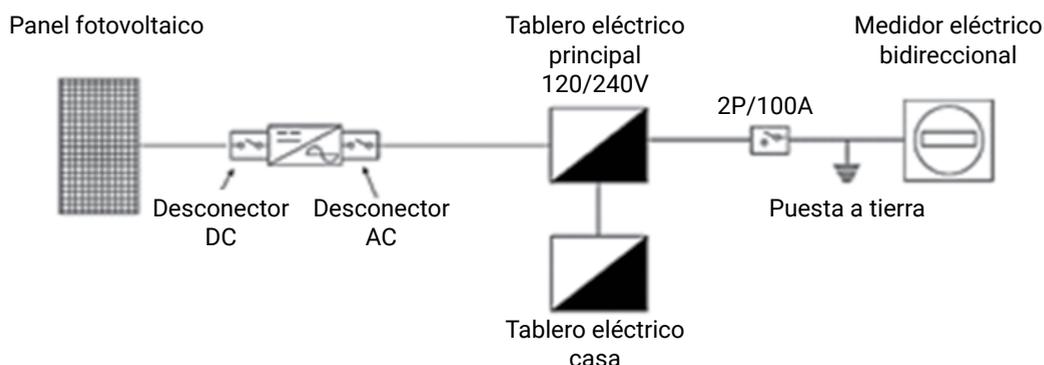


Figura 23. Diagrama básico de una instalación fotovoltaica conectada a la red pública.

Tabla 2. Costos de instalación de paneles fotovoltaicos según potencia

Potencia de Instalación (KWp)	Precio Aproximado Dólares (\$)	Precio Aproximado Colones (¢) **	Energía Mensual Producida Estimada (kWh) ***
1	3.500	1.960.000	120
5	15.750	8.820.000	600
10	29.925	16.758.000	1.200
15	42.643	23.880.150	1.800
20	54.015	30.248.190	2.400
25	64.142	35.919.726	3.000

* Los precios pueden tener una variación de +/- un 15% dependiendo del proveedor comercial

** Tipo de Cambio ¢ / \$ 560

*** Se asume una irradiación diaria de 5kWh/m² diarios para la energía mensual producida estimada

En la tabla 2 mostrada, se asume instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red pública (esto debido a la alta penetración de la red eléctrica en Costa Rica), lo que significa que no necesitan instalación de un banco de baterías que aumentaría los costos debido a las características de las instalaciones fotovoltaicas no conectadas a la red pública.

La posible variabilidad de los precios de las instalaciones fotovoltaicas obedece a diversos motivos, como:

- 1-Garantías del fabricante.
- 2-Calidad de los equipos (marcas, país de manufactura, país de diseño, normas y certificaciones).
- 3-Costos particulares del proveedor de los equipos (aduanas, licencias de importación, transporte, etc.).
- 4-Ubicación del lugar de instalación respecto a las oficinas de la empresa proveedora.
- 5-Instalación de equipos de monitoreo de la producción de energía en tiempo real y en forma remota.

Rentabilidad del sistema solar fotovoltaico

Para poder hacer una correcta evaluación financiera y determinar la rentabilidad de una instalación fotovoltaica es muy importante tener claro los distintos aspectos que involucran dicho análisis. Entre los aspectos más importantes para poder hacer la evaluación tenemos:

- Consumo de energía esperado en forma anual
- Estimado del precio de la energía para los próximos años
- Costo de acceso a la red pública
- Vida útil de los equipos
- Producción de energía esperada de la instalación
- Monto de la inversión directa y sus costos asociados (reparaciones o adecuaciones para poder instalar los equipos).
- Costo de operación, mantenimiento, seguros.
- Restitución de equipos (en caso necesario).

Después de evaluar este tipo de aspectos se procede a establecer un modelo financiero, en el cual se establece un flujo de inversiones y de ahorros acumulados, para obtener el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) como nuestros instrumentos de evaluación financiera.

Ejemplo práctico de evaluación financiera

Un **productor agropecuario en Guanacaste** (cliente del ICE) tiene un consumo por mes de energía de 2.820 kWh en promedio. Esto le genera una factura mensual de aproximadamente ₡392,791 (\$702). La factura eléctrica debería ser como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Ejemplo de factura eléctrica para consumos menores de 3000 kWh por mes

Tarifa general <3000 kWh	
Energía consumida	2.820 kWh
Energía	₡336.285
Bomberos	₡3.652,03
Alumbrado público	₡9.136,80
Impuesto de ventas	₡43.717,05
Otros cargos	
Total	₡392.790,88

El productor interesado en disminuir al máximo sus gastos de energía eléctrica, decide evaluar la opción de instalar un sistema fotovoltaico. La empresa *Sol Eterno S.A.* le ofrece un sistema de 21 KW de potencia a un precio de \$52.500 USD.

La nueva factura eléctrica y ahorro deberían ser similares a las tablas 4 y 5, respectivamente, que presentamos a continuación:

Tabla 4. Ejemplo de nueva factura con consumo eléctrico de paneles fotovoltaicos

Tarifa general <3000 kWh	
Energía consumida	0 kWh
Energía/Acceso	¢39.903
Bomberos	¢3.652,03
Alumbrado público	¢9.136,80
Impuesto de ventas	¢5.187,39
Otros cargos	
Total	¢57.879,22

Tabla 5. Ahorro generado

Factura sin instalación fotovoltaica	¢ 392.790,88
Factura esperada con instalación fotovoltaica	¢ 57.879,22
Ahorro	¢ 334.911,66
Porcentaje de ahorro	85%

Si el productor aún no tiene claro si la oferta es realmente buena y le permitirá tener un ahorro económico, decide buscar a un profesional que le pueda orientar en la materia. Éste le explica que la inversión se comportaría de la siguiente forma (Fig. 24):

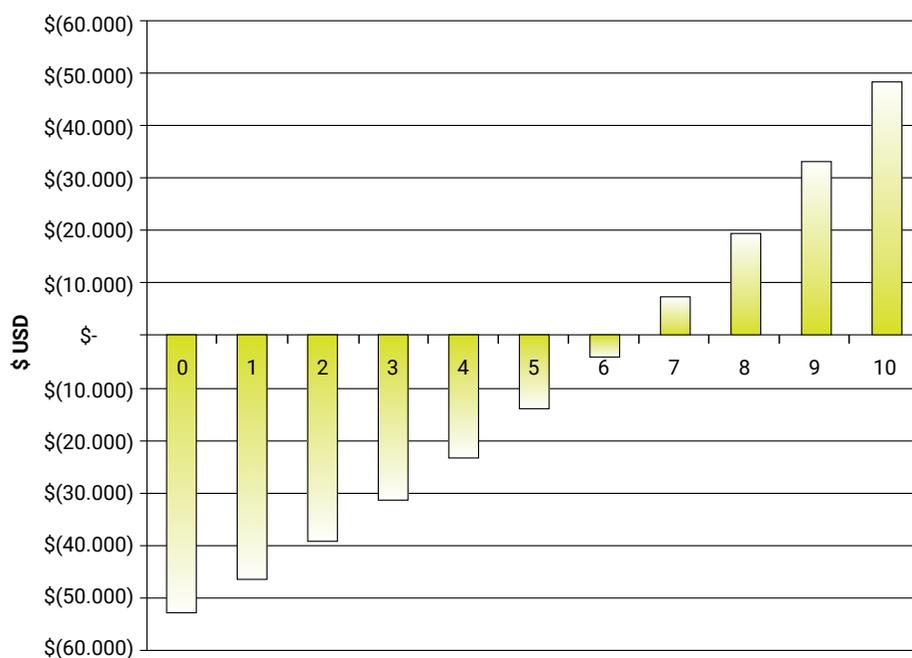


Figura 24. Flujo de inversión y ahorro acumulado.

En el año cero se haría el pago de la inversión del proyecto, y cada año que pasa esta inversión se pagaría con el ahorro que generaría en la factura eléctrica, por lo que en el año 6 la inversión se pagaría y a

partir de ahí el productor recibiría los beneficios netos de la inversión, ya que los ahorros se seguirían recibiendo por el periodo de vida útil de los equipos.

Los indicadores producidos por el modelo financiero son:

TIR 15 Años	17,6%
VAN 15 años	\$ 128.283
Recuperación de la inversión	6,36 años

La **TIR** significa que la tasa de rentabilidad del sistema solar evaluado a 15 años es de un 17,6%, de igual forma el valor actual neto de los ahorros (traernos los flujos de dinero a valor presente) es de \$128,283, lo cual significa que estamos creando valor con nuestra inversión. Por último, se evalúa el tiempo en el cual se esperaría recuperar el dinero de la inversión y que corresponde a 6,3 años. La vida esperada de los equipos es de 25 años, en la evaluación financiera lo hacemos sólo a 15 años con el objetivo de poder ser más conservadores y pensar en menores tiempos por efectos de nuevas tecnologías o fallos inesperados.

En conclusión, la inversión es atractiva en términos generales y deberá ser decisión del productor en qué tipo de proyectos invierte su dinero.

Energía Solar Térmica

Eficiencia de los sistemas solares térmicos

La energía solar tiene un potencial de uso en muy diversas aplicaciones y quizá la más aprovechada es el calentamiento de agua. En nuestro país, el uso de agua caliente es principalmente para abastecer necesidades domésticas o en aplicaciones agroindustriales, donde el agua generalmente no supera los 80°C de temperatura y los paneles solares térmicos trabajan por lo general entre 60-80°C. Esta tecnología permite abastecer a plenitud la necesidad del recurso energético o disminuir en más de un 80% el consumo de otras fuentes de energía para alcanzar el calor deseado en el agua. En los hogares costarricenses se utiliza entre 40% y 50% de la energía eléctrica para el calentamiento de agua.

La eficiencia de los paneles solares térmicos es muy alta, puede alcanzar entre un 50%-70% de rendimiento dependiendo de su configuración de diseño y de los materiales aislantes con los que esté construida (Viridian Solar 2016). Sin lugar a dudas, ésta es una forma de calentar agua a bajo costo y sin mayor impacto en las necesidades cotidianas, ya que los sistemas de calentamiento actuales son muy modernos y seguros.

Costos de inversión

En el mercado nacional se encuentra una amplia oferta de calentadores solares, tanto de fabricación nacional como de equipos importados, por lo que existe una gran variedad de calidades y precios. En las tablas 6 y 7 se muestra los precios promedio de los equipos según su configuración de sistema forzado y termosifónico.

Tabla 6. Precios aproximados de los sistemas termosifónicos.

Galones	Colones	Dólares
40	¢625.000,00	\$1.116,07
60	¢850.000,00	\$1.517,86
80	¢950.000,00	\$1.696,43

Tabla 7. Precios aproximados de los sistemas forzados.

Galones	Colones	Dólares
60	¢1.404.765,00	\$2.508,51
80	¢1.618.400,00	\$2.890,00
100	¢1.975.215,00	\$3.527,17
130	¢2.122.400,00	\$3.790,00

Los precios pueden variar según el proveedor en aproximadamente 10% del valor indicado. De igual forma, las diferentes particularidades de cada instalación pueden hacer que el valor de la instalación aumente.

CAPÍTULO

CAPÍTULO V

CERTIFICADOS ECOLÓGICOS

La historia de este tipo de certificados ambientales, se remonta a la preocupación de los consumidores e instituciones sociales en torno al deterioro del medio ambiente y los hábitos de consumo. Este tipo de programas se impulsaron a finales de los años 70 en Europa, y desde entonces se desarrolla ONGs y programas estatales que buscan que la sociedad conozca los productos menos nocivos representados a través de certificados ecológicos o “eco-sellos”.

La demanda mundial de este tipo de productos obtenidos en respeto al medioambiente, y también de orgánicos, está liderada por Europa Occidental, Estados Unidos y Japón (Willer y Yussefi, 2001). Esto explica por qué en los países en vías de desarrollo, al menos el 80% de su producción ecológica tiene como destino la exportación.

En este sentido, Costa Rica, por su limitada superficie, no debería tratar de competir en el mercado internacional en cantidad, sino que debe hacerlo en calidad. Con el uso de tecnologías limpias, ligadas a una nutrición más sana y ecológica, se podría lograr un valor agregado adicional que muestre a la sociedad las bondades ambientales y sociales de su proceso de producción y proponer a productores, empresarios y cooperativas un sello verde que mejore su imagen pública y los distinga de la competencia.

El valor agregado que incorpora la tecnología solar mejora la imagen pública y distingue a los productores de la competencia porque muestra las bondades ambientales, económicas y sociales a una sociedad cada vez más preocupada por la sostenibilidad y la calidad alimentaria.

En Costa Rica, se comercializa productos con sellos que acreditan una producción sostenible, la cual se basa en el Reglamento para productos orgánicos, enmarcado en la Ley Orgánica del Ambiente que además regula lo relacionado a la acreditación de los organismos certificadores. Existen diferentes entidades certificadoras. Por una parte, el MAG y, por otra, también operan entidades privadas como Oeko-Garantie-BCS de Alemania, Eco-Lógica y Biolatina (Ulate, 2001; Blanco, 2001. Fig. 25).

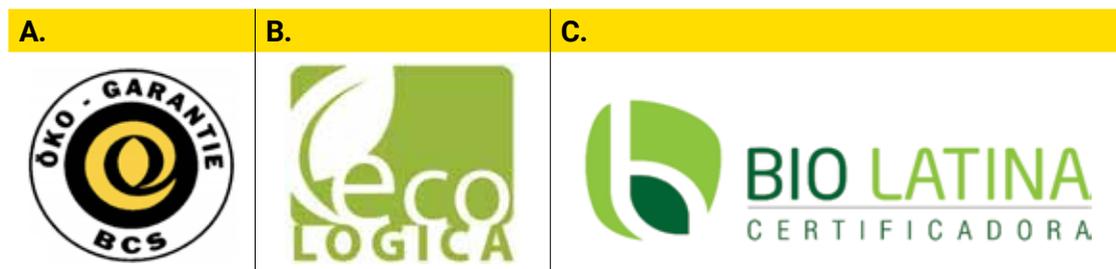


Figura 25. Logos de las agencias certificadoras de buenas prácticas ecológicas más serias que operan en Costa Rica.

a) Oeko-Garantie-BCS. b) Eco Lógica. c) Biolatina.

Especialmente relevante en este aspecto es el certificado GlobalGAP. Este certificado es un conjunto de normas internacionales reconocidas sobre las buenas prácticas agrícolas, ganaderas y de acuicultura (GAP). Además, agrupa un conjunto de protocolos de buenas prácticas gestionadas por Food Plus GmbH, una organización sin ánimo de lucro, que desarrolla estándares para la certificación de los procesos de obtención de productos del sector primario a escala mundial, incluida la acuicultura. La norma GlobalGAP ha sido diseñada para aportar confianza a los consumidores sobre las buenas prácticas de producción de alimentos en su origen, reduciendo al mínimo los impactos ambientales adversos de las actividades agrícolas habituales, el uso de insumos químicos y asegurando una actuación responsable en materia de salud y seguridad de los trabajadores, así como del bienestar animal² (Fig. 26).

² Más información para el sector ganadero lechero: <http://www.globalgap.org/es/for-producers/livestock/DY/>

GlobalGAP es usado a nivel mundial como manual práctico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). La base es una asociación igualitaria de productores agrícolas y minoristas que deseen establecer normas eficaces de certificación y procedimientos.



Figura 26. Certificado GlobalGAP. Asegura el correcto protocolo de buenas prácticas agrícolas, ganaderas o de acuicultura llevadas a cabo para obtener el producto.

Los resultados de una encuesta suministrada a personas vinculadas a los productos agroalimentarios en Costa Rica, dio el mayor puntaje a los siguientes productos: Café, Palmito de Pejibaye, Queso Turrialba y Queso Palmito (Granados y Alvarez, 2001). Estos dos últimos proceden de la leche e incorporarían aún más valor si se aplicara tecnología solar para el proceso de pasteurización, como ocurre en LLAFRAK (Fig. 27) y San Bosco.



Figura 27. Productos lácteos de LLAFRAK. Obtenidos tras un proceso de pasteurización solar de carbono neutro.

CAPÍTULO

CAPÍTULO VI

EL PROYECTO

El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) tiene la misión de la investigación y extensión para el desarrollo de la Región Huetar Norte y el país, con diversos planes y programas de sensibilización y capacitación en sistemas de producción limpia. Se ajusta así al convenio marco de colaboración con el Gobierno de la República para impulsar y fortalecer más la investigación y la educación en las áreas de tecnologías limpias, seguridad alimentaria, innovación y emprendedurismo.

Con este fin, se diseñó y construyó cuatro instalaciones con sistemas solares fotovoltaicos, termosifónicos y/o forzados en las unidades productoras seleccionadas (Tabla 8).

Tabla 8. Unidades de producción seleccionadas en la Región Huetar Norte para la instalación de los sistemas térmicos solares.

Lechería/ Productores de lácteos	Equipo instalado	Estado de la instalación
I) Sede Regional San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, (ITCR-SSC)	FOTOVOLTAICO y solar térmico termosifónico, con sistema auxiliar eléctrico.	En operación desde mayo de 2015.
II) Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI, Santa Clara de San Carlos)	Solar térmico termosifónico, con sistema auxiliar eléctrico	En operación, desde octubre de 2015.
III) Productores de lácteos LLAFRAK (Juanilama de San Rosa de Pocosol)	Solar térmico forzado, híbrido con sistema auxiliar de gas	En operación desde diciembre de 2015.
IV) Productores de lácteos San Bosco (San Bosco de Santa Rosa de Pocosol)	Solar térmico forzado, híbrido con sistema auxiliar de gas	En operación desde mayo de 2016

Metodología

La ubicación de los sistemas solares ha respondido a la necesidad del uso de éstos en la Región Huetar Norte de Costa Rica, relacionada directamente con la vocación agropecuaria, especialmente lechera y ganadera del ITCR en su Sede Regional San Carlos (Santa Clara, San Carlos, Alajuela). Estos sistemas fueron desarrollados con fondos del **Programa de Regionalización de CONARE, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE)** del ITCR.

En las siguientes páginas haremos un breve recorrido por las diferentes unidades de producción seleccionadas donde actualmente están implantados los sistemas solares.

Lechería del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

(Sede Regional San Carlos)

El Programa de Producción Agropecuaria de la Escuela de Agronomía del ITCR-SSC ha apostado por la utilización e introducción de la energía solar, su adecuación y validación. De manera que, en su lechería se instaló, con fines didácticos y demostrativos, un **sistema fotovoltaico** compuesto por ocho paneles de 2 kW de potencia (Fig. 28), y uno **híbrido-termosifónico** de ocho colectores (Fig. 29) para evaluar la eficiencia de producción eléctrica y de calentamiento de agua, respectivamente.



Figura 28. Localización sobre mapa de la lechería del ITCR-SSC. Santa Clara de San Carlos, a 105 km de San José.

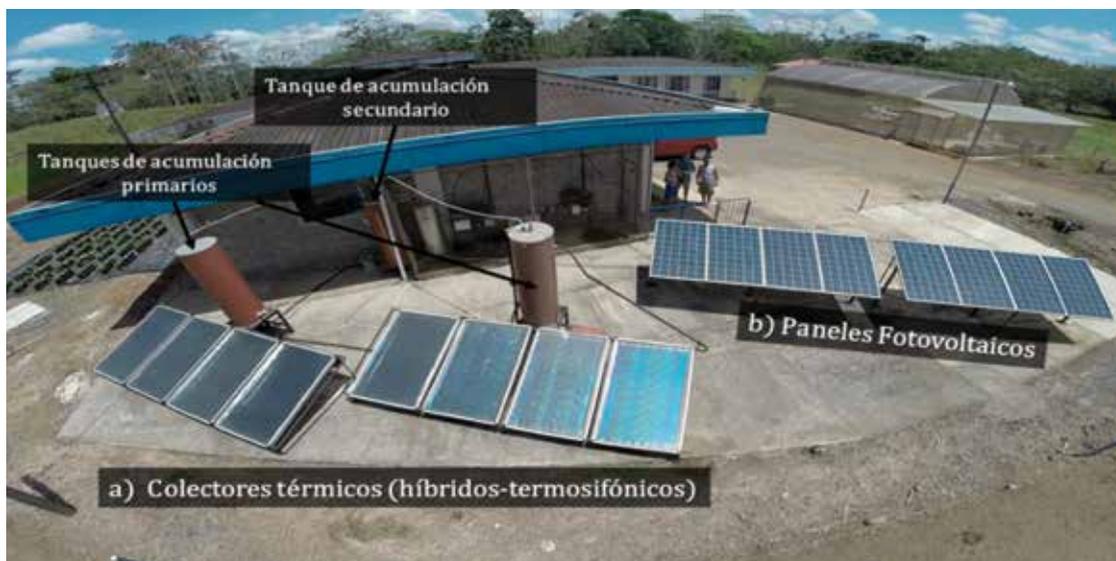


Figura 29. Foto panorámica de los sistemas solares implantados en la lechería ITCR-SSC

a) Sistemas híbrido-termosifónicos para proveer de agua caliente a la lechería y a los laboratorios de Microbiología y de Calidad de Carne para el lavado y esterilización de equipos. **b)** Sistemas fotovoltaicos que transforman la radiación solar en electricidad, la cual se suministra directamente a la red eléctrica para su uso (iluminación, refrigeración, bombeo, etc.).

Lechería de la Escuela Técnica e Industrial de San Carlos (ETAI)

La lechería de la ETAI se encuentra a 1 km del ITCR-SSC (Fig. 30). Esta lechería cuenta con un **sistema solar híbrido-térmico termosifónico** compuesto por tres colectores y un tanque de acumulación de agua con un sistema auxiliar eléctrico. Provee agua caliente de forma permanente para el lavado y desinfección de los equipos de ordeño y la propia instalación de la lechería.

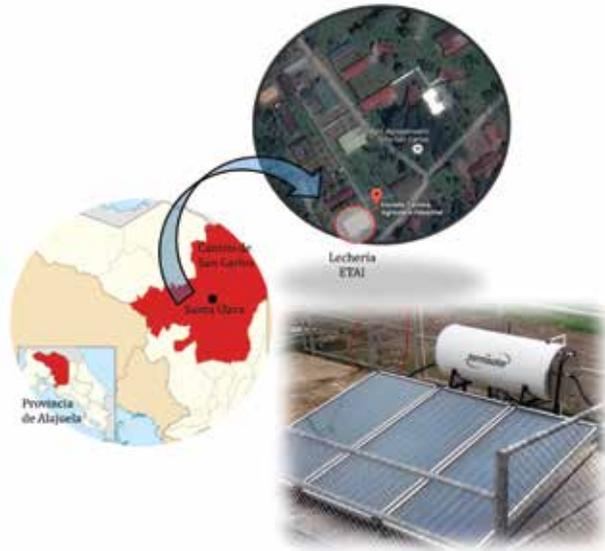


Figura 30. Los tres colectores termosifónicos localizados en la ETAI (Santa Clara de San Carlos).

Plantas procesadoras de leche LLAFRAK y San Bosco

Esta investigación se desarrolla en la comunidad de Juanilama de Pocosol (Fig. 31), la cual se escogió por ser una zona dedicada a la agricultura y ganadería que cuenta con escasas fuentes de empleo. De acuerdo con el Índice de Desarrollo Social Distrital (MIDEPLAN, 2013), Pocosol presenta un índice de desarrollo de 41,5% lo que lo ubica en la posición 440 (de 477) a nivel nacional. Con base en estos motivos, los productores han buscado alternativas económicas para afrontar estas condiciones limitantes.

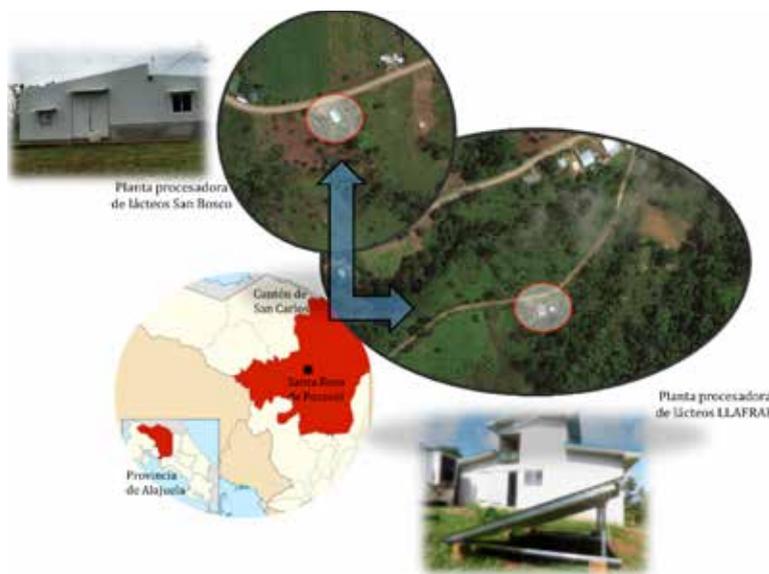


Figura 31. Localización de las dos plantas procesadoras de lácteos de LLAFRAK y San Bosco. Santa Rosa de Pocosol.

Los asociados de LLAFRAK y San Bosco cuentan, respectivamente, con 18 y 24 productores independientes. En las plantas procesadoras de estas asociaciones se utilizaba una caldera improvisada en la que se quemaba madera, e incluso basura para calentar el agua para pasteurizar la leche (Fig. 32). Éste era un proceso muy ineficiente que no aseguraba la correcta inocuidad de la pasteurización³, lo que ponía en riesgo la salud de los consumidores y de los propios asociados. Además, el impacto ambiental que ello ocasionaba para obtener la madera y las emisiones de humo empeoraba las condiciones de trabajo para los empleados. Sin embargo, al colocar un sistema solar híbrido-forzado con gas LP como sistema alternativo, la situación se tornó más sostenible y mejoró significativamente el aspecto de salubridad de la planta.

³ En este punto, la temperatura a la que se requiere el agua para los procesos de pasteurización y limpieza de equipos es de 70°C. La aplicación de un proceso térmico a una leche de buena calidad se hace con el propósito de hacerla segura para el consumo humano y que conserve su valor nutritivo. Obviamente, la esterilización de los equipos de ordeño utilizados para su obtención y manipulación es de vital importancia para asegurar su adecuada limpieza y mantenimiento (Neira, 2003).



Figura 32. Comparativa del estado de la planta antes y después de la implementación de los sistemas solares.

1) Antigo sistema de calentamiento de agua, con base en leña, para pasteurizar la leche en las plantas procesadoras de productos lácteos de LLAFRAK y San Bosco (Santa Rosa de Pocosol). 2) Sustitución de la caldera de leña por sistemas térmicos híbridos-forzados. 3) Marmita de leche durante la pasteurización solar.

Toma de datos y análisis

- Los sistemas instalados cuentan con un registrador inalámbrico (datalogger) que recopila los datos de temperaturas de entrada y salida del agua del ST y producción de energía (kWh), en el caso de los fotovoltaicos, cada 15 minutos. Estos datos son accesibles a través de Internet (Fig. 33).



Figura 33. Herramientas informáticas para la obtención automática de datos.

a) Registrador de datos de temperaturas instalado en los sistemas térmicos tanto de las lecherías del ITCR-SSC y ETAI, como de las plantas procesadoras de lácteos de LLAFRAK y San Bosco. Se puede colocar el intervalo de tiempo entre datos deseado que puede ser desde un mínimo de un segundo. b) Registrador de datos instalado en los paneles fotovoltaicos que monitorea la energía eléctrica generada por éstos en intervalos de quince minutos.

Con estas temperaturas se calculó la energía producida⁴ por unidad de tiempo a través de la fórmula de calor (Ec. 1, Henley 1973), estimando un consumo promedio de 200 L de agua al día en el caso de la lechería del ITCR-SSC, 60 L en el caso de la ETAI y 600 L en el caso de LLAFRAK.

⁴ Recordemos que los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica y el registrador de datos genera los valores directamente en kWh (Fig. 33, a). Sin embargo, para conocer la energía calorífica de los sistemas térmicos, cuya función es calentar el agua, debemos calcular los kWh en función de la temperatura del agua que nos da el registro (Fig. 33, b) para conocer la cantidad de energía suministrada por el Sol a través de los colectores.

$$Q \text{ térmico (kWh)} = V \times P \times C_{\text{esp}} \times \Delta \text{Temp} \times 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ kWh/J}$$

donde,

V: volumen del agua consumido al día (m³/día)

P: densidad del agua (1.000 Kg/m³)

C esp.: calor específico del agua (4.187 J/Kg·°C)

Δ Temp.: incremento de la temperatura del agua, generado por los colectores (°C)

Ecuación 1. Fórmula de para calcular la energía calorífica producida por los sistemas térmicos para calentar el agua.

- Para conocer la eficiencia de los sistemas en las horas de mayor radiación, se recopiló los datos de energía solar incidente a través del software instalado en la estación meteorológica de la lechería del ITCR-SSC, en Santa Clara (Fig. 34).



Figura 34. Estación meteorológica instalada en la lechería del ITCR-SSC (Santa Clara) para monitorear la potencia solar que incide sobre la superficie.

Latitud: 10° 21' N.

Longitud: 84° 30' O.

Altitud. 170 m.s.n.m

- Con base en la producción energética, se calculó el ahorro económico que ha supuesto durante el tiempo que lleva funcionando en las unidades de estudio. En este punto, según la tarifa vigente de COOPELESCA (Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos) con un consumo mensual superior a los 3.000 kWh como son las lecherías, el cargo por energía se sitúa en los ¢73,8/kWh. A este monto se le suman ¢12.161,89 por kW de potencia instalada - en el caso los paneles fotovoltaicos son de 2kW de potencia - ¢3,31/kWh de energía consumida en gastos de alumbrado público y un 5% aplicado al monto total de dinero cobrado por la energía eléctrica consumida a partir de consumos mayores a los 250 kWh mensuales (ICE, 2015. Tabla 9).

Asimismo, se calculó, para el momento presente, el tiempo de recuperación de la inversión inicial (¢6.000.000 por ambos sistemas) y también a futuro, según las tendencias macroeconómicas del sector eléctrico en Costa Rica, estimando un crecimiento promedio anual de 14,3% (Montenegro, 2016).

Tabla 9. Cargos de COOPELESCA para instalaciones con más de 3.000 kWh de consumo mensual.

$$\begin{array}{ccccccc}
 >3.000 \text{ kWh} & & 2 \text{ kW potencia} & & \text{¢}3,31/\text{kWh} & & 5\% \text{ energía} \\
 \text{consumidos/mes} & + & \text{instalada x} & + & \text{en gastos de} & + & \text{consumida} > \\
 \text{x ¢}73,8/\text{kWh} & & \text{¢}12.161,89/\text{kW} & & \text{alumbrado público} & & 250\text{kWh/mes}
 \end{array}$$



- Al ser sistemas limpios que no generan GEI, también se calculó la cantidad de CO₂ que se estaría evitando emitir a la atmósfera al haber sustituido fuentes de energía convencionales, como hidroeléctrica en el caso de las lecherías o leña en el caso de las plantas procesadoras de LLAFRAK y San Bosco (Tabla 10).

Tabla 10. Cantidades de CO₂ equivalente por kWh de energía producida en función del tipo de fuente.

Antes, se utilizaba electricidad y leña en las lecherías y plantas procesadoras, respectivamente. Actualmente, electricidad y Gas LP como fuente alterna de energía. (AIE, 2010).

Unidades seleccionadas	Antes. Fuentes convencionales de consumo	Ahora. Sistemas solares	
		Paneles	Sistema auxiliar
Lecherías ITCR-SSC y ETAI	electricidad: 0,055 Kg CO ₂ /kWh	Sol: 0 Kg CO ₂	electricidad: 0,055 Kg CO ₂ /kWh
LLAFRAK y San Bosco	leña: 1,7 kg CO ₂ /Kg	Sol: 0 Kg CO ₂	gas LP: 0,234 Kg CO ₂ /kWh

Resultados y discusión

A continuación, se presenta los resultados obtenidos con respecto de **energía producida, impacto ambiental** y **ahorro económico** de estos sistemas solares implantados.

Energía producida.

- La radiación solar incidente en los paneles fue de 115 kWh/m² por mes. Con esta radiación, los paneles solares generaron 203,6 kWh de energía eléctrica mensual (20,2 kWh por cada metro cuadrado), cifra que se sobrepasó en los meses de más radiación (marzo y abril de 2016). En cualquier caso, la producción es muy similar a lo largo del año y medio de estudio, permitiendo prever una producción mensual que se situará **entre los 160 kWh de mínima y 260 de máxima**, correspondientes a una eficiencia de los paneles en torno al 17% (Tabla 11, Fig. 35).

A pesar de que esta eficiencia pueda parecer un porcentaje bajo, el tipo de material del que están hechos estos paneles “ celdas monocristalinas “ es el más eficiente y asegura entre un 17 y 21% de transformación de la radiación solar en electricidad⁵. Los paneles amorfos y otros de capa fina, pese a ser más baratos, pocas veces superan el 10%.

Tabla 11. Radiación solar promedio y generación de energía eléctrica por mes y día, en la lechería del ITCR-SSC (Santa Clara de San Carlos).

Mes	Radiación solar (kWh/m ²)		Electricidad producida por los paneles (kWh/m ²)		Eficiencia de los paneles
	Diaria	Mensual	Diaria	Mensual	
May-15	3,67	113,73	0,57	17,73	15,6%
Jun-15	3,46	103,94	0,52	16,01	14,9%
Jul-15	3,74	116,05	0,59	18,22	15,7%
Ago-15	4,02	124,76	0,64	19,94	16,0%
Sept-15	3,61	108,43	0,55	17,19	15,4%
Oct-15	3,68	114,05	0,60	18,59	16,3%
Nov-15	3,25	97,53	0,63	19,46	19,3%
Dic-15	3,18	98,67	0,68	21,00	21,3%
Ene-16	3,37	104,55	0,71	22,11	21,2%
Feb-16	3,98	115,38	0,68	21,23	17,2%
Mar-16	4,58	141,94	0,85	26,35	18,6%
Abr-16	4,68	140,5	0,79	24,58	16,9%
Promedio	3,77	114,96	0,65	20,20	17,4%
Máximo	4,68	141,94	0,85	26,35	21,3%
Mínimo	3,18	97,53	0,52	16,01	14,9%

⁵ Como curiosidad, para construir aparatos de uso espacial (como algunos satélites o el *Mars Rover*, que deambula por Marte) se utiliza módulos de arseniuro de galio que alcanzan una eficiencia actualmente récord de 30%. El precio es, obviamente, desorbitado (Delta Volt SAC, 2016).

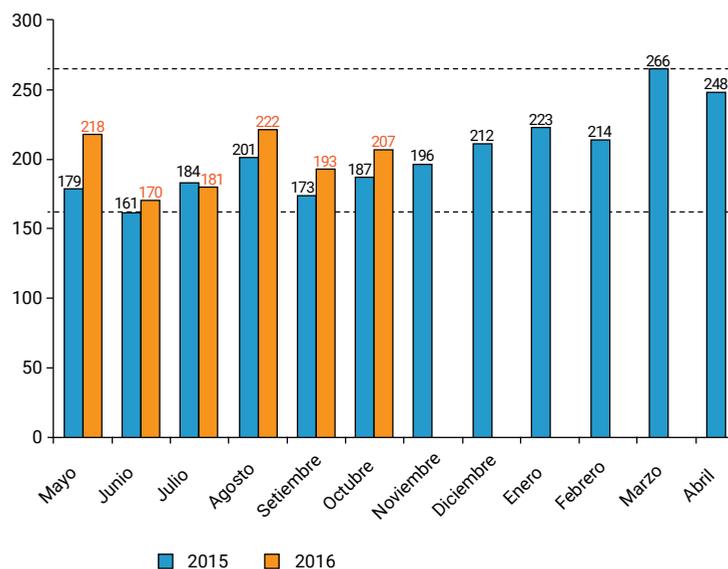


Figura 35 Energía total generada mensualmente por el sistema fotovoltaico durante el año y medio de estudio en la lechería del ITCR-SSC.

Las líneas discontinuas indican los extremos mínimo y máximo de dicha producción.

Además, es preciso tener en cuenta que la cantidad de energía producida dependerá en alto grado de la intensidad de la radiación solar incidente (Fig. 36), independientemente de la temperatura y precipitaciones de la zona, las cuales son constantes y abundantes a lo largo de todo el año en Santa Clara de San Carlos (temperaturas promedio de 25°C y precipitaciones mínimas que sobrepasan los 100 mm por mes. IMN, 2016. Para más información, véase Tabla 1 Anexo, datos climáticos).

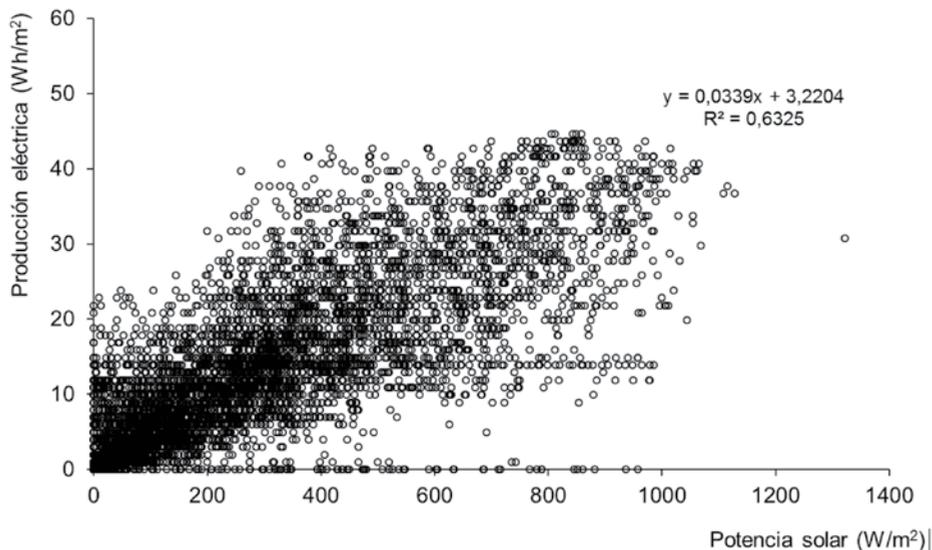


Figura 36. Relación entre la cantidad de radiación incidente y producción eléctrica.

Se observa como a medida que aumenta la potencia solar, también aumenta la producción eléctrica de los paneles fotovoltaicos. La R^2 de 0,63 es el coeficiente matemático que indica que la correlación es alta, por lo que se puede predecir con una seguridad del 63% que habrá mayor producción cuanto más radiación incida sobre la superficie de los paneles.

Este hecho se aprecia notablemente a lo largo de un día, cuando la radiación solar es máxima al mediodía (800 Wh/m² de media) y, por ende, también lo es la producción eléctrica de los sistemas fotovoltaicos, sobrepasando los 100 Wh/m² (Fig. 37).

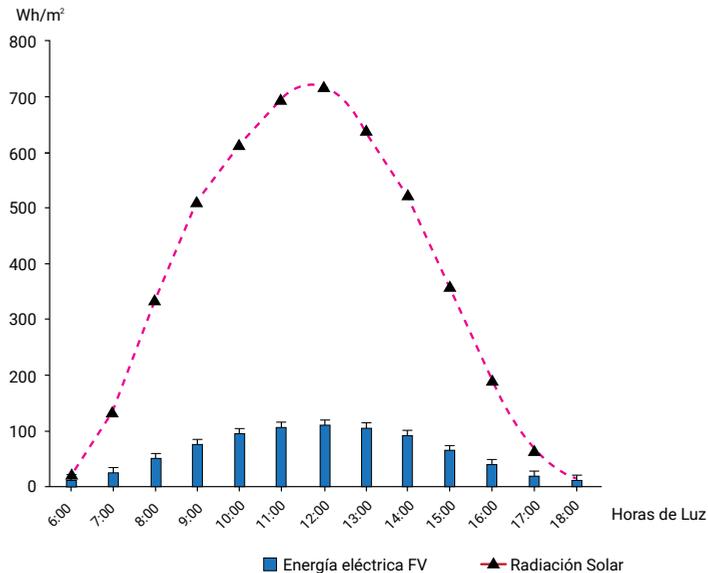


Figura 37. Energía solar y energía eléctrica generada por día (promedio anual). Lechería ITCR-SSC. La producción energética diaria de los paneles fotovoltaicos tiene su máximo punto en las horas centrales del día (entre las 11am y 12 md).

Aunque la correlación entre radiación solar y producción eléctrica es alta, el hecho de que no haya una relación lineal del 100% se debe a que entran en juego otros factores en el rendimiento de los paneles, como es la temperatura de los mismos. Se consigue el máximo rendimiento cuando la temperatura de las células fotovoltaicas alcanza una temperatura óptima, alrededor de los 25 °C. En las zonas donde la incidencia de radiación es mayor, dicha temperatura óptima se supera disminuyendo el rendimiento de las placas solares. Una forma de poder resolver el problema de la eficiencia en los paneles fotovoltaicos sería ubicarlos en lugares bien ventilados con una buena velocidad de viento, otra sería acoplarle un radiador de aluminio con aletas de refrigeración al panel, pues el propio viento disminuirá la temperatura en las celdas fotovoltaicas.

En cualquier caso, para que los paneles fotovoltaicos rindan al máximo de sus posibilidades, es muy conveniente estudiar el emplazamiento de los paneles solares a la hora de hacer el estudio y proyecto, ver qué sombras les afecta a lo largo del día y si en el lugar elegido para su emplazamiento pueden orientarse de la mejor forma posible (en la posición sur-sur y con un ángulo que aproveche al máximo la luz incidente; Benítez-Salazar et al. 2013).

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos que existen en el mercado están comprendidos entre un 10 % a 25 % (1/4 de la energía solar que incide en su superficie). En el ITCR-SSC, la producción mensual de electricidad a partir del Sol supera los 250 kWh en los días menos nublados, suficiente para cubrir más de la mitad del consumo eléctrico de una vivienda promedio.

- Respecto al **sistema termosifónico** de la lechería del ITCR-SSC (que se emplea sólo **para calentar agua**), el agua de entrada tenía una temperatura media de 28,2°C, y en los colectores se incrementó en 20,3, llegando a una temperatura media de salida de 48,5°C, por lo que la energía calorífica equivalente fue de 140,3 kWh por mes, lo que permitió ahorrar un 74% de la energía necesaria para alcanzar la temperatura requerida del agua para las operaciones de limpieza y desinfección (Tabla 12). En la ETAI, las temperaturas de salida fueron más altas y se logró incrementar la temperatura del agua en casi 30°C (diez más que en el caso de la del ITCR-SSC; Tabla 13).

Tabla 12. Energía generada mensualmente por los sistemas solares termosifónicos instalados en la lechería del ITCR-SSC.

Mes	Temperatura (°C)			Consumida	Ahorro (%)	Energía equivalente (kWh/mes)
	Inicial	Final	Variación (Δ Temp)			
May-15	27,5	52,5	+25	70	75	180,0
Jun-15	27,3	50,8	+23	70	72,6	163,8
Jul-15	26	43,1	+17	70	61,6	123,8
Ago-15	26,2	35,3	+9	70	50,4	79,1
Sept-15	27,5	51,7	+24	70	73,9	115,5
Oct-15	26,4	42,9	+16	70	61,3	119,3
Nov-15	26	41	+15	70	58,6	104,6
Dic-15	30,4	54,2	+23	70	77,4	171,3
Ene-16	31,6	60,4	+28	70	86,3	197,5
Feb-16	32,6	43,7	+11	70	62,4	74,5
Mar-16	28,5	52,9	+24	70	75,6	175,9
Abr-16	28,3	53,9	+25	70	77	178,9
Promedio	28,2	48,5	+20,3	70	74	140,3
Mín.	26	35,3	+9	70	50,4	79,1
Máx	32,6	60,4	+28	70	86,3	197,5

Tabla 13. Energía generada mensualmente por los sistemas solares termosifónicos instalados en la lechería de la ETAI.

Mes	Temperatura (°C)			Consumida	Ahorro (%)	Energía equivalente (kWh/mes)
	Inicial	Final	Variación (Δ Temp)			
Ago-15	27,3	60,8	+33,5	70	86,9	195,0
Sept-15	31,1	59,4	+28,4	70	84,9	171,3
Oct-15	33,9	73,3	+39,4	70	100	215,5
Nov-15	29,7	66,5	+36,8	70	95,0	198,3
Dic-15	29,5	67,9	+38,5	70	97,1	214,1
Ene-16	29,7	59,8	+30,1	70	85,4	195,0
Feb-16	30,3	43,8	+13,5	70	62,6	142,7
Mar-16	27,7	52,3	+24,6	70	74,7	202,2
Abr-16	27,6	59,0	+31,4	70	84,3	155,0
May-16	28,5	43,3	+14,8	70	61,8	146,5
Jun-16	27,1	53,1	+25,9	70	75,8	111,9
Jul-16	28,4	60,4	+32,1	70	86,3	118,6
Promedio	29,2	58,3	+29,1	70	83,3	172,2
Mín	27,1	43,3	+13,5	70	61,8	111,9
Máx	33,9	73,3	+39,4	70	104,8	215,5

Las condiciones meteorológicas donde se encuentra la lechería de la ETAI no difieren de las del ITCR-SSC debido a su cercanía, pues las separa apenas un kilómetro de distancia. El hecho de que en la ETAI se obtuviera temperaturas más altas y, por ende, mayor ahorro eléctrico para calentarla, se debe al menor consumo de agua para las operaciones que les ocupa (60 L diarios). Por tanto, al haber mayor disponibilidad de agua caliente y estar aislada térmicamente en el depósito, se mantiene la energía calorífica ofrecida por el Sol durante más tiempo.

El consumo de agua en la lechería del ITCR-SSC es mayor, ya que el uso de agua caliente no es exclusivo de la lechería. También se desvía hacia los laboratorios de Microbiología y de Calidad de carne contiguos, cuyo protocolo de higiene y seguridad alimentaria exige la esterilización de los equipos, por lo que el consumo diario se incrementa en unos 200 L.

- Del sistema forzado implantado en las plantas procesadoras de leche de LLAFRAK y San Bosco, únicamente se dispone de datos de la primera, ya que en San Bosco lleva funcionando desde mayo de 2016 y todavía se encuentra en etapa de acondicionamiento para el correcto monitoreo a través de los sistemas computarizados.

En LLAFRAK, los colectores elevaron la temperatura del agua en unos 28,2°C de media, desde los 25°C (a la entrada al sistema) hasta los 53,7°C (a la salida del sistema). La energía calorífica equivalente fue de 452,5 kWh por mes, lo que permitió ahorrar más del 82% de la energía necesaria para alcanzar la temperatura requerida para la pasteurización de la leche y la limpieza de los equipos (Tabla 14).

Tabla 14. Energía generada mensualmente por los sistemas solares forzados instalados en la planta de productos lácteos LLAFRAK.

Mes	Temperatura (°C)			Consumida	Ahorro (%)	Energía equivalente (kWh/mes)
	Inicial	Final	Variación (Δ Temp)			
Feb-16	23,7	50,4	+26,7	70	72,1	464,9
Mar-16	23,7	62,0	+38,3	70	88,6	520,4
Abr-16	26,0	55,3	+29,3	70	79,0	480,8
May-16	26,0	55,5	+29,5	70	79,3	454,6
Jun-16	26,4	49,8	+23,4	70	71,1	389,0
Jul-16	26,1	49,9	+23,9	70	71,3	414,7
Ago-16	26,6	52,8	+26,2	70	75,4	443,2
Promedio	25,5	53,7	+28,2	70	76,7	452,5
Mín	23,7	49,8	+23,4	70	71,1	389,0
Máx	26,6	62,0	+38,3	70	88,6	520,4

En el caso de LLAFRAK, los sistemas solares funcionan exactamente igual a los termosifónicos de la lechería del ITCR-SSC y la ETAI, sólo que al ser forzados disponen de una pequeña bomba para hacer circular el agua. El depósito de agua es de 302,40 L, igual al de la lechería del ITCR-SSC. Sin embargo, el consumo es de aproximadamente 600 L diarios (el triple que en la lechería del ITCR-SSC), ya que se emplea la mayor parte del agua caliente para la pasteurización de la leche. En Santa Rosa de Pocosol, el tiempo no es tan nublado como en Santa Clara, y por ende, la energía calorífica absorbida por el agua es mayor que la obtenida en el ITCR-SSC.

En la Figura 38 y 39 se muestrala energía calorífica que ofrece el Sol a través de los sistemas térmicos implantados en las unidades de estudio y el ahorro energético, respectivamente. De esta manera, se puede visualizar mejor las diferencias que se ha estado comentando anteriormente.

Es preciso señalar que la comparativa no se da en todos los meses debido a las diferentes fechas de implantación de los sistemas, por lo que se dispone de más datos del que lleva más tiempo en operación (ITCR-SSC) y sólo de febrero a agosto de 2016 del más reciente (LLAFRAK).

Parte de la energía consumida antes de la implementación de los colectores (eléctrica en el caso de las lecherías y leña en el caso de LLAFRAK) se destinaba a calentar el agua, con el consiguiente gasto en energía y mano de obra. Con la implementación de los sistemas solares para calentar el agua, el ahorro para ese proceso ronda el 70% para la lechería del ITCR-SSC, 83% para la del ETAI y 82% para la planta de LLAFRAK.

En la figura 40 se muestra las temperaturas diarias alcanzadas para los diferentes meses evaluados en las unidades de estudio. En azul figura la temperatura del agua a la que entra en los colectores, en naranja la que toma a la salida de los mismos tras ser calentada por el sol, y en rojo la que se exige para consumo y que representa la temperatura que no calientan los colectores y que, por tanto, se ha de pagar con la fuente de fuente alterna, en el caso de las lecherías eléctrica, y en la de LLAFRAK de gas LP.

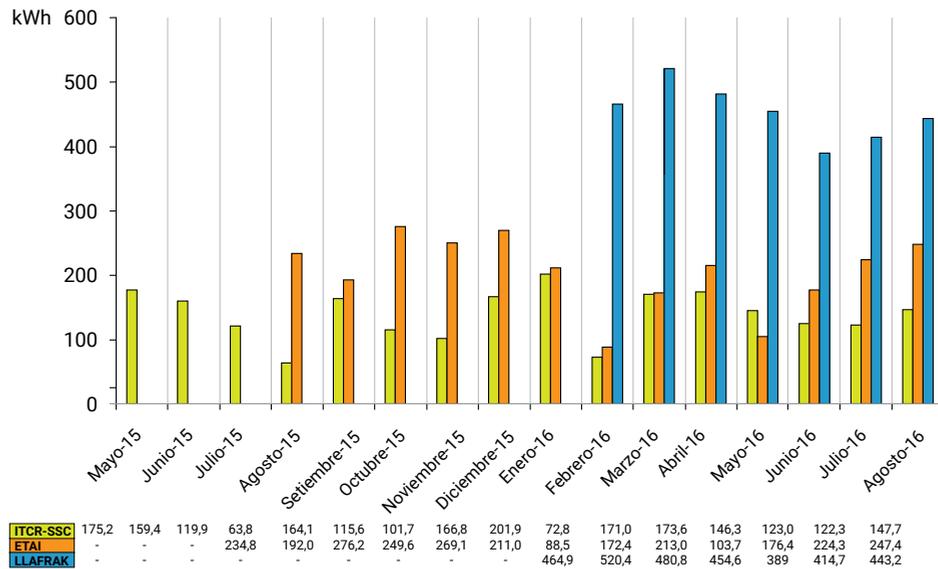


Figura 38. Comparativa de la energía calorífica mensual producida por los sistemas térmicos de calentamiento de agua, en las lecherías del ITCR-SSC y ETAJ y en la planta procesadora de lácteos LLAFRAK de Juanilama de Pocosal.

Nótese la gran cantidad de energía calorífica que aporta el Sol en Juanilama través de los colectores que es en torno al triple que en los sistemas ubicados en Santa Clara.

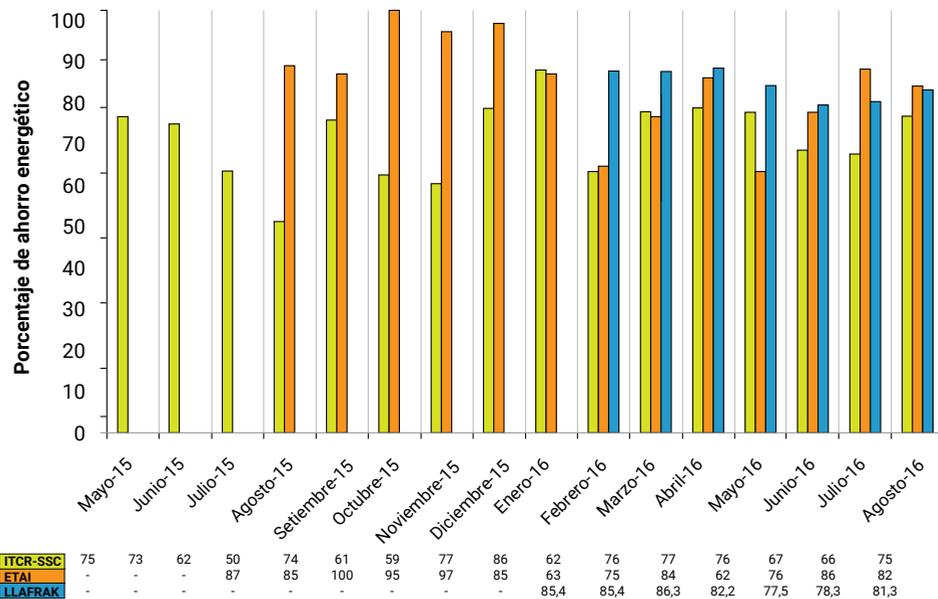
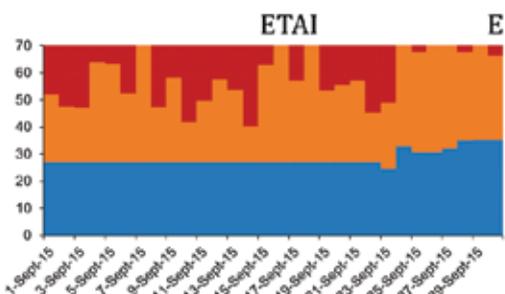
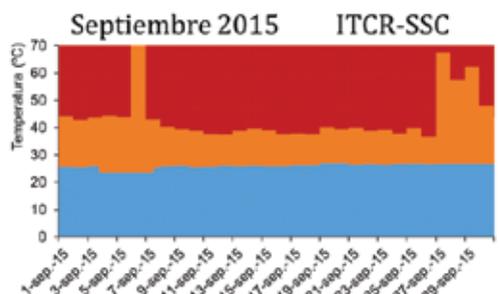
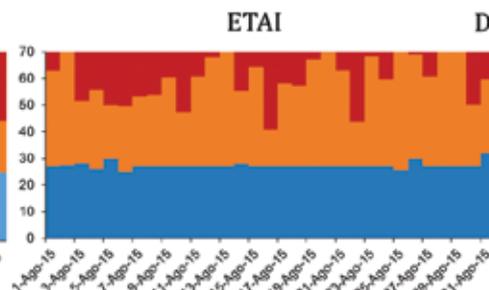
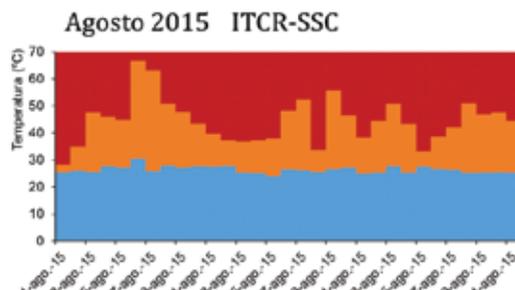
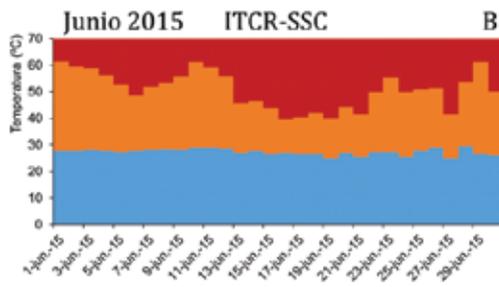
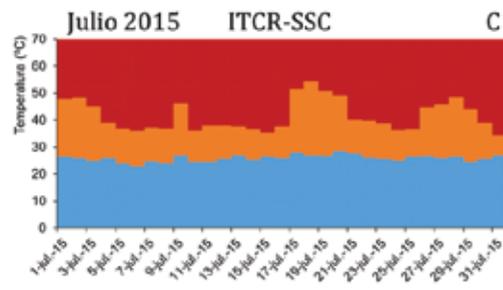
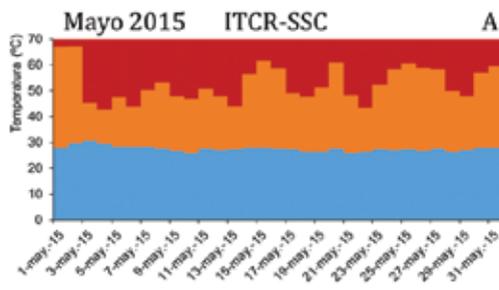
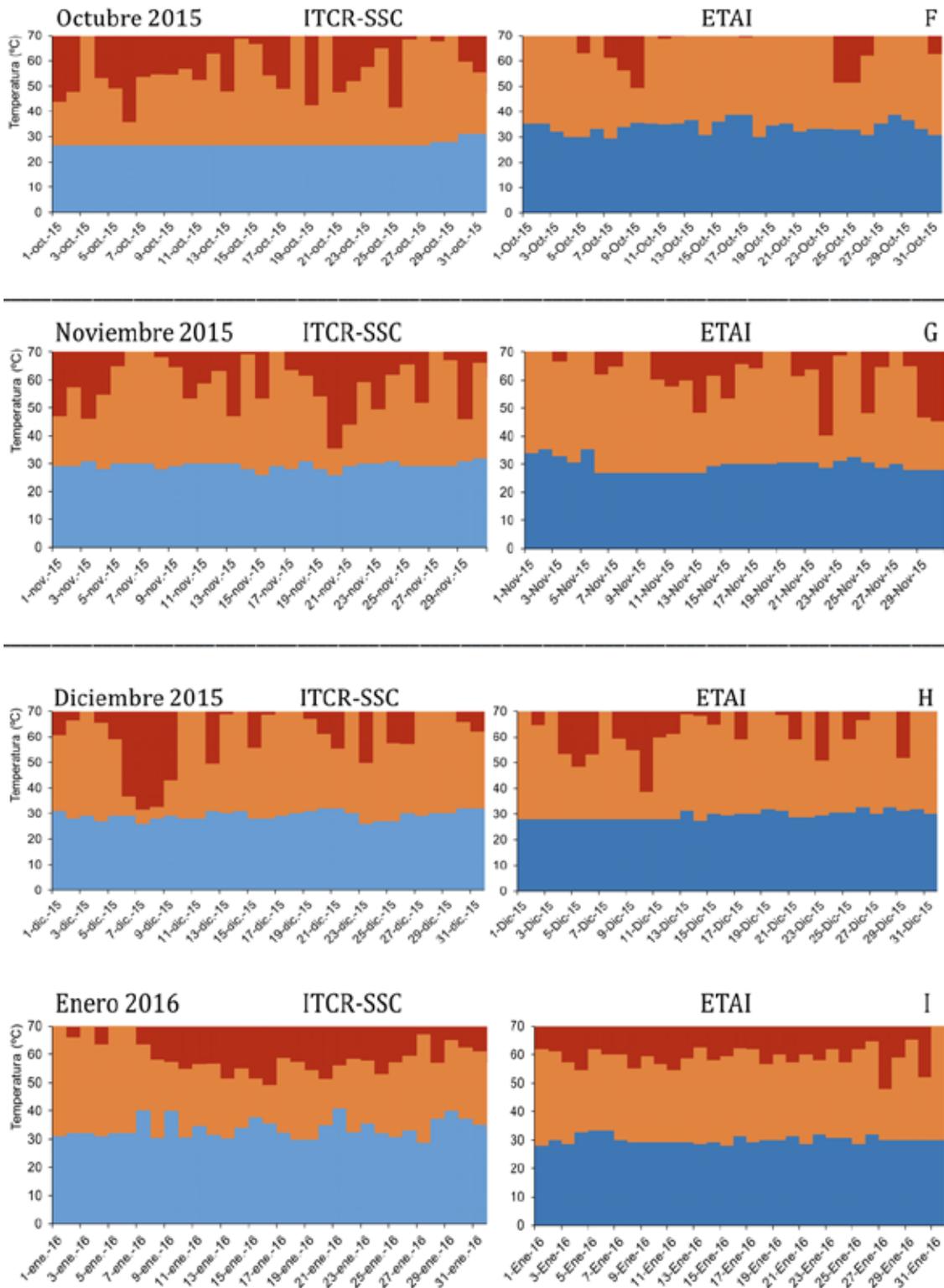
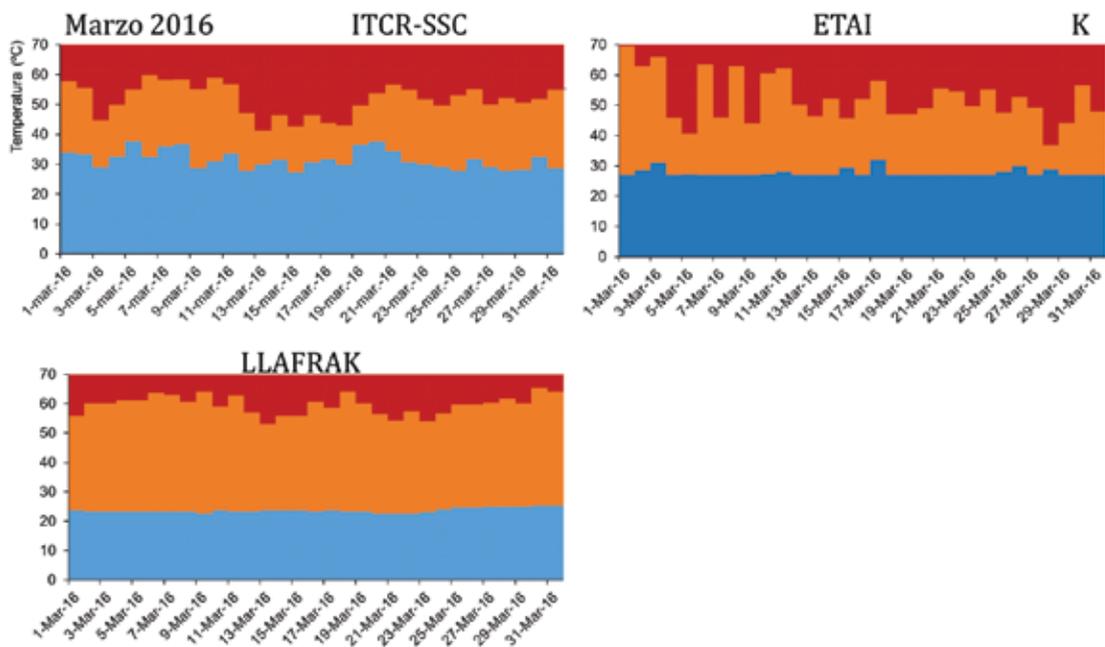
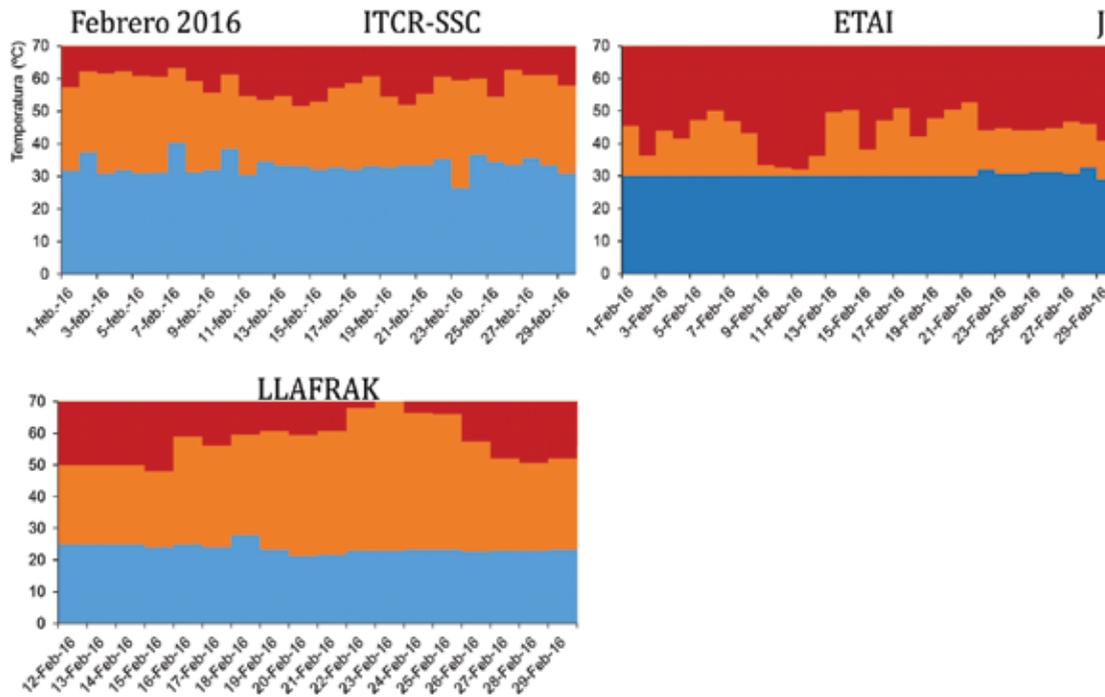


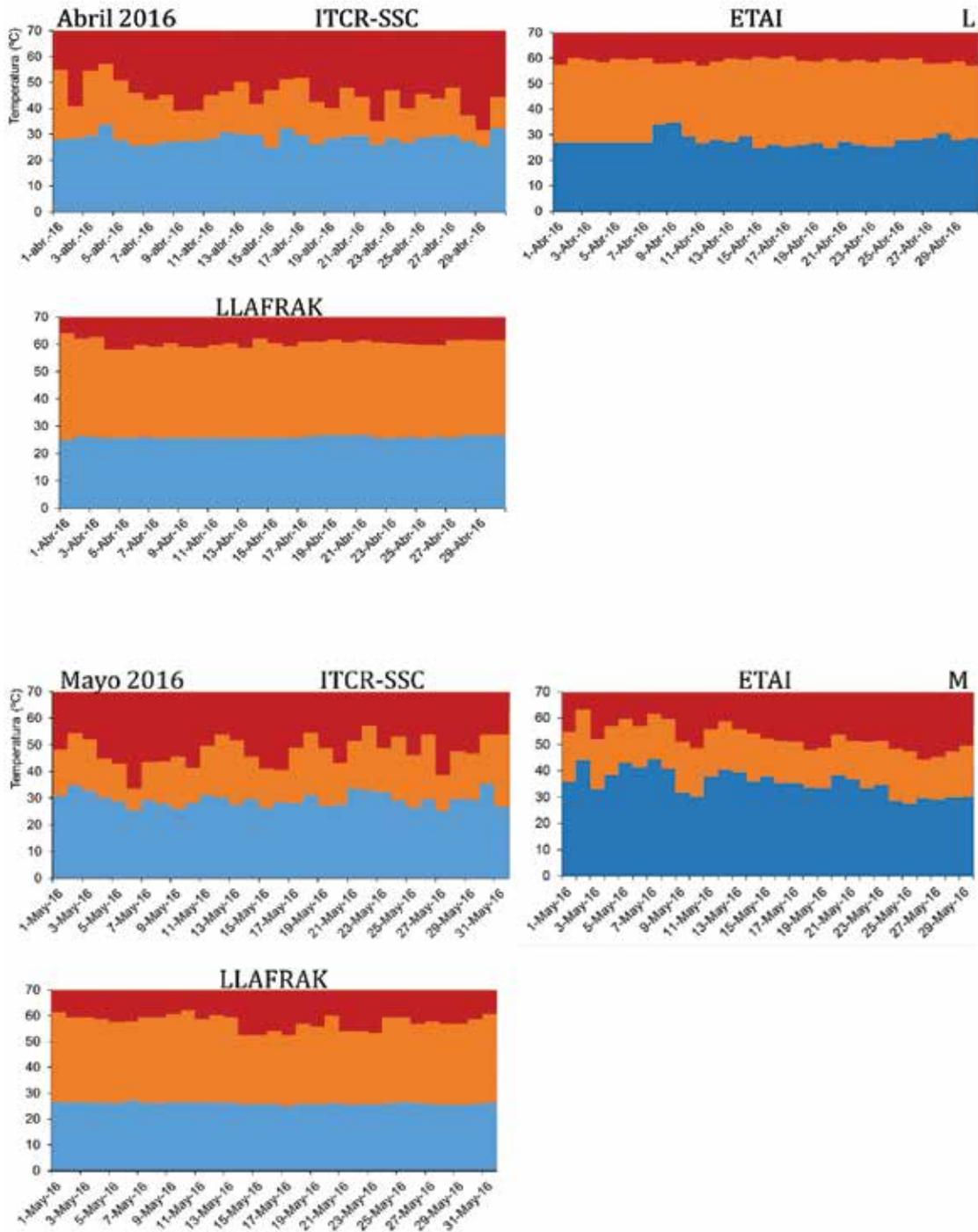
Figura 39. Comparativa del ahorro energético de los sistemas térmicos en las diferentes instalaciones. El calentamiento del agua fue gratuito en la ETAJ en el mes de octubre de 2015, ya que no se utilizó ninguna fuente alterna.

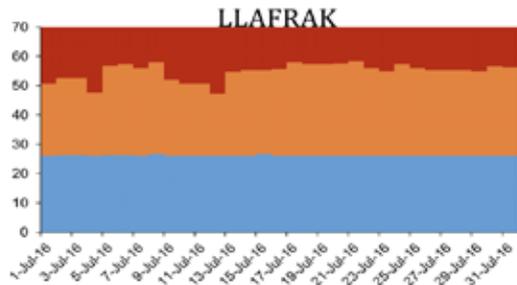
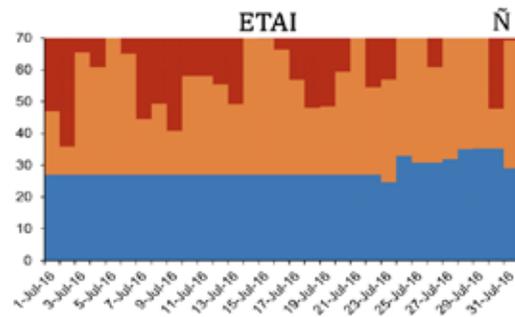
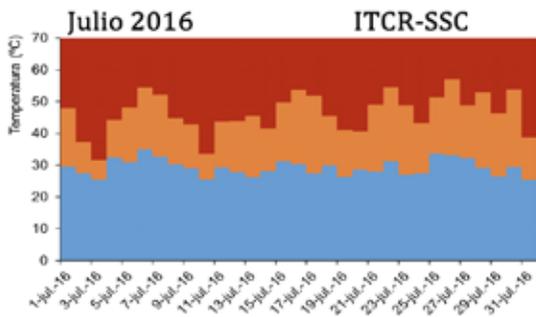
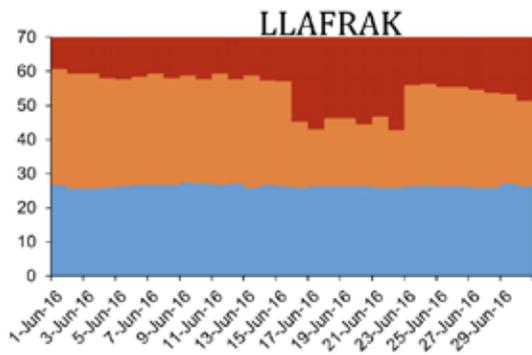
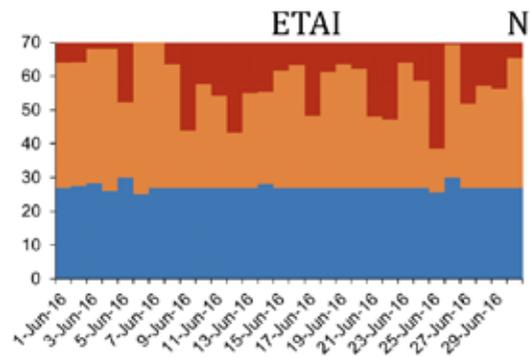
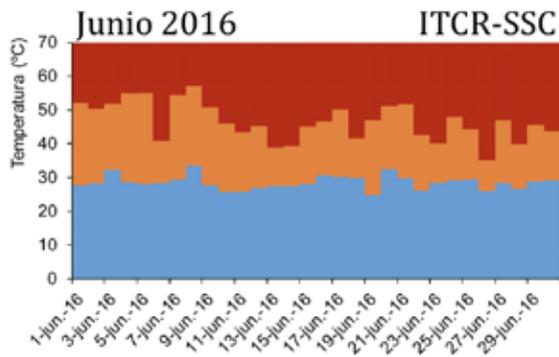
■ T. demandada ■ T. salida colector ■ T. inicial











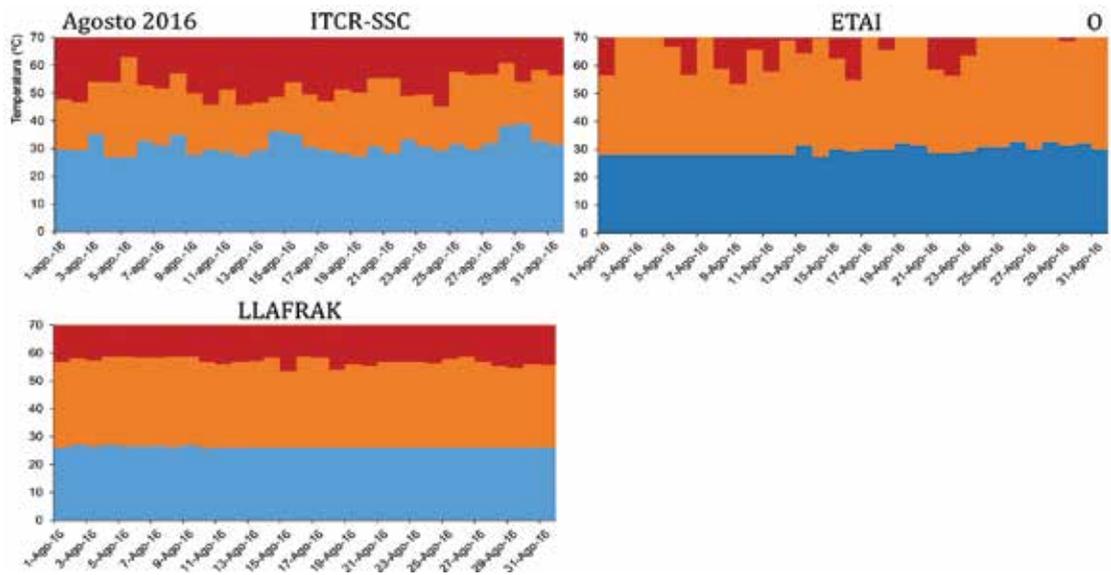


Figura 40. Temperaturas medias del agua a la entrada y salida del sistema solar térmico registrada.

En los meses de mayo (A), junio (B), julio (C), agosto (D), septiembre (E), octubre (F), noviembre (G) y diciembre (H) de 2015 y, enero (I), febrero (J), marzo (K) y abril (L), mayo (M), junio (N), julio (Ñ), agosto (O) de 2016, según los datos obtenidos de las lecherías del ITCR-SSC y ETAI, y la planta de LLAFRAK.

Se observa en todas las figuras cómo la temperatura del agua entrante al sistema (franja azul) es bastante homogénea a lo largo de los días y meses evaluados, situándose en torno a los 25-30°C. Mayor variabilidad presenta las temperaturas de salida en el ITCR-SSC y ETAI en comparación con LLAFRAK (franja naranja). La diferencia entre las mínimas y máximas de esos picos son más del doble que en LLAFRAK, debido principalmente a la mayor nubosidad y contraste térmico durante la noche que hay en Santa Clara.

A este respecto, no se encuentra meses en los que se prevén mayores temperaturas ni ahorro en todas las unidades de estudio, pues las condiciones de nubosidad y de radiación varían prácticamente a diario y ello hace que la energía calorífica en cada mes sea diferente para cada lugar. En cualquier caso, se puede afirmar que la energía calorífica obtenida por los colectores para calentar el agua se sitúa entre 20-30 kWh por m² en Santa Carlos.

Los colectores térmicos lograron aportar al agua unos 25 kWh/m² del calor del sol para incrementar su temperatura entre 20 a 30 °C. Esto representa $\frac{3}{4}$ partes de la energía necesaria para calentar el agua hasta la temperatura de consumo sin necesidad de requerir a la fuente alterna durante algunos días. Este hecho supone un importante ahorro energético a final de mes.

Al disponer de los dos sistemas solares (fotovoltaico y termosifónico) en la lechería del ITCR-SSC, con exactamente las mismas condiciones meteorológicas y radiación solar incidente (Tabla 11 pág. 83), se comparó la producción energética de ambos a lo largo de un día para conocer cuál era más eficiente (Fig. 41). En términos energéticos, los sistemas fotovoltaicos son significativamente más eficientes, pues producen 539 kWh diarios de energía por metro cuadrado más en comparación con los termosifónicos que producen 272 kWh diarios.

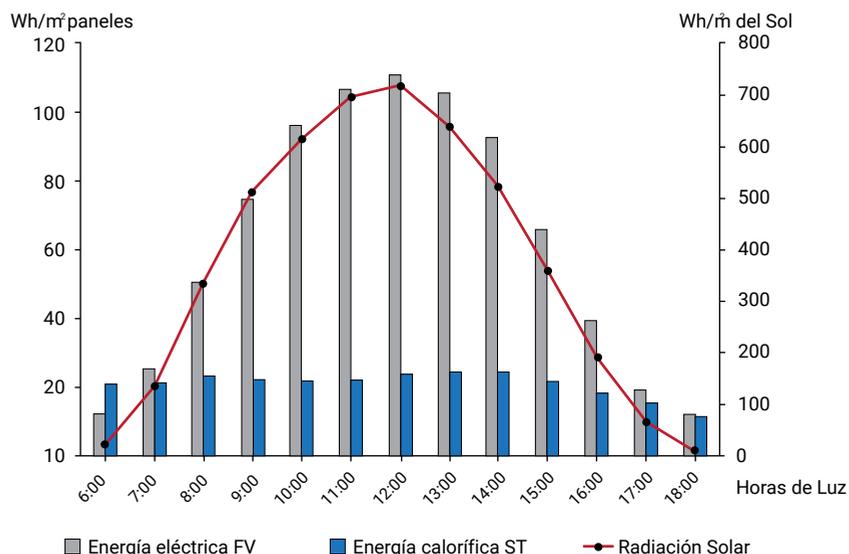


Figura 41. Producción energética de los paneles fotovoltaicos y térmicos a lo largo de un día de luz (en Wh por m²) en la lechería del ITCR-SSC.

Es un promedio anual, de mayo 2015 a abril 2016 (desde la salida del sol a las 6 am hasta su puesta a las 6 pm).

Además de que la producción es menor en los térmicos, éstos no siguen una distribución en forma de campana como los fotovoltaicos (siendo máxima al mediodía por la posición del Sol), sino que es más uniforme a lo largo del día. La razón de esta menor sensibilidad de los colectores térmicos a la radiación solar incidente se debe al agua, la cual una vez que se calienta a través de los colectores por la radiación solar le cuesta más enfriarse, aunque no haya luz solar porque:

- en primer lugar, posee un alto poder calorífico que hace que requiera perder gran cantidad de energía para disminuir su temperatura (en concreto, para que un kg de agua disminuya su temperatura en 1°C, debería perder 4.187 joules de energía). Como la temperatura exterior no es tan contrastada, pues las mínimas pueden ser de 18°C en momentos muy breves de la noche, al agua no le da tiempo a enfriarse lo suficiente.
- en segundo lugar, se haya aislada térmicamente en un tanque sellado para disponer de agua caliente por la noche e incluso en casos de interrupciones de electricidad en la lechería.

Aun siendo menor la energía generada por los térmicos en comparación con los fotovoltaicos, es suficiente para elevar la temperatura del agua en 20-30°C y cubrir en un 75% las necesidades energéticas para calentarla.

Además, el alto poder específico del agua y su aislamiento térmico en el depósito, permite disponer siempre de agua caliente incluso en momentos de interrupciones de electricidad o cuando no hay luz solar.

Ahorro económico.

Exponemos en la siguiente lectura los montos sobre la factura eléctrica que han permitido ahorrar los sistemas solares en la lechería del ITCR-SSC, y sobre la leña y la mano de obra asociada a ésta en la planta de LLAFRAK.

- En la **lechería del ITCR-SSC**, el monto total ascendió a los ₡640.257 (unos \$1.152) para el año evaluado. Esta cantidad representa el 35,57% de la factura anual de electricidad de la lechería, la cual es de 1.800.000 (Tabla 15).

Con estos datos, la inversión inicial de todo el sistema, cuyo costo fue de ₡6.000.000, se recuperaría con las condiciones actuales del precio de electricidad, en casi 9 años. No obstante, según la estimación a futuro realizada por la Cámara de Industrias de Costa Rica (CICR, 2016), el incremento medio anual en la factura eléctrica nacional ha sido de 14,3%, y se espera que continúe con dicha tendencia e incluso se encarezca todavía más, lo que hará que la inversión se recupere tres años antes. (Fig. 42).

En Costa Rica, la energía continua es mayoritariamente hidroeléctrica, y es en épocas secas cuando se viene utilizando de manera gradual la generación térmica con combustibles importados (DSE, 2012). Esta variabilidad climática en cuanto a los regímenes de lluvia se ha visto incrementada en los últimos 10 años, prolongándose el periodo seco, por lo que será una causa más del progresivo encarecimiento de la electricidad por falta de lluvia en el futuro (Alvarado et al., 2012).

En una lechería promedio de 24 ha como es la del ITCR-SCC, un sistema combinado de energía solar fotovoltaica y térmica pueden suponer un ahorro de más del 35% del consumo eléctrico anual.

Tabla 15. Contribución económica de los sistemas solares a la factura anual de electricidad en la lechería del ITCR-SSC.

Mes	KWh total	Costo por energía (₡)	Costo por alumbrado público (₡)	Impuesto de ventas (₡)	Costo total (₡)
May-15	359	50.647	1.367	2.532,4	54.546,5
Jun-15	325	48.179	1.239	2.408,9	51.826,4
Jul-15	308	46.889	1.172	2.344,4	50.404,9
Ago-15	280	44.877	1.067	2.243,8	48.187,8
Sept-15	289	45.512	1.100	2.275,6	48.887,2
Oct-15	307	46.831	1.169	2.341,6	50.341,4
Nov-15	301	46.392	1.146	2.319,6	49.857,5
Dic-15	383	52.422	1.459	2.621,1	56.502,5
Ene-16	420	55.172	1.602	2.758,6	59.532,3
Feb-16	289	45.495	1.099	2.274,7	48.868,6
Mar-16	442	56.722	1.682	2.836,1	61.240,0
Abr-16	427	55.653	1.627	2.782,6	60.061,9
Total año	4.128	594.790	15.727	29.739,5	640.257

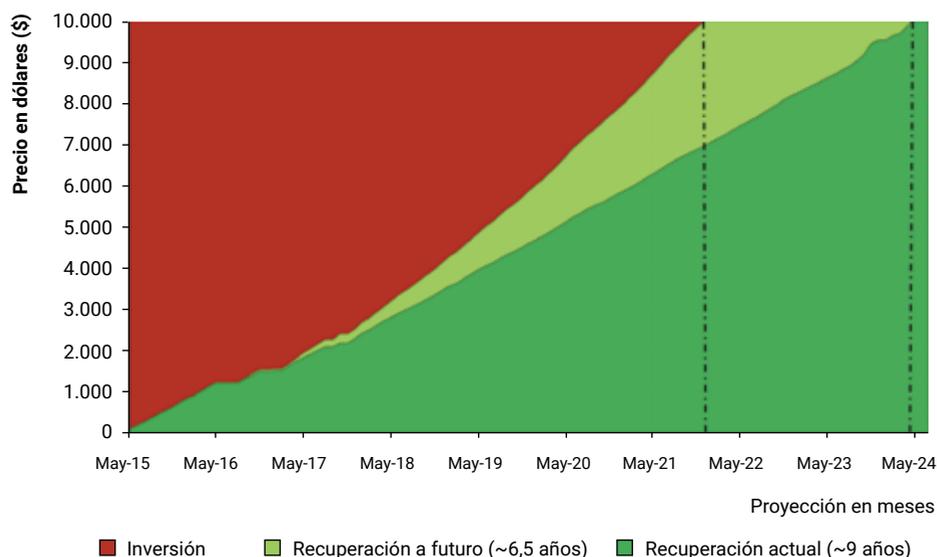


Figura 42. Recuperación de la inversión en dólares, según el ahorro mensual durante el año evaluado y en el marco actual y futuro de las tarifas eléctricas.

- Respecto a la planta de procesamiento de lácteos de **LLAFRAK**, se recopiló los datos de los costos asociados a la compra de leña utilizada en 2015. La estructura de costos, asociados a la producción con el sistema de generación de calor por combustión de leña, corresponde a:

- i) compra de leña: ₡50.000 mensuales por un consumo de 2.500 kg/mes.
- ii) salario de un operario a media jornada encargado de trabajar en la “caldera”: ₡152.250 mensuales.

Al sustituir todo lo anterior por colectores solares, el costo asociado corresponde únicamente a la caldera auxiliar de gas LP (₡36.000/mes). Por lo tanto, el ahorro obtenido respecto de los costos de producción para el período evaluado de febrero a agosto de 2016, fue de ₡166.250/mes (Tabla 16).

Tabla 16. Comparación económica del sistema de generación de vapor con leña y del actual ST híbrido solar.

(Fuente: Sánchez, 2016).

Insumo	Costo de producción (₡/mes)	
	Sistema de vapor con leña (₡)	ST híbrido solar (₡)
Leña	50.000	0
Gas LP	0	36.000
Mano de Obra	152.250	0
Total	202.250	36.000

Para los procesos de pasteurización de la leche y desinfección de equipos de ordeño, en una planta como la de LLAFRAK, que llega a consumir 600 L de agua diarios, el ahorro mensual que le está suponiendo los tres colectores solares es de ₡166.250, sin contar el beneficio social y ambiental que ha supuesto para los asociados y consumidores, con respecto de las condiciones anteriores.

El tiempo de uso de estos sistemas se estima entre 25 y 30 años, con un mantenimiento de muy bajo costo. De manera que, aunque la recuperación de la inversión se retrasase como mucho 10 años, ese tiempo no es nada comparado con la vida útil de estos sistemas. Pasado ese tiempo, los paneles siguen funcionando, pero lógicamente con menor rendimiento.

Es preciso señalar que, en el monto calculado, no se tiene en cuenta el costo ambiental que supone la implantación de los sistemas solares, el cual elevaría significativamente el ahorro de la factura eléctrica. Actualmente, las empresas no contemplan en su contabilidad los costos medioambientales que generan. Las nuevas normativas medio ambientales y la presión de las organizaciones no gubernamentales y de los organismos de crédito internacionales están modificando esta actitud, y han llevado a las empresas a prestar cada vez más atención a esos costos.

Impacto ambiental

Los sistemas solares no generan GEI a la atmósfera y producen energía de forma totalmente limpia a partir de la radiación y el calor del Sol. Sólo el equipo auxiliar de energía - eléctrico en el caso de los sistemas solares de la lechería del ITCR-SSC y ETAI, y de gas LP en LLAFRAK emiten esos subproductos de la combustión, pero en cualquier caso es muy reducido.

A continuación, figuran para cada una de estas unidades la emisión de CO₂ resultante de cada fuente de energía, antes y después de implantados los sistemas solares (Tablas 17, 18 y 19), así como el porcentaje de reducción de CO₂ que ha supuesto esta nueva tecnología, a saber:

- 79,5% menos de CO₂ en la lechería del ITCR-SSC, pasándose de 165 kg mensuales, a 34 kg.
- 83,3% menos de CO₂ en el caso de la del ETAI, de 11,4 kg a apenas 2 kg mensuales.
- 99,6% menos de CO₂, prácticamente total reducción, pasándose de 2.268 kg cada mes procedente de la quema de leña, a 12,4 kg únicamente por el uso puntual de la caldera auxiliar de gas L

Tabla 17. Lechería del ITCR-SSC.

Comparación del consumo energético mensual y la cantidad de CO₂ equivalente cuando procedía únicamente de la red eléctrica, con la producción actual de los sistemas solares y la consiguiente reducción porcentual de la emisión de CO₂. Nótese cómo se ha reducido el consumo procedente de la red eléctrica. Únicamente se recurre a ella a través del sistema auxiliar de los termosifónicos (para calentar el agua hasta la temperatura deseada) y para asegurar el suministro eléctrico que el FOTOVOLTAICO por sí mismo no podría satisfacer a toda la lechería.

Origen energía	Uso	Antes		Ahora			
		Red eléctrica		ST-híbrido termosifónico		Sistema FOTOVOLTAICO	
		Consumo (kWh/mes)	CO ₂ a la atm. (kg/mes)	Producción (kWh/mes)	CO ₂ a la atmósfera (kg/mes)	Producción (kWh/mes)	CO ₂ a la atm. (kg/mes)
Red eléctrica	·Iluminación y refrigeración	3.000	165	Sist. auxiliar	Sist. auxiliar	320	17,6
	·Calentar agua			295	16,2		
Sol	·Consumo eléctrico	-	-	-	-	203,6	0
	·Calentar agua	-	-	140,3	0	-	-
Total		3.000,0	165,0	140,3	16,2	523,6	17,6

Porcentaje de reducción de CO₂ **79,5%**

Tabla 18. Lechería de la ETAI.

Comparación del consumo energético mensual y la cantidad de CO₂ equivalente cuando procedía únicamente de la red eléctrica, con la producción actual del sistema solar y la consiguiente reducción porcentual de la emisión de CO₂. Nótese cómo se ha reducido el consumo procedente de la red eléctrica. Al igual en el ITCR-SSC, únicamente se recurre a ella a través del sistema auxiliar para calentar el agua hasta la temperatura deseada.

Origen energía	Uso	Antes		Ahora	
		Red eléctrica		ST-híbrido termosifónico	
		Consumo (kWh/mes)	CO ₂ a la atmósfera (kg/mes)	Producción (kWh/mes)	CO ₂ a la atmósfera (kg/mes)
Red eléctrica	·Calentar agua	206,7	11,4	Sist. auxiliar 35	Sist. auxiliar 1,9
Sol	·Calentar agua	-	-	172,2	0
Total		206,7	11,4	206,7	1,9

Porcentaje de reducción de CO₂ **83,3%**

Tabla 19. Planta de procesados lácteos LLAFRAK.

Comparación del consumo energético mensual y la cantidad de CO₂ equivalente cuando procedía únicamente de la quema de leña, con la producción actual del sistema solar y la enorme reducción porcentual de la emisión de CO₂. Sólo se activa la caldera de gas LP cuando la temperatura del agua en el sistema es menor a la que se está demandando.

Origen energía	Uso	Antes		Ahora	
		Caldera de leña		ST-híbrido forzado	
		Consumo (kg/mes)	CO ₂ a la atmósfera (kg/mes)	Producción (kWh/mes)	CO ₂ a la atmósfera (kg/mes)
Madera	Calentar agua	2.268	3.855,5	-	-
Gas LP	Calentar agua	-	-	Sist. auxiliar 52,9	Sist. auxiliar 12,38
Sol	Calentar agua	-	-	194,1	0
Total		2.268,0	3.855,5	247,0	12,4

Porcentaje de reducción de CO₂
99,6%

Como bien es sabido, un 7% de la energía producida en Costa Rica se genera con fuente térmica, mientras que el 93% de la energía generada en el país procede de fuentes no fósiles (ICE, 2010). Esto hace que en la lechería del ITCR-SSC o de la ETAI, la cantidad de CO₂ que se evita emitir a la atmósfera cuando antes se usaba electricidad, no es tan significativo como puede serlo en la de otros países más dependientes de los combustibles fósiles. Es decir, que a nivel de emisiones de GEI, pudiera parecer que la mejora no es tan importante en estos sitios, puesto que la electricidad que se usaba procedía en gran parte de renovables.

No obstante, aunque las centrales hidroeléctricas no contaminen, esto no significa que no supongan un impacto ambiental sobre las regiones donde se construyen. Desvíos de los ríos e impacto directo sobre el microclima y fauna piscícola, deforestación y expropiación de tierras por inundación, son algunas de sus consecuencias más negativas. Esto permite comprobar que la energía solar se destaca por ser una tecnología sostenible, viable y factible en diversos usos domésticos, industriales y en aplicaciones tecnológicas (Iglesias-Ferrer y Morales-Salas, 2013).

En el caso de la planta de productos lácteos de LLAFRAK, y también en la de San Bosco (Fig. 43) la mejora sí es muy significativa, ya que al dejar de consumir leña se dejó también de talar árboles para ese propósito y la de que se estuviera emitiendo más de 80 kg de humo al día.



Figura 43. Antigua caldera de leña improvisada en San Bosco

Mantenimiento

Al estar expuestos al aire libre, los paneles pueden ensuciarse por múltiples causas: polen de plantas y árboles, depósitos de sal en zonas costeras, polvo en zonas urbanas, hojas y otros residuos vegetales y como no, excrementos de aves (Fig. 44). Cualquiera de estos factores de forma independiente al resto, podría ocasionar una reducción de la cantidad de electricidad producida, así que la limpieza de los paneles es fundamental en todos los casos.

A la hora de limpiar los paneles solares es importante recordar no usar detergentes abrasivos ni útiles de limpieza ásperos que puedan dañar permanentemente la superficie del panel reduciendo su capacidad productiva. Incluso se debe tener en cuenta la calidad del agua que se use, puesto que si el agua es de pozo o es agua de red con aguas duras, al secarse dejarán sobre el panel una película de sales minerales, lo cual reduce también su eficiencia.

La mejor manera de limpiar un panel solar es usar una esponja o gamuza suave, y un cubo con agua en el que se diluya una pequeña cantidad de jabón, de tal forma que sea fácil aclararlo, sin correr el riesgo que queden restos.

A pesar de que la lluvia pueda en ocasiones ayudar en algo en la limpieza de los paneles solares, lo aconsejable es **limpiarlos entre 3 y 4 veces al año** para que sigan a pleno rendimiento.



Figura 44. Mantenimiento.

Algunas de las causas más comunes de que los paneles se ensucien: excremento de ave (Fuente: energiasrenovablesinfo.com)

Recomendaciones de uso

Como se ha visto, la energía solar es una excelente opción para proveer de electricidad y agua caliente de forma limpia a instalaciones ganaderas que no tengan acceso a la red eléctrica, o bien que su factura sea muy elevada. Ahora bien, antes de decidirse a instalar placas solares del tipo que sea, hay que comprobar su viabilidad y posible rentabilidad.

Costa Rica es un país que, por su cercanía al ecuador, presenta radiación bastante alta como resultado de la perpendicularidad de los rayos solares. Sin embargo, debido a la nubosidad de algunas regiones, hay que tener presente que la instalación que se requiere en Guanacaste, por ejemplo, no va a ser igual que la que se pueda instalar en San Carlos. La instalación de Guanacaste seguramente será más pequeña y tendrá más eficiencia que la otra. En términos simples, la instalación de Guanacaste es más rentable y se amortiza más rápido que la de San Carlos. Pero no significa que la de San Carlos no funcione, como ya hemos podido comprobar.

Lo más importante antes de implantar un sistema solar, ya sea fotovoltaico o térmico, es calcular de forma adecuada la instalación en función de las necesidades, y tener presente que la radiación del Sol es variable, por lo que es conveniente acompañarla con acumuladores si lo que se quiere es mayor autoconsumo.

A la luz de los datos analizados, vemos que los paneles fotovoltaicos producen una media de más de 200 kWh por mes. Una vivienda promedio consume aproximadamente entre 350 y 400 kWh, por lo que un sistema fotovoltaico como el instalado en la lechería del ITCR-SSC permitiría ahorrar la mitad de la factura eléctrica (habrá meses que incluso se ahorre más). El mismo beneficio se obtendría si se sustituye el sistema eléctrico para ducha caliente (consume más electricidad y representa hasta un 40% de la factura eléctrica de una casa) por un ST de colectores solares que provea de agua caliente. Recordemos que para las operaciones de limpieza de equipos y pasteurización se requería agua a 70°C, pero para ducharse no haría falta tanta temperatura. El Sol ofrece en este caso la energía suficiente para calentar el agua y saldría completamente gratis.

Es muy comprensible que, para un sólo productor, la inversión inicial de estos sistemas suponga un obstáculo. Sin embargo, para fincas que tengan un consumo de electricidad muy alto, o de otra fuente de energía para sus procesos agropecuarios (sea gas, intercambiadores de calor, diésel, etc.), la alternativa solar es más rentable a largo plazo (mucho antes en los térmicos), y además ofrece al productor la posibilidad de incorporar un sello ecológico por respeto al medioambiente en sus productos. Mucho más rápida es la inversión si son varios los productores que se unen y salen beneficiados conjuntamente de la energía generada por el Sol. Por ejemplo, un 35% de ahorro en la factura eléctrica como ocurre en la lechería del ITCR, supone para una finca que paga mensualmente ¢500.000, un ahorro de ¢17.500, ahorro que puede destinarse a otros insumos.

Conclusiones

Se ha demostrado en este trabajo la eficiencia de los sistemas solares como alternativa para la generación de **energía limpia**. Estos pueden ser aplicados en las explotaciones agropecuarias de Costa Rica u otras partes del mundo porque contribuyen a disminuir el efecto invernadero y la factura energética. **La inversión se recupera actualmente en 6-9 años, con una vida útil que sobrepasa los 25 años.** En concreto, para las unidades evaluadas tenemos que:

- Los sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad y de los híbridos-termosifónicos para calentamiento del agua generaron 203,6 y 140,3 kWh por mes, respectivamente. Esta energía supuso un 35% del consumo eléctrico anual de la lechería (ahorro de ¢50.000 al mes, como mínimo), y la capacidad de poder calentar el agua hasta los 50°C con cero emisiones de contaminantes a la atmósfera. La producción es incluso más eficiente en la lechería de la ETAI, dado el menor volumen de consumo que permite disponer de agua caliente durante más tiempo y el consiguiente ahorro económico que es de más del 80% mensual.

- En las plantas procesadoras de leche de LLAFRAK y San Bosco, el hecho más notable es la enorme cantidad de humo que se ha dejado de emitir (prácticamente el 100%) y el consiguiente ahorro en insumos y mano de obra que suponía su antigua caldera de leña, lo cual se traduce en un ahorro de ¢166.250 mensuales. Además, el equivalente energético para calentar el agua triplica a las otras dos lecherías, ya que el incremento de temperatura del agua a partir del sol es alto. Las condiciones meteorológicas de poca nubosidad en Santa Rosa de Pocosol fueron determinantes.

Se demuestra, además, que los sistemas solares se convierten en una posibilidad para los productores agropecuarios costarricenses de incorporar un sello ecológico a sus productos para mejorar su imagen pública y distinguirlos de la competencia.

CAPÍTULO

CAPÍTULO VII

CAPACITACIONES A
PRODUCTORES DE DOS PINOS

El 24 de mayo de 2016 comenzó la primera capacitación a productores de la Cooperativa Dos Pinos, como parte del Programa conjunto ITCR-CEBS (Comité de Educación y Bienestar Social), con los siguientes objetivos:

1°. Transferir los resultados del uso de los sistemas solares térmicos y fotovoltaicos instalados en el área demostrativa didáctica de la lechería del ITCR-SSC.

2°. Realizar un diagnóstico de los posibles actores para el uso de estos sistemas.

Hasta la fecha, hemos recibido a un total de 90 productores, procedentes de **Fortuna** (24 de mayo 2016, 16 asistentes), **Zarcero** (28 de junio de 2016, 11 asistentes), **Río Frío** (26 de julio de 2016, 22 asistentes), **Aguas Zarcas** (23 de agosto de 2016, 26 asistentes) y **Tilarán** (4 de octubre de 2016, 15 asistentes).

Al inicio de la capacitación, se les entregaba una encuesta para conocer el área de su finca, cabezas activas de ganado, producción diaria de leche, costo mensual de electricidad y el tipo de energía que utilizaban para calentar el agua (Tabla 20), así como si eran conocedores de la tecnología solar aplicada en fincas a (Fig. 45) y la predisposición para su uso de ser una alternativa sostenible (Fig. 46).

Los resultados de las encuestas indican que estos productores son propietarios de fincas ganaderas donde cada cabeza provee entre 12 y 16 kg de leche diaria. No obstante, el costo eléctrico mensual difiere en cada una de ellas, debido principalmente al tipo de energía que utilizan para consumir electricidad o agua caliente. Respecto a esto último, en las fincas donde se utiliza más las resistencias eléctricas el precio por cabeza es más caro (caso de la Fortuna) que en aquellos donde hay más consumo de gas e intercambiadores de calor⁶ (Río Frío y Zarcero, respectivamente). En cualquier caso, el uso de energía solar en fincas agropecuarias es minoritario, a pesar de que en todas las encuestas, más de la mitad de los productores conocían el uso de energías renovables en finca, y que prácticamente todos la utilizarían de ser una alternativa sostenible con el medioambiente.

Tabla 20. Respuestas a las encuestas realizadas a los productores de Dos Pinos que asistieron a los días de capacitación en el ITCR-SSC.

Preguntas	Procedencia					
	Fortuna	Zarcero	Río Frío	Aguas Zarcas	Tilarán	
Área promedio (ha)	29	34	60	18	123	
Cabezas activas de ganado	66	85	100	57	124	
Kg de leche diarios	791	1415	1600	728	2045	
Costo eléctrico mensual (¢)	182.000	135.909	150.000	140.000	256.000	
Sistema para calentar el agua	Resistencias eléctricas	50	9	40	58,3	27,2
	Gas	12,5	12,5	22,5	16,6	27,2
	Intercambiadores de calor	12,5	36	12,5	0	9
	Energía Solar	12,5	9	12,5	8,3	27,2
	Ninguno	12,5	9	12,5	16,8	9,4
Kg de leche/cabeza	12,0	16,6	16,0	12,8	16,5	
Costo/cabeza	2.757,6	1.598,9	1.500,0	2.456,1	2.064,5	

⁶ Un intercambiador de calor es un componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido. Por ejemplo, acoplado un depósito de agua al compresor de un refrigerador - el cual libera calor como subproducto (el que "quita para enfriar") -, se puede calentar agua. De esa manera, el calor del compresor no se desperdicia.

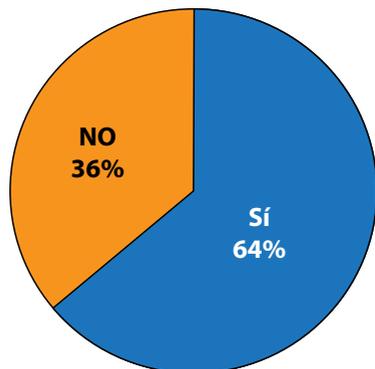


Figura 45. Respuesta porcentual a la pregunta "¿conoce ud. el uso de sistemas renovables en finca?"

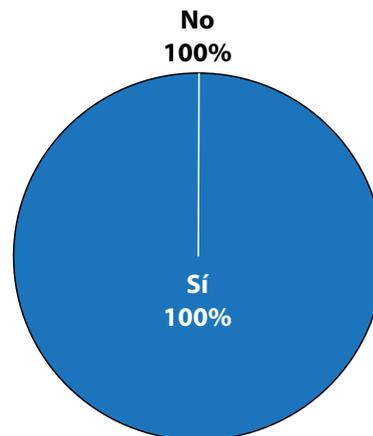


Figura 46. Opinión a priori para usar alternativas de energía limpias.

Al finalizar la capacitación, se les volvía a entregar otra encuesta, esta vez para que evaluaran a los docentes del ITCR respecto a la profesionalidad de la capacitación, tanto en el aula como en la gira demostrativa al área de los sistemas solares (Fig. 47). La gran mayoría valoraron la jornada como excelente y muy buena.

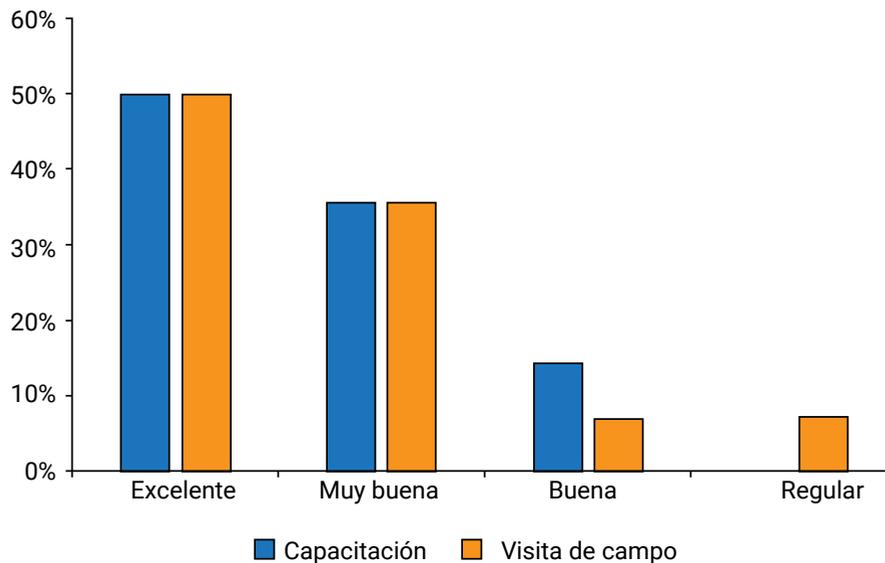


Figura 47. Valoración porcentual a los docentes por la capacitación en aula y campo.

Preguntas frecuentes

¿Y qué pasa de noche?

No pasa nada, el agua se mantiene caliente gracias a que el depósito está aislado térmicamente. Digamos que el sistema es capaz de almacenar el calor durante la noche. Es más, si hay cortes de luz, el productor continúa teniendo agua caliente.

¿Pueden funcionar los paneles fotovoltaicos en días nublados?

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad incluso en días nublados, aunque su rendimiento disminuye. La producción de energía eléctrica varía linealmente con la luz que incide sobre el panel; un día totalmente nublado equivale aproximadamente a un 10 % de la intensidad total del sol. Y si llueve, las placas se limpian.

¿Y si hay nublado varios días seguidos?

Los sistemas térmicos necesitan siempre una fuente de apoyo para completar el trabajo de la energía solar, en este caso tendría que trabajar el sistema de apoyo.

Entonces, ¿Si no puedo prescindir de una caldera, para qué poner los paneles?

Si la instalación está bien diseñada, el sistema de apoyo sólo entrará en los momentos más fríos. Incluso en estos momentos, el sol aportará buena parte de la energía necesaria y el resto lo aportará el sistema de apoyo por lo que el consumo de gas o electricidad se reducirá notablemente.

¿Por qué hay meses cuando los paneles fotovoltaicos tienen menores eficiencias?

Porque la eficiencia de los mismos depende de la temperatura de las placas. Para la producción de energía lo que se busca es la máxima eficiencia. En el caso de los paneles solares, esto se consigue cuando la temperatura de las células fotovoltaicas alcanza una temperatura óptima alrededor de los 25 °C. En las zonas donde la incidencia de radiación es mayor, dicha temperatura óptima se supera disminuyendo el rendimiento de las placas solares.

Una forma de poder resolver el problema de la eficiencia en los paneles fotovoltaicos sería ubicarlos en lugares bien ventilados con una buena velocidad de viento, otra sería acoplarle un radiador de aluminio con aletas de refrigeración al panel FOTOVOLTAICO; el propio viento disminuirá la temperatura en las celdas fotovoltaicas.

La **eficiencia** de los paneles fotovoltaicos que existen en el mercado están comprendidos entre un 10 a 25 %. Comparada con la energía solar total sólo se aprovecha la cuarta parte de ésta en forma de electricidad. Aún más, esta eficiencia se reduce cuando hay un aumento de temperatura en las celdas fotovoltaicas.

Entonces, ¿qué sistema es más eficiente?

En términos energéticos de kWh, significativamente son más eficiente los paneles fotovoltaicos, pues producen más kWh de energía por metro cuadrado que los térmicos. Ahora bien, la **energía calorífica** que aportan los térmicos para calentar el agua es suficiente para elevar su temperatura en un promedio de 30°C, lo que supone tres cuartas partes de la energía necesaria para alcanzar la temperatura demandada (70°C). La **energía eléctrica** que generan los fotovoltaicos supone un 20% aproximadamente del consumo anual de luz.

¿Qué es eso de sistema auxiliar?

El sistema energético auxiliar está diseñado con resistencias eléctricas que serán activadas sólo y cuando la temperatura del agua sea inferior a lo que los consumidores requieren, que es de unos 70°C, acción que se ejecuta por medio de un termostato de inmersión.

¿Cuánto vale una instalación de placas solares térmicas?

Orientativamente una empresa especializada puede cobrar desde 500 a \$1.500 por m².

¿En cuánto tiempo se amortiza?

Las instalaciones solares rondan los 6-9 años de amortización. Esto dependerá de la zona geográfica, del tamaño de la instalación y de la fuente de energía a la que estamos sustituyendo. En Costa Rica, si estamos sustituyendo electricidad, la amortización será más rápida que si estamos sustituyendo sistemas a gas.

De todas formas, la tendencia del precio de la electricidad y del gas es al alza por lo que los sistemas solares nos inmunizan en gran medida de dichas subidas dándonos una independencia que, para muchos, es una de las mayores ventajas de estos sistemas. Los precios de los equipos han venido descendiendo en los últimos años debido a aspectos ligados con la economía de escala en la fabricación de dichos equipos, cuya demanda ha crecido exponencialmente en los últimos años a nivel mundial (Fig. 48).

Además, la vida útil de los mismos sobrepasa los 25 años y el costo de mantenimiento es bajo (tan sólo se requiere mantener la superficie de los mismos limpia).

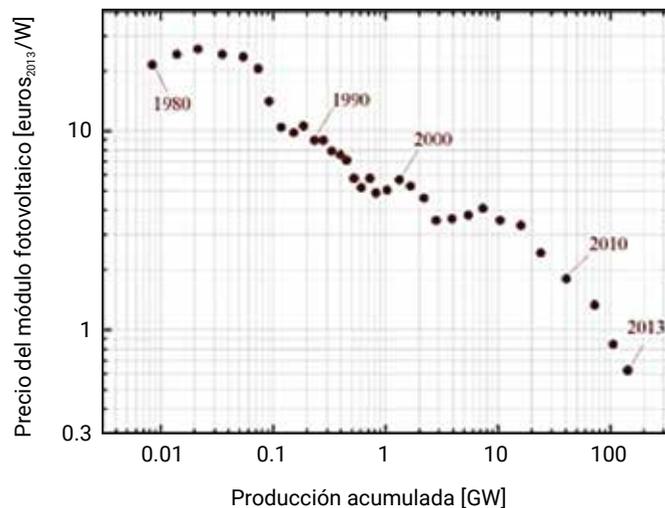


Figura 48. Precio del panel fotovoltaico de panel plano (en euros por vatio pico) en función de la producción acumulada (Breyer y Gerlach, 2013).

¿Qué beneficios tiene instalar energía solar?

- a. Supone un importante ahorro de combustible.
- b. Permite reducir la emisión de gases productores de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.
- c. Al reducir las emisiones de contaminantes, contribuye a una mayor limpieza del aire y a prevenir enfermedades respiratorias.
- d. Reduce la dependencia energética del Estado respecto a terceros países.
- e. Genera empleo y contribuye a dinamizar la economía.
- f. Aporta valor añadido, mejorando la imagen pública.
- g. El costo diferencial de la instalación se amortiza a medio plazo (No puede decirse lo mismo de una instalación convencional).



BIBLIOGR

Bibliografía

- ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE ENERGÍA SOLA [ACESOLAR] (2013). Mapa Radiación Solar en Costa Rica. Recuperado de: <http://www.acesolar.org/mapa/>
- AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA [AIE]. (2010). Las emisiones de CO₂ por kWh de electricidad y calor. Sunearthtool.com. Recuperado de: <http://www.sunearthtools.com/es/tools/CO2-emissions-calculator.php>.
- AIE (2016). Key World Energy Trends. Recuperado de: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorldEnergyTrends.pdf>
- ALVARADO, F.; CONTRERAS, W.; ALFARO, M.; Y JIMÉNEZ, E. (2012). Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica. Recuperado de: http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/escenarios_de_cambio_climatico_digital_0.pdf
- BENÍTEZ-SALAZAR, V.H.; G.A., TORRES; L.A. GÁMEZ.; J.H., PACHECO. (2013). Sistema FOTOVOLTAICO de iluminación solar. Epistemus 15: 86-92.
- BESNIER, F. (1980). La energía solar en agricultura. Hojas divulgadoras, 11:12-80.
- BLANCO, M. (2001). Comunicación electrónica 03.08.01. Red de Desarrollo Rural (REDAR), CR.
- BLANCO, J. Y E., GONZÁLEZ (2014). Recomendaciones para ampliar la participación de la energía solar fotovoltaica en Costa Rica. Perspectivas FES Costa Rica (n9). Recuperado de: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/11123.pdf>
- BREYER, C AND A. GERLACH. (2013) Progress in Photovoltaics. Research and Applications. 21(1):121–136.
- CÁMARA DE INDUSTRIA DE COSTA RICA [CICR] (2016). Futuro del sector y expectativas de tarifas eléctricas y de combustibles. Recuperado de: http://www.cicr.com/wp-content/uploads/2016/07/m.MR_Tarifas_Electricas_Carlos_Montenegro_CICR.pdf
- CÓRDOBA, J. Y A. MOREIRA (2014). Ensayo de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales del sector de ordeño para tambos de baja escala. Recuperado de: <https://contactorural.wordpress.com/2014/04/07/ensayo-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales-del-sector-de-ordeno-para-tambos-de-baja-escala/>
- DE LA VEGA, J.A. (2016). Fotosíntesis. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/jdelavegal/fotosintesis>
- DELTA VOLT (2016). Paneles Solares, Tipos y Eficiencias. Recuperado de: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>
- DIRECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO [DCC] (2012). Cambio climático. ¿Cómo nos afecta? Recuperado de: <http://cambioclimaticocr.com/2012-05-22-19-44-14/como-nos-afecta>.
- DIRECCIÓN SECTORIAL DE ENERGÍA [DSE] (2012). Balance energético nacional de Costa Rica. Recuperado de: <http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/02Estadisticas/balances/DocumentoBalance2011.pdf>
- DOYNE J. Y LAFOND F. (2016). How predictable is technological progress? El Sevier 45:3, pp. 647-665.
- ESPEJO-MARÍN, C. (2004). La energía solar fotovoltaica en España. Nimbus 13-14: 5-31.
- GONZÁLEZ, J. (2009). Energías renovables. Editorial Reverté SA, ESP.

- GRANADOS, L.G. Y C.J., ALVAREZ (2001). Estudio introductorio sobre la viabilidad del sistema de denominaciones de origen de los productos agroalimentarios en Costa Rica. Requisito de la Maestría en Gestión de Desarrollo Rural de la Universidad de Santiago de Compostela, ESP y la Universidad de Trans-Os-Monte e Alto Douro, POR.
- HENLEY, E.J. (1973). Sistemas de unidades. En Henley EJ & Rosen EM (Ed.). Cálculo de balances de materia y energía (pp. 31-34). Editorial Reverté SA, ESP.
- IGLESIAS J.M. Y J. MORALES (2013). Dimensionado de un ST solar mediante simulación y su validación energética. *Ingeniería Energética* 34: 55- 65.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD [ICE]. (2010). Costa Rica: matriz eléctrica. Recuperado de: https://www.kolbi.cr/wps/wcm/connect/8823524c-7cc7-4cef-abdea1f06e14da0e/matriz_folleto_web2.pdf?MOD=AJPERES&CVID=I8SK4gG.
- ICE (2015 a). Índice de cobertura eléctrica 2015. Recuperado de: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/10261169-f251-465d-9b95-0b17c7baa49e/Cobertura+2013.pdf?MOD=AJPERES&attachment=false&id=1453148700496>
- ICE (2015 b). Tarifas del ICE. Alcance Digital, 73.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL [IMN] (2016). Promedios mensuales de datos climáticos. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>
- LIRA, J. (2014). Latinoamérica duplicó sus emisiones agrícolas de gases de efecto invernadero en 50 años. Recuperado de: <http://gestion.pe/economia/latinoamerica-duplico-sus-emisiones-agricolas-gases-efecto-invernadero-50-anos-2104769>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA [MINAE] (2015). Regulación para la Generación Distribuida. Recuperado de: <http://www.minae.go.cr/index.php/en/190-regulacion-para-la-generacion-distribuida>
- MINISTERIO DE AMBIENTE, INDUSTRIA Y TELECOMUNICACIONES [MINAET] (2011). VI Plan Nacional de Energía 2012-2030. Recuperado de: http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/01PoliticaEnerg/VI_Plan_Nacional_de_Energia_2012-2030.pdf
- MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN [MIDEPLAN] (2013). Costa Rica. Índice de Desarrollo Social. Recuperado de www.mideplan.go.cr.
- MONTENEGRO, C. (junio, 2016). Tarifas en Electricidad y Combustibles para el año 2017: ¿apoyarán o empeorarán la competitividad de la industria? En VII Congreso Nacional de Energía: Futuro del sector y expectativas de tarifas eléctricas y de combustibles. Dirigido por la Cámara de Industrias de Costa Rica. San José, CR. Recuperado de: http://www.cicr.com/wp-content/uploads/2016/07/m_MR_Tarifas_Electricas_Carlos_Montenegro_CICR.pdf
- NEIRA, M. (2003). En qué dirección va la seguridad alimentaria. *Revista Española de Salud Pública*, 77: 307-311.
- PLANEACIÓN, OPERACIÓN Y ACCESO AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL [AR-NT-POASEN] (2014). Instituciones descentralizadas. Autoridad reguladora de los servicios públicos. Alcance Digital, 12.
- ROCKSTRÖM, J., W. STEFFEN, K. NOONE, A. PERSSON, and F.S. CHAPIN (2009). A safe operating space for Humanity. *Nature*, 461, pp. 472-475.
- SÁNCHEZ, M. F. (2016). Valoración socio-económica y ambiental de la implementación de una Tecnología Solar Híbrida en la Planta de Productos Lácteos LLAFRAK. Juanilama de San Carlos, Costa Rica (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

- SCHONEWILLE, B.D. AND I. ANDERTON (2005). Vuntut Gwitchin First Nation Community Energy Baseline Study. Edi Environmental Dynamics Inc., Whitehorse (Canada). Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.651.5555&rep=rep1&type=pdf>
- ULATE, L. (2001). Comunicación electrónica 31.07.01. Ministerio de Economía Industrial y Comercial, CR.
- VIRIDIAN SOLAR (2016). A guide to solar energy. Recuperado de: http://www.viridiansolar.co.uk/Solar_Energy_Guide_3_3.htm
- WILLER, H. AND M., YUSSEFI (2001). Organic agriculture worldwide. Statistics and future prospects. Stiftung Ökologie & Landbau: Bad Dürkheim, ALE. SÖL Sonderausgabe, 74: 133.

ANEXO

Anexo

1. Datos climáticos

Tabla anexo 1. Promedios mensuales de datos climáticos (estaciones mecánicas).

[Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, Departamento de Información. Año 2016]. Estación n° 69 579 ITCR-SSC Santa Clara. Latitud 10° 21' Norte / Longitud 84° 30'Oeste / Altitud. 170 msnm.

Elementos	Períodos	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media	Total
Lluvia (mm)	1983-2015	200,3	117,4	91,1	70,6	279,7	376,4	431,1	392,4	381,7	385,1	369,6	287,7	281,9	3.383,1
T. Máx. (°C)	1984-2015	28,9	29,7	30,7	31,7	31,2	30,3	29,5	30,1	30,6	30,2	28,8	28,4	30,0	
T. Min.(°C)	1984-2015	20,3	20,0	20,1	20,6	21,9	22,2	22,2	21,8	21,5	21,6	21,4	20,9	21,2	
T. Med. (°C)	1984-2015	24,6	24,9	25,4	26,2	26,5	26,2	25,9	25,9	26,1	25,9	25,1	24,6	25,6	
Humedad (%)	1983-2015	83,5	79,3	76,8	77,3	84,0	87,1	88,0	87,2	85,7	86,2	87,8	86,9	84,2	
Vel. Viento (Km/h)	1983-1998	8,9	9,6	8,8	7,5	6,2	5,2	6,1	5,7	4,9	4,5	5,5	7,5	6,7	
Radiación (MJ/m ²)	1987-2001	13,8	15,6	15,6	15,4	15,4	14,0	13,6	13,9	14,5	14,3	12,9	12,4	14,3	171,4
Viento dirección predominante		Norte													
promedio días con lluvia >= 0,1 mm		17	11	10	10	21	26	28	26	27	26	24	22		248,0

2. Proyectos en trámite

Secadores solares.

El secado al sol ha sido usado desde tiempos inmemorables por el hombre dada la disponibilidad de la energía solar, no sólo en la conservación de productos agrícolas, sino que también en la industria textil, de cemento, ladrillos de barro, azulejos, madera, tratamiento de biomasa y de aguas residuales. Sin embargo, es un proceso laboriosamente intensivo que requiere grandes áreas para exponer el producto y largos períodos de tiempo para completar la operación, puesto que depende directamente de las condiciones atmosféricas de la zona y de la época cuando se realiza. En este aspecto, el invierno en la zona norte es la estación más difícil para el correcto secado si se realiza de la manera tradicional, dado el menor



número de horas de sol, por lo que se incrementa los problemas de proliferación de moho durante el proceso, afectando la calidad de los productos finales. A todo ello se suma la vulnerabilidad por estar a la intemperie, de presentar contaminación por insectos, roedores, aves, falta o sobre secado de los productos, pérdida de color, sabor, olor, etc.

Debido a estas desventajas, se ha buscado métodos de secado alternativos que sean económicos, efectivos e higiénicos. En este sentido, los secadores térmicos solares son económicamente efectivos, son una opción absolutamente higiénica y no requieren una inversión inicial alta para su instalación. Además, los secadores térmicos solares pueden mejorar significativamente la calidad de los productos finales, ahorran tiempo, ocupan menos espacio, hacen el proceso más eficiente y protegen el ambiente.

Actualmente en Costa Rica el uso de la energía solar térmica en los sistemas agrícolas es desconocido, debido a la falta de concienciación de la efectividad económica de los sistemas de secado térmico solar, la falta de buena información técnica y la buena experiencia práctica. La Política de estado para el sector agroalimentario y el desarrollo rural costarricense 2010-2021, orienta y rige las acciones de corto, mediano y largo plazo del sector agroalimentario y la institucionalidad que lo apoya, en sus Pilares I y II, relacionados con la competitividad, innovación y desarrollo tecnológico establecen áreas estratégicas relacionadas con el desarrollo de infraestructura de apoyo a la producción y de capacidades para la innovación. Por medio de estas estrategias se puede impulsar la implementación de estos sistemas en las unidades productivas agrícolas.

He aquí dos proyectos de **secadores solares** que hay actualmente en trámite:

a) **Aplicación de tecnologías solares térmicas para el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Huetar Norte de Costa Rica.**

El objetivo del presente proyecto consiste en implementar el sistema de secado térmico solar para el cultivo de granos, especialmente cacao, en la comunidad de Katira y San Rafael de Guatuso, en la Región Huetar Norte, donde se encuentran los productores afiliados a la ASOPAC (Asociación de Productores de Cacao Agro Ambientalistas de Guatuso).

Este proyecto estará financiado por la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (FITACORI-MAG).

b) Aplicación de tecnologías solares térmicas para el secado de la pimienta (*Piper nigrum* L.) en la Región Huetar Norte de Costa Rica.

El CEPROMA Laki, administrado por la Asociación de Productores de Pimienta de Sarapiquí (APROPISA), se ha especializado en el proceso de pimienta negra y blanca, la cual acopia para luego ser vendida en el mercado nacional. Actualmente, APROPISA cuenta con un mercado estable y buen precio, pero le falta capacidad de producción en planta y los costos del actual horno de secado resulta excesivo para los volúmenes que manejan. El ITCR trabajará a través del INDER para que se les apoye en aumentar la rentabilidad y calidad de su producción con la implantación de un secador térmico solar. El papel que juega APROPISA es clave para el mejoramiento no sólo de las condiciones de vida de las familias que están alrededor de la producción, sino también en el impacto de la actividad como fuente de empleo e ingresos.

El proyecto consiste en diseñar, construir y validar para APROPISA un secador solar térmico para secado de pimienta. Éste consistirá en un flujo constante de aire seco y respaldo de gas LP, con un sistema de control automatizado que regulará la constancia de la temperatura y el tiempo de flujos.

Mediante la aplicación de estos sistemas en la unidad de secado de APROPISA se pretende lograr una gran mejoría en la eficiencia y rentabilidad del proceso de secado e incorporar un sello distintivo de usar tecnología limpia en su producción, cosa que no se da con el actual horno de secado, el cual está repercutiendo muy negativamente por su elevado costo.

Este proyecto también hará hincapié en el trabajo de validación, extensión y aplicación de estos sistemas de unidades agropecuarias en la Región Huetar Norte de Costa Rica y estará financiado por el Instituto de Desarrollo Rural (INDER) de Costa Rica.

Con estas propuestas, se pretende capacitar y ayudar a los productores interesados a mejorar sus sistemas productivos, la calidad de sus productos y labor diaria, otorgando un valor agregado que les permita ser más competitivos y recibir un mejor incentivo económico por su trabajo.

3. Proyectos privados

Finca El Tremedal S.A. (San Carlos de Costa Rica)

La finca El tremedal es una empresa dedicada al cultivo de piña para exportación, que lleva en activo desde el año 1991. El producto se comercializa en destinos de Estados Unidos y Europa. La política de la empresa es la de ofrecer un producto de calidad, tomando en cuenta aspectos importantes como la salud del colaborador y el medio ambiente. Para esto cuenta actualmente con la certificación "GlobalGAP" y la certificación de la norma de responsabilidad social SA 8000, prácticas que permiten el equilibrio entre patrono-colaborador-ambiente-mercado.

En agosto de 2015 instalaron 108 módulos fotovoltaicos de 27,54 kW de potencia con el objetivo de desarrollar energía a partir del sol basado en la prevención de CO₂ y cero impacto ambiental.



Foto: Archivo Tremedal S.A.

Los paneles fotovoltaicos suministran electricidad para autoconsumo en áreas de oficinas, taller, bodegas y pozos perforados, y actualmente les está suponiendo un ahorro mensual de más del 80% de la factura eléctrica (Tabla anexo 1).

Tabla anexo 2. Producción eléctrica de los paneles fotovoltaicos instalados en la finca El Tremedal y el ahorro energético equivalente.

Mes	Producción (kWh)	Pago (kWh)	Ahorro (%)	Venta al ICE (kWh)
Ago-15	341	138	71,2	0
Sept-15	856	424	66,9	0
Oct-15	677	350	65,9	0
Nov-15	702	108	86,7	0
Dic-15	1.084	0	100,0	59,0
Ene-16	655	0	100,0	90,1
Feb-16	841	0	100,0	52,9
Mar-16	1.046	0	100,0	61,0
Abr-16	1.011	77	92,9	0
May-16	690	677	50,5	0
Jun-16	767	637	54,6	0
Jul-16	669	398	62,7	0
Ago-16	624	33	95,0	0
Promedio	766,4	218,6	80,5	20,2