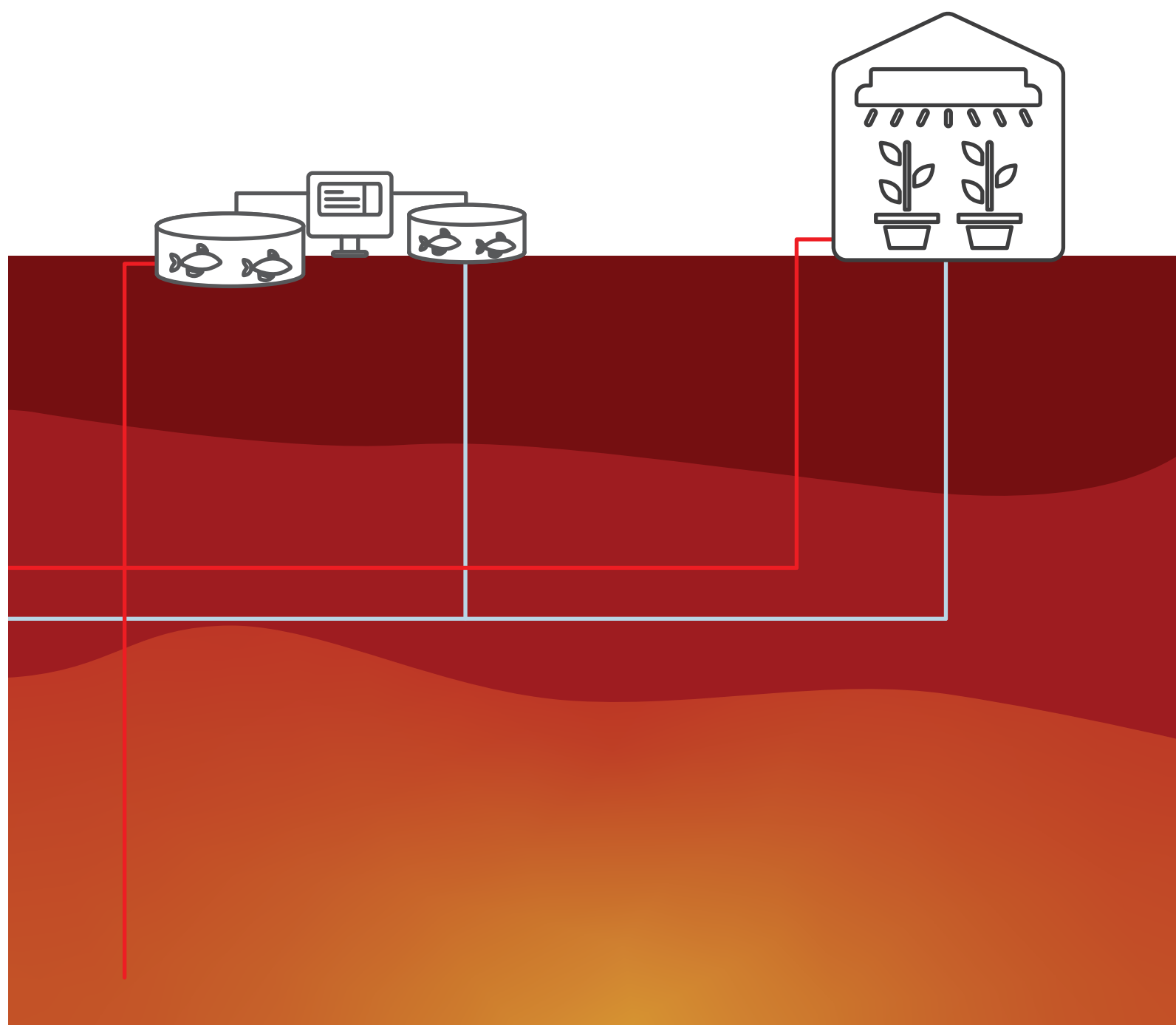


Potenciar las cadenas de valor agroalimentarias con calor geotérmico

Una guía para los encargados de formular políticas



Copyright © IRENA 2022

A menos que se especifique lo contrario, el material de esta publicación puede usarse, compartirse, copiarse, reproducirse, imprimirse o almacenarse libremente, siempre que se reconozca adecuadamente a IRENA como fuente y titular de los derechos de autor. El material contenido en esta publicación que se atribuye a terceros puede estar sujeto a condiciones de uso y restricciones independientes, y deberán obtenerse los permisos adecuados de dichos terceros antes de hacer cualquier uso de ese material.

ISBN: 978-92-9260-445-5

Cita de referencia: IRENA (2022), *Potenciar las cadenas de valor agroalimentarias con calor geotérmico: Una guía para los encargados de formular políticas*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi.

Esta traducción de "*Powering agri-food value chains with geothermal heat: A guidebook for policy makers*" ISBN: 978-92-9260-441-7" (2022). En caso de discrepancia entre esta traducción y el original en inglés, prevalecerá el texto en inglés.

Acerca de IRENA

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) es una organización intergubernamental que apoya a los países en su transición hacia un futuro energético sostenible y actúa como la principal plataforma de cooperación internacional, centro de excelencia y repositorio de conocimiento sobre políticas, tecnologías, recursos y conocimientos financieros de las energías renovables. IRENA promueve la adopción generalizada y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable, entre ellas la bioenergía y las energías geotérmica, hidráulica, oceánica, solar y eólica para lograr el desarrollo sostenible, el acceso a la energía, la seguridad energética y la prosperidad y el crecimiento económicos bajos en carbono. www.irena.org

Agradecimientos

IRENA agradece los valiosos aportes de los miembros del grupo asesor de expertos en energía geotérmica creado a partir de las bases de Global Geothermal Alliance (GGA) y otras instituciones involucradas en la utilización de la energía geotérmica en el sector agroalimentario.

Se recibieron aportes y comentarios de los siguientes expertos: Héctor Miguel Aviña y Eduardo Pérez González (Universidad Nacional Autónoma de México), Manon Stover (Baseload Capital), Peter Omenda (Consultor), Aida Antonieta Flores y Jose Salvador Handal (El Salvador – CNE), Oliver Dubois (FAO), Jacques Varet (Géo2D), Steve Grasby (Geothermal Canada), Ana Lucia Alfaro Murillo y Rafael Edgardo Parada Perez (GIZ), Guðni Axelsson (GRO GTP), Cristian Irias (Honduras – SEN), Volkan Öztürk y Ufuk Şentürk (JESDER), Paul Ramsak (Netherlands Enterprise Agency – RVO), Maria Carla Lourenço y Luís Nuno Duarte da Silva (Portugal – Dirección General de Energía y Geología), Maged Mahmoud (Centro Regional de Energías Renovables y Eficiencia Energética – RCREEE), Luca Guglielmetti (Universidad de Ginebra), Andrea (Andy) Blair (Upflow Ltd) y Elin Hallgrimsdottir y Joeri Frederik de Wit (Banco Mundial ESMAP).

Los siguientes colegas de IRENA también proporcionaron valiosos aportes: Aliz Crowley, Jin Kyung Jeong, Paul Komor, Divyam Nagpal, Bishal Parajuli, Pablo Ralon y Ali Yasir.

Colaboradores: Esta guía se desarrolló bajo la dirección de Gürbüz Gönül (Director de Apoyo a Países y Alianzas de IRENA) y Amjad Abdulla (IRENA) y se escribió por Michelle Ramirez y Jack Kiruja (IRENA), Sylvana Bohrt, Anna Colvin, Alexander LaBua y Hezy Ram (GreenMax Capital Advisors).

Para obtener más información o proporcionar comentarios: publications@irena.org

Esta guía está disponible para su descarga: www.irena.org/publications

Exención de responsabilidad

Esta publicación y el material que figura en ella se presentan en el estado en que se encuentran. IRENA ha tomado todas las precauciones razonables para verificar la fiabilidad del material presentado en esta publicación. Sin embargo, ni IRENA ni ninguno de sus funcionarios, agentes, proveedores de datos u otros contenidos de terceros ofrecen ninguna garantía, ya sea explícita o implícita, ni aceptan responsabilidad u obligación alguna por consecuencias derivadas del uso de la publicación o el material que contiene.

La información aquí contenida no representa necesariamente los puntos de vista de todos los miembros de IRENA. La mención de empresas específicas o ciertos proyectos o productos no significa que IRENA los respalde o recomiende con preferencia sobre otros de naturaleza similar que no estén mencionados. Las denominaciones empleadas y la presentación de material en la presente publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de IRENA sobre la condición jurídica de ninguna región, país, territorio, ciudad o zona, ni de sus autoridades, ni en relación con la delimitación de sus fronteras o límites.

CONTENIDOS

FIGURAS.....	4	3 DESARROLLO ESTRATÉGICO DE PLANES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN.....	34
TABLAS.....	4	3.1 Identificación de recursos geotérmicos y ubicación conjunta con la demanda de energía en el sector agroalimentario	34
RECUADROS	5	3.2 Facilitación de los marcos jurídicos, normativos y de políticas	39
FOTOGRAFÍAS.....	5	3.3 Alineación intersectorial y participación de las múltiples partes interesadas.....	43
ABREVIATURAS.....	6	3.4 Desarrollo y propiedad del proyecto...	49
RESUMEN EJECUTIVO	7	3.5 Acceso al financiamiento.....	54
1 INTRODUCCIÓN	11	3.6 Desarrollo de capacidades locales, educación y conciencia.....	58
1.1 Antecedentes	11	3.7 Aprovechamiento de la tecnología, la innovación y la sostenibilidad.....	62
1.2 Fundamento	15	4 HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS...	66
1.3 Metodología y estructura de la guía.....	16	4.1 Evaluación de los impactos socioeconómicos del uso directo de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias.....	66
2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS APLICACIONES DE CALOR GEOTÉRMICO EN LAS CADENAS DE VALOR AGROALIMENTARIAS	17	4.2 Desarrollo de tarifas de calor geotérmico.....	81
2.1 Beneficios y vínculos con el desarrollo sostenible y la acción climática.....	17	REFERENCIAS	86
2.2 Aplicaciones de uso directo de la energía geotérmica en el sector agroalimentario.....	22		

FIGURAS

Figura S1 Recomendaciones sobre acciones prioritarias para ampliar el despliegue de la energía geotérmica en el sector agroalimentario **10**

Figura 1 Temperatura máxima global del acuífero a 3 kilómetros de profundidad con ubicaciones de centrales geotérmicas en todo el mundo **14**

Figura 2 Capacidad de calefacción geotérmica en tres cadenas de valor agroalimentarias, 2000-2020... **15**

Figura 3 Diagrama de Lindal de usos potenciales de la energía geotérmica en el sector agrícola..... **23**

Figura 4 Mapa interactivo de uso geotérmico de Nueva Zelanda **39**

Figura 5 Estructura de gobernanza de la Estrategia de Calor Geotérmico de Nueva Zelanda **48**

Figura 6 Empleos en energía geotérmica en 2020, y proyecciones a 2030 y 2050..... **67**

Figura 7 Impacto neto de los indicadores socioeconómicos monetizados y no monetizados de beneficios y costos en seis casos de estudio de energías renovables..... **69**

Figura 8 Aplicación del análisis costo-beneficio (ACB) INVESTA a las tecnologías geotérmicas en el sector agroalimentario **70**

Figura 9 Elementos de CAPEX para diferentes opciones de instalación de uso directo de la energía geotérmica.... **83**

TABLAS

Tabla 1 Vínculos con la acción climática y los Objetivos de Desarrollo Sostenible **21**

Tabla 2 Aplicaciones de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias **22**

Tabla 3 Hojas de ruta del uso directo de la energía geotérmica **44**

Tabla 4 Partes interesadas clave del proyecto y sus roles potenciales..... **47**

Tabla 5 Criterios de puntuación ponderada para la selección y clasificación de aplicaciones de uso directo **52**

Tabla 6 Clasificación de posibles aplicaciones de uso directo de la energía geotérmica en Kenia..... **53**

Tabla 7 Mecanismos de financiamiento de energías limpias **54**

Tabla 8 Resumen de desafíos, brechas, recomendaciones y lecciones aprendidas para apoyar el uso del calor geotérmico en el sistema agroalimentario..... **64**

Tabla 9 Una metodología paso a paso para realizar análisis financieros y económicos **71**

Tabla 10 Clasificación y descripción de indicadores socioeconómicos..... **74**

Tabla 11 Evaluación de indicadores socioeconómicos **80**

RECUADROS

Recuadro 1 Energías renovables en los sistemas agroalimentarios.....	12
Recuadro 2 Los beneficios del calor geotérmico en la industria agroalimentaria de Nueva Zelanda	19
Recuadro 3 Acuicultura geotérmica en Islandia.....	25
Recuadro 4 Deshidratación geotérmica de frutas en México.....	28
Recuadro 5 Mapas geotérmicos digitales interactivos como herramientas de evaluación de recursos para apoyar las inversiones.....	36
Recuadro 6 Mejorar el marco jurídico para facilitar el uso directo de la energía geotérmica en Chile.....	42
Recuadro 7 Alinear la estrategia de desarrollo local con las prioridades nacionales en Nueva Zelanda mientras se aprovecha la energía geotérmica.....	45
Recuadro 8 Participación de las partes interesadas en el desarrollo e implementación de una Estrategia de Calor Geotérmico en Nueva Zelanda....	48
Recuadro 9 Criterios para clasificación y selección de aplicaciones de uso directo.....	52
Recuadro 10 Plataformas de facilitación de proyectos de energías renovables coordinadas por IRENA	55
Recuadro 11 Préstamos para invernaderos geotérmicos en Turquía.....	57
Recuadro 12 Asistencia técnica GIZ en Centroamérica	59
Recuadro 13 Programa de Capacitación en Geotermia de GRO (GTP), Islandia.....	61
Recuadro 14 Perspectivas de empleos en energía geotérmica	67
Recuadro 15 Metodología de análisis de costo-beneficio INVESTA	69

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Cultivo de hongos a partir del calor geotérmico en el campo geotérmico de Kamojang, Indonesia.....	26
Fotografía 2 Un pasteurizador de leche geotérmico en el campo geotérmico de Menengai, Kenia.....	26
Fotografía 3 Invernadero que utiliza calor geotérmico en Menengai, Nakuru, Kenia	31
Fotografía 4 Proyectos comunitarios locales que utilizan subproductos de la energía geotérmica en El Salvador.....	32
Fotografía 5 Producción de algas en fotobiorreactores	63

ABREVIATURAS

°C	grados centígrados	IVA	impuesto al valor agregado
ACB	análisis costo-beneficio	LaGeo	Geotérmica Salvadoreña, S.A. de C.V.
CAPEX	gastos de capital	MW	megavatio
CO₂	dióxido de carbono	MW_{th}	megavatio-térmico
DGA	Deshidratador Geotérmico de Alimentos (México)	NDC	Contribución determinada a nivel nacional
EUR	euro	ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	OPEX	gastos operativos
GDC	Geothermal Development Company (Kenia)	PBT	tiempo de recuperación del capital invertido
GIS	sistema de información geográfica	PIB	producto interno bruto
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH	PJ	petajulio
GRO GTP	Programa de Capacitación en Geotermia bajo los auspicios de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura	RCB	relación costo-beneficio
GW	gigavatio	SICA	Sistema de la Integración Centroamericana
HPA	contrato de compra de calor	TIR	tasa interna de retorno
INVESTA	Invertir en Tecnologías Energéticas Sostenibles en el Sector Agroalimentario	TJ	terajulio
IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables	UHT	ultra alta temperatura
		USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
		USD	dólar de los Estados Unidos
		VAN	valor actual neto
		ZEE	Zona Económica Especial

RESUMEN EJECUTIVO

El despliegue mundial de energías renovables ha experimentado un crecimiento significativo durante la última década, impulsado por una mayor conciencia de los impactos del cambio climático y la necesidad asociada de reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. La energía geotérmica desempeñará un papel importante en el fomento de una transición hacia la energía limpia, ya que la tecnología ofrece una fuente confiable de energía de carga base que reduce las emisiones y mejora la seguridad energética.

Se espera que la demanda de energía casi se duplique a nivel mundial para mediados de siglo. Mientras tanto, se espera que la demanda de alimentos y agua incremente un 50 %, lo que ejerce presión sobre los sistemas de agua, energía y alimentos existentes (IRENA, 2015). El aumento de la inversión en tecnologías de energías renovables en la agricultura y los sistemas alimentarios ("agroalimentarios") es fundamental para el éxito de la transición energética mundial. Existen muchas oportunidades para que las tecnologías de energía limpia apoyen la producción, el secado, la refrigeración, el almacenamiento, el transporte y la distribución de alimentos. Sin embargo, el uso de energía en la agricultura y la alimentación todavía depende en gran medida de los combustibles fósiles, con una penetración relativamente limitada de las energías renovables en estos sectores hasta la fecha (IRENA y FAO, 2021).

El crecimiento de las energías renovables, incluida la energía geotérmica, se ha centrado predominantemente en el sector de la electricidad. Sin embargo, existe un potencial significativo para el uso de la energía geotérmica en otros sectores de uso final a través de aplicaciones de uso directo. Esto es particularmente cierto para las industrias agroalimentarias, donde la energía geotérmica puede respaldar una mayor sostenibilidad. En la producción de alimentos, la energía geotérmica se puede utilizar para regular la temperatura y la humedad a fin de crear el entorno óptimo para el cultivo de productos. En la conservación de productos agrícolas después de la cosecha, la energía geotérmica se puede utilizar para apoyar el secado, la deshidratación, la refrigeración y el almacenamiento en frío para minimizar el deterioro. El calor geotérmico también se utiliza para aumentar la productividad de diferentes aplicaciones, como la calefacción de invernaderos, la acuicultura y el procesamiento de alimentos, entre otras formas de valor agregado.

En muchos países en desarrollo, la demanda insatisfecha de energía asequible y sostenible es una limitación clave para el desarrollo del segmento del mercado agroalimentario y representa una importante oportunidad para que los países dotados de energía geotérmica utilicen este recurso (FAO, 2015). El secado agrícola a través del calor geotérmico podría aumentar la disponibilidad de alimentos hasta en un 20 % en todo el mundo si la tecnología se implementa y amplía extensamente. La acuicultura y la agricultura en invernaderos con calefacción geotérmica tienen el potencial de impulsar aún más la producción de alimentos para satisfacer las necesidades mundiales (IRENA, 2018).

El crecimiento de la energía geotérmica en las últimas décadas es un desarrollo prometedor en el esfuerzo global para mitigar el cambio climático. Una mayor adopción de aplicaciones de uso directo, particularmente en industrias como el sector agroalimentario, será fundamental para apoyar la transición energética global y alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible a largo plazo.

El despliegue de energía geotérmica para aplicaciones de calefacción ha crecido sustancialmente, aumentando un 52 % en los cinco años entre 2015 y 2020. La calefacción de invernaderos, la calefacción y el secado en la acuicultura representan las principales aplicaciones agroalimentarias de la energía geotérmica. Las aplicaciones de energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias están repartidas por todo el mundo, con proyectos en África, Asia, las Américas y el Caribe, Europa y Oceanía. Esto es posible gracias a la presencia generalizada de recursos geotérmicos en diferentes ubicaciones geológicas y geográficas.

Entre los desafíos que obstaculizan el uso de la energía geotérmica en aplicaciones agroalimentarias se encuentran datos inadecuados sobre los recursos geotérmicos y la demanda existente, marcos facilitadores ausentes o desalineados, financiamiento inadecuado y falta de conciencia, entre otros. Esta guía brinda recomendaciones a los encargados de formular políticas sobre las medidas que se pueden implementar para abordar estos desafíos y conducir a una mayor adopción de la energía geotérmica. Estos se resumen en las siguientes siete áreas de acción prioritarias (Figura ES1):

Identificación de recursos geotérmicos y ubicación conjunta con la demanda de energía en el sector agroalimentario

- ➔ Identifique varias fuentes de energía geotérmica, como pozos en campos geotérmicos existentes, aguas termales y otras manifestaciones superficiales, y fuentes geotérmicas de poca profundidad (*por ejemplo*, pozos calientes). Recopile datos de estas fuentes geotérmicas que sean relevantes para las aplicaciones agroalimentarias, como la temperatura, el caudal y la composición química.
- ➔ Identifique aplicaciones agroalimentarias existentes o áreas con potencial para establecer aplicaciones agroalimentarias que podrían utilizar energía geotérmica. Estos datos podrían mostrarse en mapas e integrarse con los datos de recursos geotérmicos utilizando plataformas GIS interactivas para ilustrar la ubicación conjunta entre las fuentes de energía y la demanda para respaldar la toma de decisiones de inversión.

Facilitación de los marcos jurídicos, normativos y de políticas

- ➔ Desarrolle procedimientos de concesión de licencias claros para el uso directo de la energía geotérmica o simplifique los procedimientos de concesión de licencias existentes, en particular para los recursos poco profundos y de baja temperatura. Esto podría implicar el establecimiento de una ventanilla única para la provisión de todas las licencias necesarias para desarrollar recursos geotérmicos para aplicaciones agroalimentarias y otras aplicaciones de uso directo.
- ➔ Introduzca instrumentos de política tales como tarifas de calor, subsidios, incentivos fiscales y esquemas de eliminación de riesgos/seguros para apoyar el desarrollo y la adopción de la calefacción geotérmica en el sector agroalimentario.

Alineación intersectorial y participación de las múltiples partes interesadas

- ➔ Identifique diferentes sectores dentro de la economía cuyas actividades pueden acelerar el despliegue de la energía geotérmica en los sistemas agroalimentarios (*por ejemplo*, sectores energético, agrícola e industrial).
- ➔ Identifique a las partes interesadas cuyas intervenciones podrían influir en el desarrollo de aplicaciones agroalimentarias geotérmicas y diseñe una estrategia para involucrarlas lo antes posible para establecer sinergias y obtener la aceptación. (*por ejemplo*, responsables políticos nacionales y locales, asociaciones de fabricantes, comunidades, etc.)
- ➔ Desarrolle planes maestros para la utilización del calor geotérmico, tenga en cuenta los usos potenciales en diferentes sectores y alinee las políticas de esos sectores para lograr las sinergias necesarias.
- ➔ Incluya aplicaciones de calor geotérmico en la transición energética y los planes de acción climática para los países, como las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) y las estrategias de descarbonización a largo plazo.

Desarrollo y propiedad del proyecto

- ➔ Adapte un modelo de instalación para la operación de uso directo que se adapte a las circunstancias imperantes en un lugar determinado (*por ejemplo*, sistemas autónomos, sistemas en cascada y sistemas de uso directo integrados con la generación de electricidad).
- ➔ Establezca modelos comerciales y de propiedad que aseguren no solo la sostenibilidad del recurso geotérmico sino también un precio asequible de la energía.

- ➔ Para cada modelo de negocio y propiedad, determine los objetivos que se lograrán a través de las aplicaciones de uso directo (*por ejemplo*, maximización de beneficios, creación de empleo, prácticas de explotación sostenible, etc.) y establezca los criterios de selección de las empresas más adecuadas para cumplir los objetivos.

Acceso al financiamiento

- ➔ Elimine el riesgo de inversión en el sector agroalimentario geotérmico al:
 - o Establecer esquemas de mitigación de riesgos para proporcionar capital de riesgo a los desarrolladores, para permitir la perforación de nuevos pozos geotérmicos.
 - o Identificar las zonas favorables para el aprovechamiento de la energía geotérmica en el sector agroalimentario.
- ➔ Desarrolle aplicaciones agroalimentarias junto con las centrales geotérmicas existentes para utilizar el exceso de calor de la generación de energía, lo que eliminará la necesidad de perforar nuevos pozos que suelen ser costosos. Además, implemente la cascada de energía entre las aplicaciones de energía geotérmica en el sector agroalimentario para facilitar el intercambio de infraestructura como tuberías, pozos, etc., lo que reducirá la exposición a altos costos y riesgos.
- ➔ Desarrolle estudios de factibilidad para establecer la viabilidad crediticia de las aplicaciones de energía geotérmica en el sector agroalimentario.
- ➔ Facilite la comprensión entre los bancos comerciales locales de los requisitos de financiamiento para las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas, para permitirles desarrollar soluciones financieras que se adapten a las necesidades de las empresas agroalimentarias.

Desarrollo de capacidades locales, educación y conciencia

- ➔ Cree conciencia sobre el potencial y las oportunidades de las aplicaciones de energía geotérmica en el sector agroalimentario entre las diversas partes interesadas a nivel local donde se lleva a cabo la utilización del calor.
- ➔ En nuevos mercados, demuestre los impactos socioeconómicos del desarrollo de aplicaciones agroalimentarias impulsadas por energía geotérmica mediante la realización de análisis costo-beneficio para establecer no solo la factibilidad financiera sino también económica de los proyectos.
- ➔ Implemente proyectos piloto para demostrar la factibilidad técnica de la utilización del calor geotérmico en el sector agroalimentario en beneficio de las partes interesadas, como los inversionistas, las comunidades y los encargados de formular políticas.
- ➔ Capacite y desarrolle la capacidad no solo de la experiencia técnica inicial (*es decir*, ingenieros y científicos que desarrollan el recurso) sino también de instituciones nacionales (para permitirles evaluar el potencial para implementar proyectos geotérmicos agroalimentarios); proveedores de servicios y técnicos intermedios que mantienen las aplicaciones agroalimentarias; empresarios y encargados de formular políticas locales.

Aprovechamiento de la tecnología, la innovación y la sostenibilidad

- ➔ Fomente prácticas de sostenibilidad en los sectores energético (geotérmico) e industrial que apunten a maximizar el uso de energía y minimizar el desperdicio de material a través de una economía en cascada y circular.
- ➔ Integre los centros de incubación en la utilización de energía geotérmica, incluida la colaboración con instituciones de investigación, para fomentar el desarrollo de nuevos productos y procesos en agroalimentación, alimentados por calor geotérmico.

Figura S1 Recomendaciones sobre acciones prioritarias para ampliar el despliegue de la energía geotérmica en el sector agroalimentario



Los beneficios de desplegar aplicaciones de uso directo de la energía geotérmica en el sector agroalimentario son muy variados. La utilización del calor geotérmico en las cadenas agroalimentarias puede contribuir a mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición, reducir el desperdicio de alimentos, mejorar la productividad y aumentar la disponibilidad de productos fuera de temporada. Además, apoya el establecimiento de industrias que crean empleo para los jóvenes, contribuye al empoderamiento de las mujeres, que son las principales productoras de alimentos en la mayoría de los países en desarrollo, y proporciona mayores ingresos para las empresas y los agricultores, lo que eleva el nivel de vida de las comunidades rurales. Además, puede contribuir a minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero y ayudar al sector agroalimentario a adaptarse a los efectos del cambio climático (IRENA, 2019).

Esta guía recomienda la adopción de una metodología para medir y cuantificar los impactos socioeconómicos del despliegue de calefacción geotérmica en el sector agroalimentario. La información generada con esta metodología podría utilizarse para crear conciencia sobre los beneficios de las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas entre los encargados de formular políticas, lo que apoyaría la toma de decisiones. Finalmente, la viabilidad crediticia de desarrollar recursos geotérmicos para aplicaciones agroalimentarias debe estar respaldada por un caso de negocios, basado en la venta de calor a las empresas. Por lo tanto, las empresas agroalimentarias requerirían una tarifa de calor competitiva que fomente el despliegue de energía geotérmica. Las metodologías comunes para desarrollar tarifas de calefacción también se analizan en la guía.

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Durante la última década, la creciente preocupación por los impactos del cambio climático y la necesidad asociada de reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) han llevado a un aumento significativo en el despliegue de energías renovables en todo el mundo. Esta tendencia al alza ha sido impulsada por la innovación tecnológica, la mejora de la competitividad de los precios de las tecnologías de energías renovables y la mejora de los marcos normativos y de políticas que han creado un entorno propicio para el desarrollo del mercado de energías renovables del sector privado (IRENA, 2019). Existe una necesidad fundamental de una transición energética global liderada por tecnologías de energía limpia para limitar potencialmente el calentamiento global a 1.5 grados centígrados (°C) para 2050.

Las energías renovables ahora dominan el mercado global de nueva capacidad de generación de electricidad. En muchos países, las tecnologías de energía limpia han superado a los combustibles fósiles como la fuente de energía más barata. En 2020, se instaló un récord mundial de 260 gigavatios (GW) de electricidad renovable (IRENA, 2021a). Mientras que la mayor parte de esta capacidad adicional provino de energía eólica y solar (alrededor del 91 %), la capacidad geotérmica ha ido creciendo constantemente a lo largo de los años. Entre 2010 y 2020, se agregó un total de 5 053 GW de capacidad geotérmica instalada a nivel mundial, lo que representa un aumento del 46.3 % y una tasa de crecimiento compuesto anual de alrededor del 3.5 % (Huttrer, 2020). En los próximos años, la energía geotérmica será cada vez más crítica en la transición hacia la energía limpia, ya que la tecnología ofrece una fuente confiable de energía de carga base que reduce las emisiones y mejora la seguridad energética.

Se espera que la demanda de energía casi se duplique a nivel mundial para mediados de siglo. Mientras tanto, se espera que la demanda de alimentos y agua se incremente un 50 %, lo que ejerce presión sobre los sistemas de agua, energía y alimentos existentes (IRENA, 2015). El aumento de la inversión en tecnologías de energías renovables en la agricultura y los sistemas alimentarios ("agroalimentarios") es fundamental para el éxito de la transición energética mundial. Requerirá un enfoque integrado de los sectores público y privado, un amplio desarrollo de capacidades en todos los niveles y un marco normativo y de políticas integral para abordar el nexo entre el agua, la energía y los alimentos.

La energía es un insumo fundamental en los sistemas alimentarios, tanto directa como indirectamente. Existen muchas oportunidades para que las tecnologías de energía limpia apoyen la producción, el secado, la refrigeración, el almacenamiento, el transporte y la distribución de alimentos. Sin embargo, el uso de energía en la agricultura y la alimentación todavía depende en gran medida de los combustibles fósiles, con una penetración relativamente limitada de las energías renovables en estos sectores hasta la fecha. Un informe reciente de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Energías renovables para los sistemas agroalimentarios: hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París, describe un conjunto de áreas de acción prioritarias necesarias para ampliar la integración de soluciones de energías renovables en los sistemas agroalimentarios. La implementación de estas prioridades promovería el acceso/la transición energética y la seguridad alimentaria al tiempo que propagaría el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París (Recuadro 1).

RECUADRO 1

ENERGÍAS RENOVABLES EN LOS SISTEMAS AGROALIMENTARIOS

Los sistemas alimentarios consumen una cantidad significativa de energía a nivel mundial. Hasta el 30 % del consumo mundial de energía se produce en el sector agroalimentario. Como resultado, el uso de energía en los sistemas alimentarios representa alrededor del 30 % de las emisiones de carbono del sector.

Las tendencias actuales en el uso de la energía en el sector agroalimentario muestran que los combustibles fósiles representan una parte importante de la energía consumida. Además, la penetración de las fuentes de energía modernas en el sector es aún muy baja, particularmente en los países en desarrollo. Por lo tanto, la transición al uso de energías renovables en el sector agroalimentario es fundamental para promover la sostenibilidad en la producción de alimentos. Las aplicaciones de la energía en los sistemas alimentarios incluyen la producción primaria, la manipulación posterior a la cosecha, el almacenamiento y la refrigeración, así como la cocción. Estas aplicaciones promueven mayores rendimientos, mayores ingresos, pérdidas mínimas de alimentos, mejor salud y bienestar y mayor resiliencia al cambio climático.

Además de los beneficios directos del uso de la energía en el sector agroalimentario, las energías renovables generan beneficios socioeconómicos y ambientales adicionales, como el aumento de la producción de alimentos, la mejora del uso eficiente de la mano de obra, la reducción de la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero, la reducción de costos y el aumento de los ingresos de agricultores y empresarios, además de contribuir a la inclusión, la igualdad de género y el empleo.

Entre las aplicaciones de energías renovables de alto impacto en el sector agroalimentario se encuentra el riego solar, que contribuye al acceso al agua para la agricultura al permitir la producción durante todo el año y la resiliencia a los cambios en los ciclos hidrológicos. El agroprocesamiento que utiliza energías renovables ha contribuido a reducir los costos de energía en la producción de productos terminados comercializables al mismo tiempo que protege el medio ambiente, en comparación con el uso de combustibles fósiles. A través del acceso a soluciones modernas de energía limpia, las instalaciones de procesamiento pueden descentralizarse en áreas rurales, lo que reduce el tiempo requerido para procesar los alimentos (*por ejemplo*, en comparación con el secado al sol, que es muy común en áreas remotas). Además, el almacenamiento en frío y la refrigeración de productos perecederos como la leche, el pescado, las frutas y las verduras con energías renovables está fomentando la comercialización de productos de calidad y minimizando las pérdidas posteriores a la cosecha.

El informe de IRENA y la FAO identifica varias áreas de acción prioritarias para aumentar el uso de energías renovables en los sistemas agroalimentarios:

- Aprovechar las herramientas nuevas y existentes para utilizar la información necesaria sobre el potencial de las energías renovables y los sistemas agroalimentarios para fundamentar la toma de decisiones.
- Permitir el financiamiento para el desarrollo de energías renovables y los sectores de uso final de la energía, en particular en el sector agroalimentario.
- Promover un enfoque de nexo entre los sistemas de agua, energía y alimentos para aprovechar las sinergias entre los diferentes sectores y minimizar la competencia por los recursos.
- Establecer un marco favorable propicio a través de la armonización de perspectivas y estrategias en diferentes sectores para promover los sistemas energéticos y alimentarios.
- Priorizar acciones fácilmente realizables a corto plazo para minimizar las pérdidas posteriores a la cosecha, mejorar los efectos de la economía circular y fortalecer el nexo entre la energía y los alimentos, así como la energía y la salud como parte de la recuperación verde.
- Apoyar las innovaciones en tecnologías de energías renovables para permitir un mayor despliegue en los sectores de uso final a través de colaboraciones y fondos de innovación dedicados.

Fuente: IRENA y FAO, 2021.

Aunque los impactos del uso de energías renovables en el sector agroalimentario son muy similares en todas las tecnologías de energías renovables, esta guía se centra específicamente en la energía geotérmica y, en particular, en las aplicaciones de calefacción geotérmica.

El crecimiento en el despliegue de la energía geotérmica se ha centrado predominantemente en el sector eléctrico. Sin embargo, también existe un potencial significativo para la energía geotérmica en los sectores de uso final a través de aplicaciones de uso directo (el uso directo se refiere a la utilización de los recursos geotérmicos para fines distintos a la generación de electricidad). Esto es particularmente cierto para las industrias agroalimentarias, que requieren un suministro confiable de energía (véase Figura 3).

El calor geotérmico se puede utilizar para una amplia gama de aplicaciones agroalimentarias, que incluyen, entre otras, el secado agrícola (granos, verduras, frutas, pescado y otros productos agrícolas); calentamiento de invernaderos, suelo y agua (incluso para la acuicultura); y calentamiento de procesos industriales. Además, los recursos geotérmicos contienen subproductos como minerales disueltos, gases no condensables, salmueras y condensados de vapor que pueden utilizarse para diversas aplicaciones. En muchos países en desarrollo, la demanda insatisfecha de energía asequible y sostenible es una limitación clave para el desarrollo del segmento del mercado agroalimentario y representa una importante oportunidad para que los países dotados de energía geotérmica utilicen este recurso (FAO, 2015).

La energía geotérmica está ampliamente disponible en todo el mundo y se utiliza para diversas aplicaciones, sujetas a la temperatura del recurso. Los recursos geotérmicos de alta temperatura (por encima de 150 °C) se utilizan principalmente para la generación de electricidad, mientras que los recursos de baja y media temperatura (menos de 150 °C) son más adecuados para el uso directo, pero también podrían utilizarse para la generación de electricidad a través de tecnologías de centrales eléctricas binarias (Dickson y Fanelli, 2004).

Los recursos geotérmicos de alta temperatura se encuentran principalmente cerca de áreas con alta actividad volcánica y tectónica, como el “Anillo de Fuego” del Pacífico, que incluye el oeste de los Estados Unidos, América Latina y el Caribe, Nueva Zelanda, las Islas del Pacífico, Indonesia, Filipinas, Japón y la península de Kamchatka (Masum y Akbar, 2020). Otros importantes recursos geotérmicos de alta entalpía se pueden encontrar a lo largo de la cordillera del Atlántico medio (Islandia y las Azores), el Rift de África Oriental y partes de Europa.

Por otro lado, los recursos en el rango de temperatura baja y media, que son adecuados para aplicaciones de calefacción directa, no están tan limitados geográficamente en comparación con los recursos convencionales de alta temperatura utilizados principalmente para la generación de electricidad. Estos recursos de temperatura más baja se pueden encontrar no solo en áreas volcánicas activas, sino también en otros entornos geológicos como cuencas sedimentarias. La ocurrencia generalizada de recursos de temperatura baja y media presenta una oportunidad para desarrollar aplicaciones de energía geotérmica de uso directo potencialmente en la mayoría de los países del mundo.

La Figura 1 muestra la distribución geográfica de la temperatura máxima global del acuífero a 3 kilómetros de profundidad en cuencas sedimentarias (indicativo del potencial más amplio para aplicaciones de uso directo de la energía geotérmica), junto con ubicaciones de centrales geotérmicas en todo el mundo, que coinciden con las ubicaciones de recursos geotérmicos de alta temperatura (>150 °C). Las áreas grises son donde el espesor sedimentario es inferior a 100 metros y, por lo tanto, no se muestra la temperatura (Limberger *et al.*, 2018).

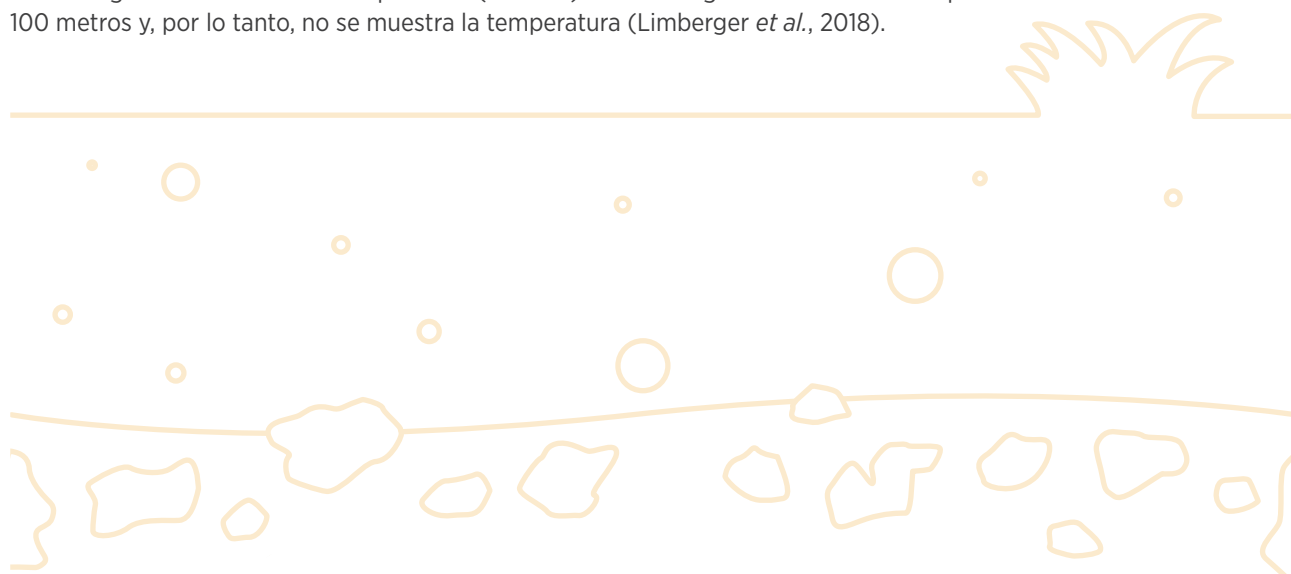
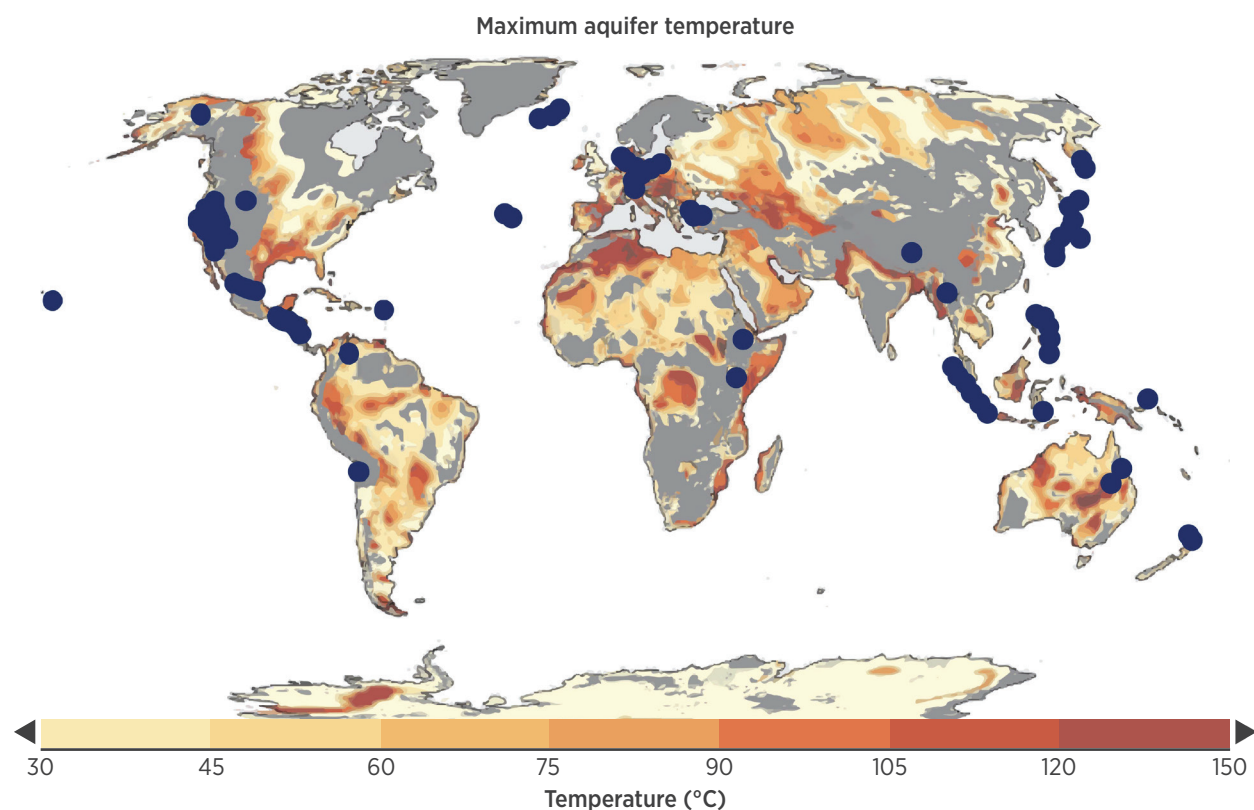


Figura 1 Temperatura máxima global del acuífero a 3 kilómetros de profundidad con ubicaciones de centrales geotérmicas en todo el mundo



Adaptado de Limberger *et al.*, 2018 y Richter, 2020a.

Exención de responsabilidad: este mapa se proporciona únicamente con fines ilustrativos. Los límites y nombres que se muestran en este mapa no implican la expresión de ninguna opinión por parte de IRENA sobre el estado de cualquier región, país, territorio, ciudad o área ni de sus autoridades ni sobre la delimitación de fronteras o límites.

La inversión en proyectos geotérmicos de uso directo está aumentando, impulsada principalmente por los ahorros de energía asociados con el uso de energía geotérmica en estas aplicaciones. En 1995, solo 28 países aprovecharon el uso directo de la energía geotérmica; para 2019, este número se había más que triplicado a 88 países. La capacidad instalada total estimada para uso directo de la energía geotérmica en 2019 fue de 107.7 gigavatios-térmicos, lo que representa un aumento del 52 % con respecto a los datos de 2015. Entre 2015 y 2019, el crecimiento del uso directo de la energía geotérmica condujo a una reducción estimada de las emisiones de CO₂ de 252.6 millones de toneladas (Lund y Toth, 2020).

Los usos directos del calor presentan una enorme oportunidad para el despliegue de la energía geotérmica. La mayor capacidad instalada para uso directo que existe en la actualidad es para bombas de calor y calefacción urbana, así como para el baño y la natación. Sin embargo, también existe un gran potencial en el sector agrícola, que continúa sustentando la mayoría de los medios de vida rurales en todo el mundo. Las tecnologías geotérmicas de uso directo pueden crear oportunidades laborales y aumentar la productividad local en las zonas rurales, entre otros beneficios. Por ejemplo, el secado geotérmico de cultivos puede ayudar a reducir el tiempo de secado, preservar la calidad de los productos, ofrecer empleo calificado y no calificado, reducir el desperdicio de alimentos y mejorar la seguridad alimentaria.

En el marco de la Alianza Geotérmica Global¹, IRENA está trabajando con socios para desarrollar las capacidades de los encargados de formular políticas relevantes para promover y ampliar la adopción y el uso generalizado de la energía geotérmica en los sistemas agroalimentarios. El desarrollo de capacidades implica el desarrollo de una guía para los encargados de formular políticas sobre cómo potenciar las cadenas de valor agroalimentarias con calor geotérmico. El público objetivo de la guía incluye partes interesadas en los sectores de la energía, la industria y la agricultura, como representantes gubernamentales, desarrolladores geotérmicos, empresas agroalimentarias y comunidades locales, entre otros.

¹ Una plataforma de múltiples partes interesadas, facilitada por IRENA, para mejorar el diálogo, la cooperación y la acción coordinada para fomentar el desarrollo geotérmico en todo el mundo.

1.2 Fundamento

Alrededor del 30 % de las emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas agroalimentarios están relacionadas con el uso de energía en varias etapas de la cadena de valor (IRENA y FAO, 2021). Las soluciones de energías renovables, incluidas las aplicaciones de calefacción geotérmica en el sector agroalimentario, pueden contribuir a los esfuerzos de mitigación y adaptación al cambio climático a escala mundial. Dada la amplia gama de aplicaciones de la tecnología geotérmica de uso directo en múltiples sectores de uso final, esta tecnología puede contribuir a la realización de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas y ayudar a los países a lograr sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) en virtud del Acuerdo de París.

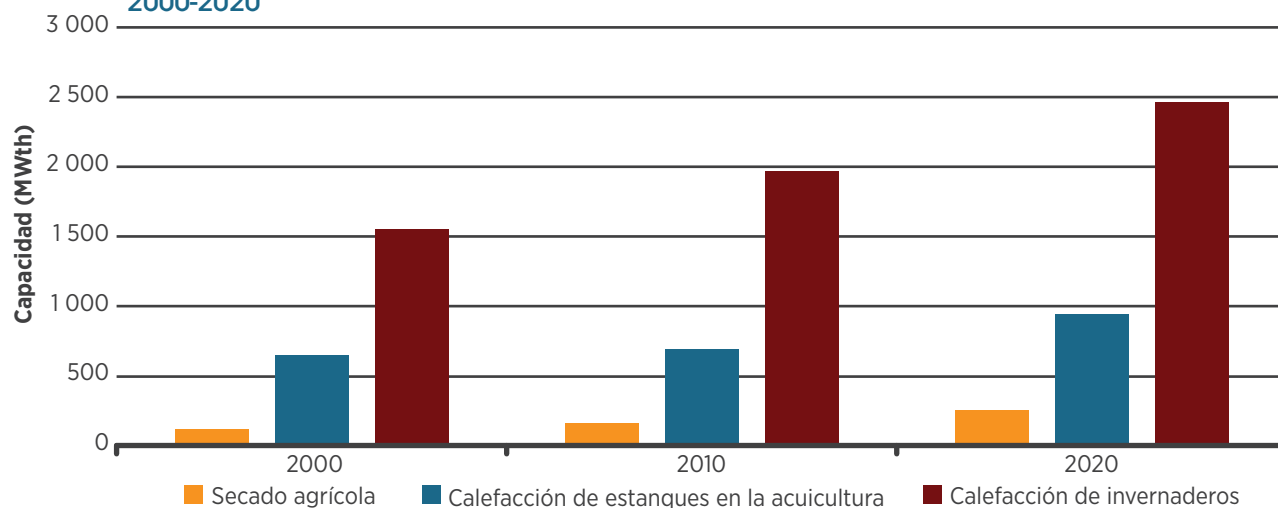
La adopción y ampliación de soluciones de energía limpia, como la energía geotérmica, puede reemplazar los combustibles fósiles y reducir las emisiones en todo el sector agroalimentario, lo que mejoraría la sostenibilidad de la producción, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte y el comercio de alimentos. Los impactos socioeconómicos de la utilización del calor geotérmico en las cadenas de valor agroalimentarias se examinan con más detalle en las secciones 2.1 y 4.1.

Las aplicaciones agroalimentarias del calor geotérmico incluyen principalmente la producción agrícola, el procesamiento, el secado, el almacenamiento en frío y la refrigeración. Los ejemplos incluyen calefacción para invernaderos, piscifactorías, criaderos de pollos y pasteurización de leche, entre otros (Guglielmetti *et al.*, 2020). La aplicación de calor y el control de la temperatura para estos procesos pueden aumentar la productividad y el rendimiento, aumentar la resiliencia de los sistemas alimentarios, respaldar la conservación y el almacenamiento posteriores a la cosecha y mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición. Estas aplicaciones se examinan con más detalle en la sección 2.2 y como estudios de caso a lo largo de esta guía.

La Figura 2 proporciona una descripción general del crecimiento de la capacidad de calefacción geotérmica en todo el mundo, ya que se aplica a las cadenas de valor agroalimentarias específicas del secado agrícola, la calefacción de invernaderos y la calefacción de estanques de acuicultura, tres de las aplicaciones más utilizadas del calor geotérmico en el sector agroalimentario. La calefacción de invernaderos ha experimentado un crecimiento particularmente fuerte en los últimos años, con un aumento de capacidad de más del 60 % entre 2000 y 2020. La calefacción en acuicultura y el secado agrícola también crecieron de manera constante durante este periodo.

El uso de energía geotérmica para la generación de electricidad y aplicaciones de uso directo todavía es limitado a nivel mundial. Esto se debe principalmente a: la falta de datos (tanto sobre el potencial de uso directo geotérmico como sobre el uso de energía en los sistemas agroalimentarios); bajos niveles de conciencia sobre las oportunidades y los beneficios para el uso productivo de la energía asociados con las tecnologías de uso directo; opciones de financiamiento limitadas debido a los altos costos iniciales y el riesgo de recursos; y el hecho de que los países no han establecido las condiciones que faciliten la inversión en el sector, que en la mayoría de los casos es inexistente o inadecuada. En este sentido, IRENA tiene como objetivo ayudar a los países a aumentar sus capacidades para desarrollar e implementar políticas y reglamentos que tengan como objetivo fortalecer el entorno propicio para las aplicaciones de calor geotérmico, incluidas las aplicaciones agroalimentarias.

Figura 2 Capacidad de calefacción geotérmica en tres cadenas de valor agroalimentarias, 2000-2020



Adaptado de Lund y Toth, 2020.

Nota: MW_{th} = Megavatio térmico

1.3 Metodología y estructura de la guía

Esta guía presenta los elementos clave necesarios para un despliegue más rápido del calor geotérmico en las cadenas de valor agroalimentarias. Analiza los principales desafíos a los que se enfrenta este segmento del mercado y propone soluciones, así como recomendaciones para los encargados de formular políticas. También proporciona una descripción general de las aplicaciones de uso directo en el sector agroalimentario junto con estudios de caso de todo el mundo que ejemplifican las mejores prácticas de la industria.

La preparación de esta guía involucró una extensa investigación documental, incluida una revisión detallada de los proyectos, programas e iniciativas de uso directo geotérmico en todo el mundo (que sirven como estudios de caso a lo largo de la guía); marcos jurídicos, normativos y de políticas; beneficios económicos, sociales y ambientales; brechas, desafíos y lecciones aprendidas asociadas con la ampliación de la utilización del calor geotérmico en el sector agroalimentario. Se llevó a cabo un proceso consultivo de revisión por pares con un grupo de partes interesadas de la industria que revisaron y compartieron sus comentarios y recomendaciones sobre las versiones preliminares de la guía. La guía está organizada en las siguientes secciones principales:

Sección 1: Introducción: esta sección presenta el uso de soluciones de energías renovables, incluido el calor geotérmico (uso directo) en el sector agroalimentario, y proporciona un contexto para el estudio.

Sección 2: Descripción general de las aplicaciones del calor geotérmico en las cadenas de valor agroalimentarias: esta sección describe los beneficios de la utilización del calor geotérmico y sus vínculos con el clima global y los objetivos de desarrollo sostenible. También identifica algunas de las aplicaciones comunes de uso directo en las cadenas de valor agroalimentarias (incluida la producción agrícola, el procesamiento y la conservación poscosecha) y presenta ejemplos de aplicaciones específicas en todo el mundo.

Sección 3: Directrices para adoptar y ampliar el uso de la energía geotérmica en el sector agroalimentario: esta sección identifica siete áreas de acción prioritarias que pueden respaldar el desarrollo de aplicaciones agroalimentarias geotérmicas al mismo tiempo que destaca las brechas/desafíos asociados que dificultan su adopción y ampliación. Las áreas de acción son: identificación de recursos geotérmicos y ubicación conjunta con la demanda de energía en el sector agroalimentario; marcos jurídicos, normativos y de políticas propicios; alineación intersectorial y participación de múltiples partes interesadas; desarrollo y propiedad del proyecto; acceso al financiamiento; desarrollo de capacidades locales, educación y conciencia; y aprovechamiento de la tecnología, la innovación y la sostenibilidad.

Sección 4: Herramientas y metodologías: esta sección examina cómo se miden los impactos del uso directo de la energía geotérmica en el sector agroalimentario en función de un análisis costo-beneficio para respaldar la toma de decisiones. Identifica indicadores socioeconómicos específicos de las cadenas de valor agroalimentarias y cómo pueden cuantificarse para medir el impacto de las intervenciones geotérmicas en el sector. La sección también describe los enfoques que se pueden utilizar para establecer tarifas de calor geotérmico, así como los elementos clave de un acuerdo de compra de calor.



DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS APLICACIONES DE CALOR GEOTÉRMICO EN LAS CADENAS DE VALOR AGROALIMENTARIAS

2.1 Beneficios y vínculos con el desarrollo sostenible y la acción climática

Beneficios clave del uso directo de la energía geotérmica en el sector agroalimentario

Las aplicaciones de calefacción geotérmica en el sector agroalimentario tienen amplios beneficios para el medio ambiente, así como para múltiples partes interesadas, incluidos inversionistas, desarrolladores de proyectos geotérmicos, comunidades y autoridades locales, entre otros. Los beneficios sociales, económicos y ambientales para las partes interesadas se presentan en esta sección y se desarrollan más en la sección 4.1, que incluye un marco de análisis costo-beneficio para evaluar los indicadores socioeconómicos y los beneficios resultantes de la incorporación de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias.

Los beneficios ambientales resultan del uso reducido de combustibles fósiles y leña para aplicaciones de calefacción. Esto contribuye a la mitigación del cambio climático a través de una mayor disponibilidad de energía limpia, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la deforestación. Además, la operación de sistemas geotérmicos implica la adopción de prácticas ambientales, como la reinyección de agua geotérmica usada en el yacimiento para evitar la contaminación y mejorar la sostenibilidad del recurso. En comparación con otras fuentes de energías renovables para aplicaciones agroalimentarias, la energía geotérmica tiene un requerimiento muy bajo de tierra por unidad de energía producida.

Las empresas que usan energía geotérmica en aplicaciones agroalimentarias se benefician de costos de energía más bajos y los mayores márgenes de ganancias resultantes en comparación con las que usan combustibles fósiles, ya que la energía geotérmica podría ser más asequible en las condiciones adecuadas. La garantía de un suministro confiable de carga base de energía geotérmica es un beneficio adicional para las empresas y, como resultado, la necesidad de un

suministro de energía de respaldo es limitada. Además, los costos de mantenimiento de estos sistemas de suministro de energía generalmente se limitan a los sistemas de tuberías geotérmicas.

Los desarrolladores de proyectos geotérmicos que integran el uso directo y la generación de electricidad podrían beneficiarse de la venta de calor geotérmico además de las ventas de electricidad, lo que proporciona un flujo de ingresos adicional, lo que genera mayores flujos de ingresos y reduce los riesgos financieros debido a la diversificación de los ingresos. El uso del exceso de calor de la generación de energía, así como la energía de los pozos que no se utilizan para la producción de electricidad, también puede generar ingresos a partir de recursos que de otro modo no se habrían utilizado para ningún beneficio comercial. El uso de fluidos geotérmicos a través de un mecanismo de uso directo en cascada conduce a una mayor eficiencia en la utilización de los recursos geotérmicos y puede integrar múltiples aplicaciones con diferentes requisitos de temperatura (véase la sección 3.4 para las diferentes instalaciones de proyectos de uso directo).

Las comunidades locales se benefician directa e indirectamente de la utilización del calor geotérmico tanto en la aplicación como a lo largo de la cadena de valor. El desarrollo y operación de aplicaciones de calor geotérmico brinda oportunidades de empleo para las comunidades locales, ya sea durante la construcción, la operación o el mantenimiento. Las aplicaciones de calefacción geotérmica utilizadas para la producción, el procesamiento y la transformación de alimentos mejoran la disponibilidad de alimentos y minimizan las pérdidas posteriores a la cosecha, lo que a su vez aumenta el rendimiento de los cultivos para los agricultores locales y mejora la seguridad alimentaria y la nutrición de la comunidad. El establecimiento de instalaciones de procesamiento de alimentos descentralizadas proporciona un mercado local para los alimentos producidos por el agricultor. Los beneficios adicionales para la comunidad local incluyen un mejor desarrollo de infraestructura asociado con las industrias agroalimentarias y el desarrollo de habilidades para los jóvenes locales en campos relevantes (*por ejemplo*, alimentos, agricultura, ingeniería y finanzas) para apoyar el desarrollo geotérmico y agroalimentario. Otros beneficios comunitarios indirectos incluyen el desarrollo de negocios complementarios para brindar servicios de apoyo a los emprendimientos agroalimentarios geotérmicos.

Las autoridades locales se benefician de nuevos ingresos de impuestos, permisos comerciales y derechos de licencia generados por el establecimiento de negocios agroindustriales y relacionados a lo largo de la cadena de valor agroalimentaria. Además, cuando el uso de calor geotérmico desplaza a los combustibles fósiles, los gobiernos se benefician de los ahorros al evitar la importación de combustibles fósiles.

En Nueva Zelanda, la energía geotérmica se está aprovechando como catalizador para el desarrollo económico a nivel local. El Recuadro 2 describe algunos de los beneficios que se han obtenido de la aplicación de calor geotérmico en el sector agroalimentario.



RECUADRO 2

LOS BENEFICIOS DEL CALOR GEOTÉRMICO EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA DE NUEVA ZELANDA



© GNS Science

Planta de procesamiento de leche de Miraka en Mokai en la Isla Norte de Nueva Zelanda.

Nueva Zelanda está dotada de abundante energía geotérmica, particularmente en la isla volcánica del Norte. Una gran parte de la energía del país proviene de la energía geotérmica y tiene una industria geotérmica bien establecida. La energía geotérmica se utiliza tanto para la generación de electricidad como para usos directos, como el baño y las piscinas con aguas termales, el procesamiento industrial de madera y papel y la calefacción para las industrias de la horticultura, la agricultura y la pesca.

El modelo de desarrollo de recursos geotérmicos de Nueva Zelanda tiene como objetivo no solo maximizar las ganancias para el desarrollador, sino también beneficiar a las comunidades que ocupan las tierras donde se encuentran los recursos y proteger el medio ambiente. Las comunidades indígenas de Nueva Zelanda,

los maoríes, participan en el desarrollo geotérmico como accionistas e inversionistas comerciales. Los ingresos generados por las inversiones geotérmicas se reinvierten en programas sociales en beneficio de la comunidad como educación, salud, cultura, deportes, finanzas y bienestar.

El uso de la energía geotérmica en Nueva Zelanda ha contribuido en gran medida a la descarbonización de la economía al desplazar alrededor de 2 millones de toneladas de CO₂ anualmente a partir de 2016 (Blair *et al.*, 2018).

En el sector agroalimentario, la energía geotérmica se utiliza para respaldar la industria de alimentos y bebidas, que es el sector de exportación más grande de Nueva Zelanda.

En el sector lácteo, Miraka, una empresa de procesamiento de leche de propiedad maorí ubicada en Mokai, funciona con electricidad geotérmica y utiliza el calor geotérmico del campo geotérmico de Mokai en sus aplicaciones de calentamiento de procesos. La planta produce leche en polvo y productos ultra alta temperatura (UHT) (>135 °C para conservar la leche por más tiempo). Estos productos adquieren la marca limpio y verde y se exportan a más de 26 países. El procesador de leche recibe leche de 110 granjas locales y alrededor de 60 000 vacas, lo que proporciona a los productores de leche un mercado para sus productos. La fábrica da trabajo a alrededor de 120 empleados que contribuyen al crecimiento económico local (Wairakei Research Centre, 2020).

En el Huka Prawn Park, la energía geotérmica mejora la producción de camarones de río al proporcionar una temperatura óptima para su crecimiento mediante el calentamiento del agua del estanque a alrededor de 30 °C utilizando la energía de una central geotérmica cercana. Como resultado, se producen aproximadamente 8 toneladas de camarones al año en menos de 3 hectáreas de tierra. La granja de camarones da empleo a aproximadamente 60 personas.

Otras aplicaciones agroalimentarias de la energía geotérmica en Nueva Zelanda incluyen Gourmet Mokai, unas instalaciones de invernadero para cultivar tomates y pimientos. El uso de la energía geotérmica permite que los cultivos crezcan durante los meses de invierno, lo que garantiza una producción durante todo el año. Arataki Honey, un productor de miel ubicado en Rotorua, ha utilizado energía geotérmica para el procesamiento de miel durante varios años, lo que ha resultado en operaciones rentables. La empresa produce más de 1 000 toneladas de miel al año para los mercados nacional y de exportación.

Vínculos con la acción climática y los objetivos de desarrollo sostenible

La mayor aceptación de las aplicaciones de calefacción geotérmica está estrechamente relacionada con las preocupaciones sobre el cambio climático, la seguridad energética, la volatilidad de los precios de las materias primas y el desarrollo económico sostenible. Estos temas ocupan un lugar destacado en la agenda de descarbonización y sostenibilidad de varios países, incluidos aquellos donde existe potencial geotérmico, particularmente en los países en desarrollo.

Con una población mundial en rápido aumento, existe una necesidad urgente de aumentar la producción de alimentos sin ejercer una presión adicional sobre los recursos de tierra y agua. Existe un nexo importante entre el agua, la energía y los alimentos, que puede aprovecharse para satisfacer de forma sostenible las necesidades alimentarias de la población en crecimiento. Debido a la producción de múltiples flujos de subproductos como la electricidad, el calor, el agua (y vapor/condensado), los elementos minerales y gases; la geotermia está en una posición única para contribuir a la mejora de los sistemas agroalimentarios mediante la utilización de estos subproductos (véase la sección 2.2). El uso directo de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias mejora la seguridad energética, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, promueve la resiliencia en los sistemas alimentarios, apoya el establecimiento de una industria nacional de energías renovables y apoya la realización de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Cuando las propiedades químicas lo permiten, el condensado de vapor geotérmico y las aguas proporcionan agua para riego para apoyar la producción de alimentos.

El aumento de la temperatura global debido a las emisiones de gases de efecto invernadero ha contribuido a la interrupción del ciclo hidrológico, lo que a su vez ha afectado negativamente a la producción de alimentos en muchos países. El aumento de las temperaturas también contribuye al deterioro acelerado de los alimentos, particularmente en las comunidades rurales donde el uso de refrigeración y almacenamiento en frío es limitado. Por lo tanto, las aplicaciones de energía geotérmica en la producción de alimentos y en los procesos poscosecha contribuyen a la adaptación de los sistemas alimentarios a los efectos del cambio climático.

El sector agroalimentario, particularmente en los países en desarrollo, está en una posición única para mejorar la inclusión y el empoderamiento entre grupos demográficos marginados como las mujeres y los jóvenes. En los países en desarrollo, el sector agrícola es el mayor empleador. Las mujeres en esos países juegan un papel clave en la producción de alimentos, produciendo alrededor de las tres cuartas partes del total (IRENA, 2016a). Mejorar los sistemas alimentarios mediante el uso de energía en la producción de alimentos en combinación con tecnologías de producción avanzadas tendrá un impacto positivo en las mujeres. Además, las empresas locales de base agrícola que innoven con el uso de la energía geotérmica podrían brindar oportunidades laborales a los jóvenes (IRENA y FAO, 2021). Los empleos creados como resultado de las aplicaciones de la energía geotérmica en el sector agroalimentario suelen ser empleos a largo plazo de mayor calidad con vías de desarrollo profesional.

La Tabla 1 proporciona una descripción general del papel que desempeñan las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas en la realización de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

|| Con una población mundial en rápido aumento, la energía geotérmica se encuentra en una posición única para mejorar la producción de alimentos sin ejercer una presión adicional sobre los recursos de la tierra y el agua, entre otros Objetivos de Desarrollo Sostenible. ||

Tabla 1 Vínculos con la acción climática y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU	Descripción
	<p>ODS 1: Fin de la pobreza</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debido al aumento de la producción de alimentos, los productores de alimentos pueden vender el exceso de alimentos para aumentar los ingresos. • El valor agregado de los productos agrícolas significa más ingresos para los agricultores y oportunidades de empleo. • Los productos agroalimentarios etiquetados como “verdes” debido al uso de energías limpias y prácticas sostenibles en su producción alcanzan precios premium en el mercado.
	<p>ODS 2: Hambre cero</p> <ul style="list-style-type: none"> • El aumento del rendimiento del uso de la energía geotérmica promueve la seguridad alimentaria. • Los alimentos se pueden cultivar en condiciones/ambientes en los que naturalmente no sería posible (<i>por ejemplo</i>, frutas y verduras durante los meses de invierno). • Se desperdicia menos comida debido al procesamiento oportuno y al almacenamiento en frío/refrigeración.
	<p>ODS 4: Educación de calidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se crean oportunidades para la educación superior en campos relevantes como la alimentación, la agricultura, la ingeniería y las finanzas para apoyar a las industrias geotérmica y agroalimentaria.
	<p>ODS 5: Igualdad de género</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las mujeres juegan un papel clave en el sector agroalimentario, particularmente en los países en desarrollo. La mejora de los sistemas agroalimentarios a través de la energía geotérmica contribuye a mejorar la fortuna de las mujeres.
	<p>ODS 7: Energía asequible y no contaminante</p> <ul style="list-style-type: none"> • La energía geotérmica es una solución limpia y asequible que proporciona energía para la producción de electricidad o para uso directo.
	<p>ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las aplicaciones de energía geotérmica en el sector agroalimentario ofrecen una amplia gama de oportunidades para el crecimiento económico y el empleo productivo y sostenido. • La energía geotérmica crea empleos de alta calidad a largo plazo con vías de desarrollo profesional.
	<p>ODS 9: Industria, innovación e infraestructura</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las aplicaciones de la energía geotérmica respaldan el desarrollo de infraestructura resiliente, promueven la industrialización inclusiva y sostenible y fomentan la innovación en el sector agroalimentario.
	<p>ODS 10: Reducción de las desigualdades</p> <ul style="list-style-type: none"> • La descentralización de las industrias agroalimentarias hacia las áreas rurales donde se encuentran la mayoría de los recursos geotérmicos brinda oportunidades para el desarrollo de infraestructura y el acceso a servicios sociales en esas áreas. • Las oportunidades de empleo para las comunidades locales en el desarrollo y operación de proyectos de uso directo sirven para aumentar los ingresos y reducir la desigualdad de ingresos. • El estímulo de la economía local a partir del empleo directo y las ventas a los mercados agroindustriales da como resultado mejores niveles de vida.
	<p>ODS 12: Producción y consumo responsables</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los recursos de energía geotérmica se utilizan de manera más eficiente, incluso a través de sistemas en cascada. • La ubicación conjunta de industrias que pueden intercambiar energía y materiales promueve una economía circular.
	<p>ODS 13: Acción por el clima</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las tecnologías geotérmicas operan con pocas o ninguna emisión. • El desarrollo de la energía geotérmica puede reducir las emisiones de CO₂ al sustituir la tecnología por combustibles fósiles y puede ayudar a los países a alcanzar sus objetivos climáticos y NDC.

Fuente: Frederiksen y Werner (2013).

2.2 Aplicaciones de uso directo de la energía geotérmica en el sector agroalimentario

La energía es un insumo clave en las cadenas de valor agroalimentarias. En la producción de alimentos, se puede utilizar para alimentar maquinaria agrícola, respaldar el suministro de insumos (como la fabricación de fertilizantes y el bombeo de agua para riego) y regular la temperatura y la humedad para crear el entorno óptimo para el cultivo de productos. En la conservación de productos agrícolas después de la cosecha, la energía se puede utilizar para apoyar el secado, la deshidratación, el enfriamiento y el almacenamiento en frío para minimizar el deterioro. La energía también es un insumo clave para otras etapas de las cadenas de valor agroalimentarias, como el transporte, la adición de valor, la venta al por menor y la cocina.

Los recursos geotérmicos proporcionan varios flujos energéticos y no energéticos que podrían tener múltiples aplicaciones en los sistemas agroalimentarios. Estos flujos incluyen la electricidad utilizada para alimentar los aparatos eléctricos (*por ejemplo*, bombas, motores, compresores, etc.) para la producción, procesamiento, enfriamiento y refrigeración de alimentos; energía térmica utilizada como calor de proceso en la producción de alimentos, tratamiento posterior a la cosecha, almacenamiento y procesamiento; agua geotermal (*es decir*, condensado de vapor y agua) utilizada para riego; gases (*por ejemplo*, CO₂) utilizados para mejorar la fotosíntesis en la producción de alimentos primarios en invernaderos; y extractos minerales comercializables, como el azufre, que podrían utilizarse para la producción de fertilizantes.

La Tabla 2 muestra los diversos usos de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias. Sin embargo, el enfoque de esta guía está en los usos no eléctricos, principalmente la utilización de calor.

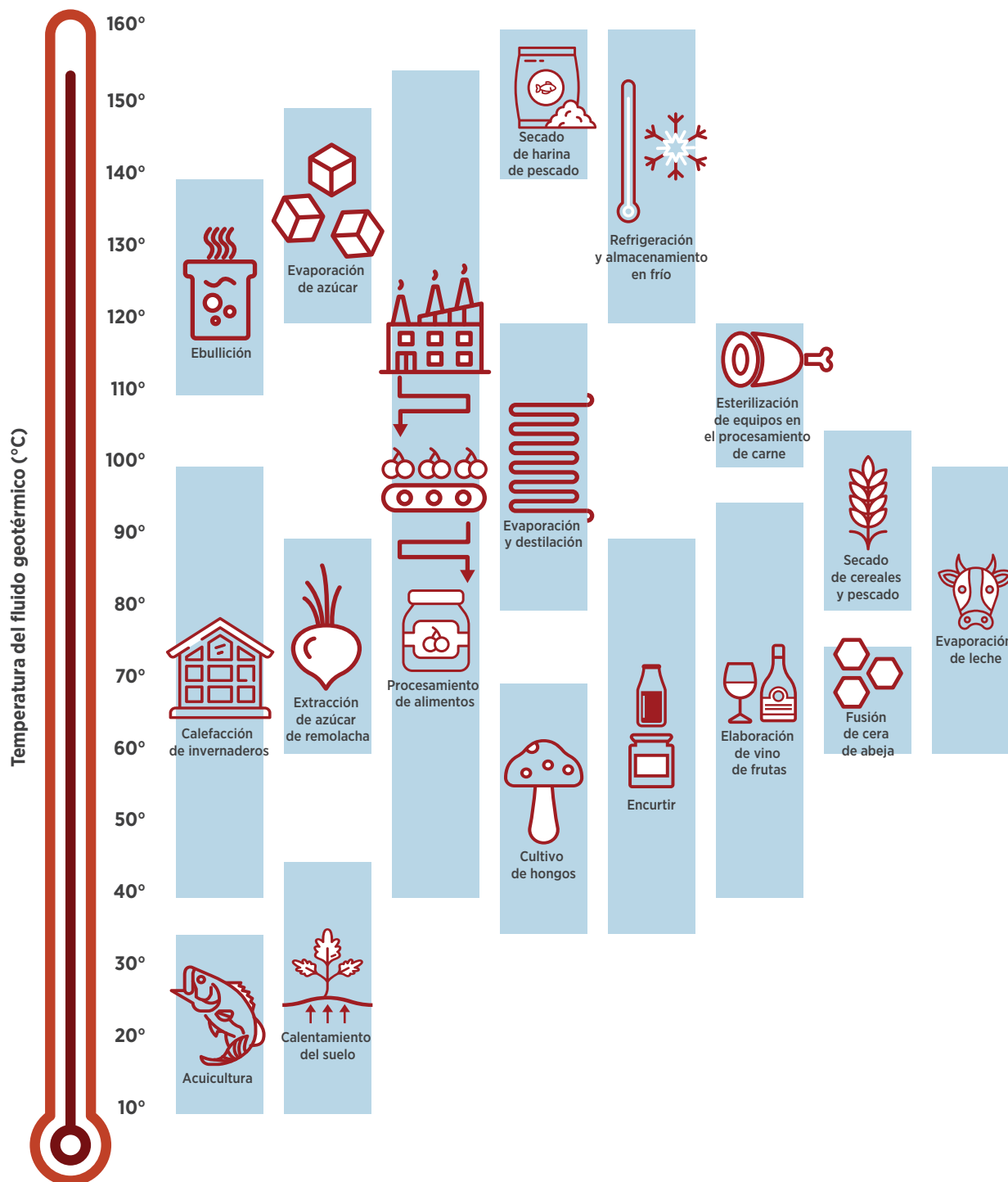
Tabla 2 Aplicaciones de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias

Producción primaria	Poscosecha y almacenamiento	Transporte y distribución	Procesamiento	Preparación y cocción al por menor
<ul style="list-style-type: none"> • Agua para riego • Calefacción de invernaderos y calentamiento del suelo • Calefacción en la acuicultura • Esterilización de suelo, agua de riego y sustrato para cultivo de hongos • Mejora de fotosíntesis a través de CO₂ de fuentes geotérmicas • Fabricación de fertilizantes a partir de azufre • Funcionamiento de bombas de agua mediante electricidad geotérmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Secado y deshidratado de cereales, frutas, verduras, carnes y pescados, etc. • Almacenamiento en frío y refrigeración (eléctricos y térmicos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hielo generado con energía geotérmica • Vehículos eléctricos cargados con energía geotérmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de calentamiento de procesos • Pasteurización, <i>por ejemplo</i>, leche • Esterilización, <i>por ejemplo</i>, enlatado de alimentos • Fermentación y destilación, <i>por ejemplo</i>, cerveza, vinos y destilados • Evaporación, <i>por ejemplo</i>, leche en polvo • Alimentación de equipos de procesamiento mediante electricidad geotérmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Precocción, <i>por ejemplo</i>, enlatado de alimentos • Horneado

Adaptado de IRENA, 2019.

En el sector agroalimentario, la energía geotérmica se utiliza para aumentar la eficiencia y la productividad de diferentes aplicaciones, como la calefacción de invernaderos, la acuicultura y el procesamiento de alimentos, entre otras (Figura 3). El requisito de temperatura para estas aplicaciones puede satisfacerse en gran medida con recursos geotérmicos de temperatura baja a media. Para los recursos geotérmicos de temperatura alta y media, la utilización del calor podría combinarse con la generación de electricidad.

Figura 3 Diagrama de Lindal de usos potenciales de la energía geotérmica en el sector agrícola



Fuente: Adaptado de FAO, 2015.

Producción agrícola

La energía geotérmica puede apoyar la producción agrícola de varias maneras. El calor geotérmico se utiliza para esterilizar el suelo y el agua de riego en la agricultura y para regular la temperatura y la humedad en los invernaderos para mejorar la producción y permitir el crecimiento de cultivos durante todo el año, incluso fuera de temporada o en condiciones climáticas adversas. La temperatura se controla con calor geotérmico para la acuicultura, lo que mejora el rendimiento, aumenta las tasas de crecimiento de las especies y reduce las enfermedades (Climo, 2015).

Calefacción de invernaderos

La aplicación más común de la energía geotérmica en el sector agrícola es la calefacción de invernaderos. La calefacción geotérmica se aplica en invernaderos principalmente para producir flores, frutas y verduras a gran escala, lo que hace que los alimentos estén disponibles durante todo el año. El objetivo de la calefacción de invernaderos es regular la temperatura y la humedad en el invernadero para proporcionar un entorno propicio para los cultivos, lo que da como resultado una mayor tasa de producción, cultivos de mejor calidad y una menor incidencia de enfermedades.

Los recursos geotérmicos de baja temperatura (<90 °C) suelen proporcionar la calefacción necesaria para los invernaderos, aunque el nivel de calefacción necesario depende del producto que se cultive. Por ejemplo, las aguas termales permiten a los agricultores construir y mantener invernaderos geotérmicos durante todo el año en Chena, Alaska. El invernadero Chena, en funcionamiento desde 2004, produce lechuga hidropónica, hierbas, tomates y frutas pequeñas. En la temporada de invierno se utilizan intercambiadores de calor de aire radiante para calentar el aire frío natural mediante energía geotérmica; luego, el aire caliente se ventila hacia un área interior del invernadero. El invernadero también está diseñado para limitar la pérdida de calor y evitar que el aire frío entre en contacto con las plantas (Hein, 2012).

La viabilidad comercial de las operaciones geotérmicas de los invernaderos depende de varios factores, incluido el tipo de cultivo, el clima, la temperatura del recurso, el tipo de estructura, el acceso a los mercados, etc. La ventaja de utilizar la energía geotérmica es que regula la temperatura de acuerdo con las necesidades de cada producto agrícola y reduce los costos de combustible y operación para los operadores de invernaderos (IRENA, 2019). En ciertos casos, los operadores pueden lograr ahorros en costos de combustible de hasta un 80 % en comparación con las fuentes de energía tradicionales (generación a base de diésel o gas), lo que representa alrededor del 5 % al 8 % de los costos operativos totales (NREL, 2014).

Entre los países que utilizan recursos geotérmicos para calentar invernaderos se encuentran China, Hungría, Islandia, Italia, Kenia, Países Bajos, Federación Rusa, Turquía y Estados Unidos (Guglielmetti *et al.*, 2020; Lund y Toth, 2020; FAO, 2015).

El proyecto HEATSTORE financiado por GEOTHERMICA - ERA NET Co-fund incluye un sistema innovador que integra almacenamiento de energía térmica en acuíferos de alta temperatura (HT-ATES) con invernaderos en sitios de demostración y estudio de caso en los Países Bajos (Drijver, Bakema y Oerlemans, 2019). HT-ATES es una técnica innovadora que permite recuperar el exceso de calor de los invernaderos en verano, almacenarlo en acuíferos a unos 500 metros de profundidad y finalmente entregarlo durante las estaciones frías, proporcionando una solución para descarbonizar el suministro energético de los invernaderos, mejorar la eficiencia energética (el sistema de almacenamiento tiene un factor de recuperación esperado del 80 %) y optimizar la sostenibilidad de la producción de alimentos (Drijver, Bakema y Oerlemans, 2019).

Calefacción en la acuicultura

La acuicultura implica la cría de peces y otros organismos marinos en un entorno controlado para facilitar su reproducción y producción. Las principales especies acuáticas criadas en piscifactorías incluyen bagres, salmones, lubinas, tilapias, esturiones, camarones y peces tropicales, entre otros. El calor geotérmico puede proporcionar una temperatura propicia para aumentar la productividad de las operaciones acuícolas. Las piscifactorías utilizan la energía del agua geotérmica para calentar agua dulce/marina en intercambiadores de calor o mediante mezcla directa para obtener las temperaturas requeridas para la acuicultura. Esto acelera la tasa de crecimiento de los organismos, reduce los costos de producción y la hace rentable durante todo el año.

La temperatura de la acuicultura depende de las especies cultivadas, pero normalmente está en el rango de 15 a 30 °C. El agua calentada por energía geotérmica se usa típicamente en canalizaciones, estanques y tanques. Además del control de temperatura, la calidad del agua y el manejo de enfermedades son consideraciones críticas en la acuicultura geotérmica (NREL, 2014).

Entre los países que informan sobre el uso de la energía geotérmica en la acuicultura se encuentran China, Estados Unidos, Francia, Grecia, Islandia, Israel, Italia, Nueva Zelanda y Suiza (Guglielmetti *et al.*, 2020; Lund y Toth, 2020; FAO, 2015). Islandia es líder mundial en acuicultura geotérmica y ha desarrollado algunas de las instalaciones más avanzadas, como se describe en el Recuadro 3.

RECUADRO 3 ACUICULTURA GEOTÉRMICA EN ISLANDIA



El centro de acuicultura más grande de Islandia en Tálknafjörður, Islandia, que utiliza calor geotérmico en sus operaciones de piscicultura.

indican una fuente generalizada de calor geotérmico. Arctic Fish es la principal empresa islandesa en implementar un sistema de acuicultura de reciclaje de agua completo. Tiene la tecnología para regular el calor y la luz de manera óptima para facilitar las condiciones ideales de cría.

La industria de la acuicultura de Islandia es conocida por sus prácticas sostenibles y el uso holístico de los subproductos del pescado. Haustak, una empresa islandesa de productos de pescado seco con sede en el parque de recursos de Reykjanes, utiliza el calor geotérmico de una central eléctrica para secar los productos. Entre los productos secos se encuentran las cabezas de pescado, las espinas y los recortes que anteriormente se eliminaban como desechos pero que ahora se comercializan en África. Debido al secado adecuadamente controlado, la vida útil de estos productos es de hasta dos años (Haustak Dried Fish Products, 2021).

Otro subproducto del pescado, la piel del bacalao, se está utilizando por una empresa biomédica islandesa para tratar heridas al estimular la regeneración de tejidos, debido al alto nivel de omega-3 en la piel del pescado. La piel se obtiene de pescado de origen sostenible y se procesa con energía renovable (Kerecis, 2021).

Islandia está dotada de abundantes recursos naturales. En 2019, los recursos naturales del país representaron el 22 % de su producto interno bruto (PIB) y alrededor del 73 % de las exportaciones. La pesca es la segunda industria más grande de Islandia detrás del turismo y el transporte. Aunque el papel de la agricultura en la economía del país ha disminuido, se han realizado esfuerzos recientes para aumentar las exportaciones de productos agrícolas acompañados de una adopción del uso de calor geotérmico en invernaderos (Cámara de Comercio de Islandia, 2020).

Debido al clima frío de Islandia, las operaciones de acuicultura industrial a gran escala en el país utilizan calor geotérmico. Arctic Fish es una de las historias de éxito recientes de Islandia en este sector. En 2019, la empresa abrió unas instalaciones de acuicultura en Tálknafjörður en los Fiordos del Oeste. Las instalaciones utilizan un sistema de acuicultura de recirculación y se encuentra entre las únicas operaciones de recuperación de agua de este tipo (McDonagh, 2019). Arctic Fish eligió Tálknafjörður como ubicación para sus instalaciones debido a su proximidad a fuentes termales naturales que

Fotografía 1 Cultivo de hongos a partir del calor geotérmico en el campo geotérmico de Kamojang, Indonesia



© Surana et al., 2010

Fotografía 2 Un pasteurizador de leche geotérmico en el campo geotérmico de Menengai, Kenia



© GDC, Kenia

Cultivo de hongos

Una parte crucial del proceso de cultivo de hongos es la esterilización del medio de crecimiento para eliminar cualquier posible contaminante biológico antes de que los hongos comiencen a crecer. El cultivo de hongos generalmente requiere calor en el rango de 40 y 70 °C.

En el campo geotérmico de Kamojang en Java Occidental, Indonesia, la energía geotérmica se utilizó con éxito en este proceso de esterilización (Fotografía 1). Además de los hongos, se llevaron a cabo más investigaciones sobre la esterilización de medios de cultivo de papas. El calor geotérmico fue un sustituto del combustible de petróleo, lo que generó reducciones significativas en los costos y las emisiones (Surana et al., 2010).

Un proyecto piloto similar de cultivo de hongos se lanzó previamente en el campo geotérmico Los Humeros en México en la década de 1990, cuyo objetivo era utilizar el exceso de calor geotérmico en una operación de producción de alimentos para reducir los costos de producción. La sustitución de combustibles fósiles por vapor geotérmico finalmente redujo los costos de pasteurización, incubación y producción, mientras que un mejor control de las condiciones de temperatura y humedad resultó en una mayor producción (Rangel, 1998).

Procesamiento agrícola y valor agregado

El procesamiento de alimentos puede incluir aplicaciones de calor de proceso como evaporación, fermentación, enlatado, pasteurización, esterilización y secado y deshidratación después del procesamiento inicial (*es decir*, transformación a otros productos comerciales). A diferencia de las actividades de producción agrícola, las actividades de procesamiento industrial generalmente requieren temperaturas más altas. El procesamiento agrícola que utiliza calor geotérmico permite a los agricultores entregar mayores volúmenes de productos terminados a los mercados (Climo, 2015).

Pasteurización de leche

La leche es un producto que puede echarse a perder rápidamente debido a su actividad enzimática y crecimiento microbiano y, por lo tanto, requiere un procesamiento oportuno para mantenerla fresca. La industria láctea puede utilizar agua caliente geotérmica para la pasteurización de la leche, así como vapor geotérmico para la pasteurización UHT y la producción de leche en polvo mediante evaporación y secado.

El calor geotérmico se puede utilizar a unos 60-80 °C para pasteurizar la leche y eliminar la mayoría de los microbios. La mayoría de los recursos geotérmicos pueden proporcionar este tipo de temperatura. El tema que requiere más atención

es el enfriamiento de la leche tratada a alrededor de 3-4 °C para su almacenamiento. Esto también se puede lograr mediante el uso de calor geotérmico, pero requiere una temperatura más alta (>120 °C) para proporcionar el efecto de enfriamiento utilizando la tecnología de refrigeración por absorción. También se puede producir leche con una vida útil más larga al pasteurizar la leche con fluidos geotérmicos a mayor temperatura (>130 °C). En este caso, la leche se puede almacenar durante varias semanas después de llevarla al mercado. Por otro lado, la producción de leche en polvo requiere vapor geotérmico a alta temperatura (>200 °C).

El uso de calor geotérmico en el procesamiento de la leche ha tenido lugar en Islandia (desde la década de 1930) y en los Estados Unidos (Klamath Falls, Oregon) y actualmente continúa en Italia, Nueva Zelanda (Lund, 1997) y Rumania. También existe un proyecto de demostración de pasteurización de leche en Kenia (Fotografía 2), y un proyecto de producción de queso en Honduras.

Conservación poscosecha

La energía es un insumo clave en la conservación poscosecha de los productos. Las aplicaciones de calefacción geotérmica pueden soportar el secado y la deshidratación, así como el almacenamiento en frío y la refrigeración de productos para minimizar el desperdicio y la descomposición de los alimentos. La conservación poscosecha mejorada reduce la descomposición de los productos para los agricultores locales y les permite vender materias primas a las industrias basadas en la agricultura.

Secado y deshidratación agrícola

El secado y la deshidratación agrícola se encuentran entre los dos usos más destacados de la energía geotérmica en el sector agroalimentario. Una forma de que los agricultores reduzcan los desechos y aseguren la disponibilidad de alimentos durante todo el año es mediante el secado de productos agrícolas (frutas, verduras, pescado, carne, cereales, etc.). El calor requerido para el proceso de secado normalmente se puede obtener de agua caliente de fuentes geotérmicas. Este proceso a menudo tiene una ventaja sobre el uso de hidrocarburos y electricidad en el procesamiento de alimentos, especialmente en los casos en que el costo de producir agua caliente geotérmica y vapor es bajo.

Una variedad de cultivos son adecuados para el secado y la deshidratación a temperaturas que se pueden suministrar por energía geotérmica. Estos incluyen cereales (maíz, arroz, trigo, etc.), tomates, cebollas, ajo, zanahorias, champiñones, manzanas, mangos, peras y dátiles, entre otros (Recuadro 4). En 2020, alrededor de 15 países usaban energía geotérmica para el secado de varios cultivos (Lund y Toth, 2020).



RECUADRO 4 DESHIDRATACIÓN GEOTÉRMICA DE FRUTAS EN MÉXICO



© Geofood, México

Deshidratación geotérmica de mango en instalaciones de procesamiento en México.

En 1995 se instaló un deshidratador de alimentos en Los Azufres, México, con capacidad para deshidratar un promedio de 400 kilogramos de fruta y producir 40 kilogramos de fruta seca. La temperatura dentro del deshidratador era de 60 °C.

El proyecto Deshidratador Geotérmico de Alimentos (DGA) lo desarrolló el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM) con financiamiento del Centro Mexicano para la Innovación en Energía Geotérmica (CeMIE-Geo). El primer prototipo del deshidratador de alimentos, el modelo DGA10, es un deshidratador que funcionaba haciendo pasar aire caliente a través de la cámara de deshidratación, una sección horizontal (3 metros de largo) con capacidad para procesar 10 kilogramos de fruta en 15 horas.

El DGA está ubicado en el Campo Geotérmico Domo de San Pedro y lo administra el DGA de Nayarit. Cuenta con tres cámaras geotérmicas de secado para deshidratación de alimentos con capacidad para procesar 3 000 kilogramos/lote/día de pulpa alimentaria, lo que produce hasta 900 kilogramos/lote/día de fruta seca procesada. Las frutas deshidratadas en la planta incluyen yucas, mangos, piñas y tomates. Alrededor de 50 personas del área local están empleadas directamente en la planta de deshidratación (90 % mujeres), y alrededor de 60 personas obtienen empleo indirectamente de la planta.

Almacenamiento en frío y refrigeración

El almacenamiento en frío y la refrigeración son necesarios para preservar la calidad de los productos agrícolas y reducir la descomposición, en particular para cultivos perecederos como tubérculos, frutas y verduras. La pérdida de alimentos en las cadenas de valor agroalimentarias debido a la descomposición podría llegar al 20 % en promedio en regiones con baja penetración de almacenamiento en frío (FAO, 2019). En consecuencia, se requiere tratamiento en frío en cada paso de la cadena de valor agroalimentaria para minimizar las pérdidas.

El almacenamiento en frío puede tener múltiples propósitos en las cadenas de valor agroalimentarias, incluida la refrigeración de productos agrícolas, lo que puede reducir las pérdidas y aumentar la producción. Los recursos geotérmicos en el rango de 80 a 150 °C se pueden usar para proporcionar enfriamiento para almacenamiento en frío y refrigeración a través del ciclo de absorción, con temperaturas más altas que aumentan la eficiencia del proceso (Uwera *et al.*, 2015). El equipo de ciclo de absorción es particularmente compatible con la energía geotérmica, ya que utiliza calor para impulsar el fluido de trabajo a través del sistema. Requiere un alto coeficiente de capital pero tiene bajos costos operativos, lo que lo hace más adecuado para operaciones de mediana a gran escala (IRENA y FAO, 2021).

Como resultado, el enfriamiento por absorción con energía geotérmica es técnicamente factible. Sin embargo, su aplicación comercial en la industria agroalimentaria sigue siendo limitada en todo el mundo. Esto se debe a la naturaleza a pequeña escala de los requisitos de enfriamiento en la mayoría de las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas existentes. Las bombas de calor geotérmicas también pueden proporcionar una solución de refrigeración sostenible que es más eficiente energéticamente que los sistemas de refrigeración convencionales.

Aplicaciones de energía geotérmica en el sector agroalimentario en todo el mundo

En el sector agroalimentario, las aplicaciones de calor geotérmico pueden respaldar la seguridad alimentaria, generar empleo, contribuir a la igualdad de género e impulsar el desarrollo económico rural. Los países desarrollados que han implementado aplicaciones agroalimentarias geotérmicas incluyen Japón en Asia; Bosnia y Herzegovina, Grecia, Hungría, Islandia, Italia, los Países Bajos, Polonia, Rumania, la Federación Rusa, Serbia, la República Eslovaca, Suiza y Turquía en Europa; Estados Unidos en Norteamérica; y Australia y Nueva Zelanda en Oceanía (Lund y Toth, 2020).

Las aplicaciones agroalimentarias de uso directo también ocurren en los países en desarrollo. Estos incluyen: Argelia, Kenia y Túnez en África; China, Indonesia, Filipinas, Tailandia y Vietnam en Asia; El Salvador y Guatemala en Centroamérica; México en Norteamérica; y Argentina y Chile en Sudamérica. Sin embargo, el nivel de utilización en los países en desarrollo es bajo en comparación con los países desarrollados, con la excepción de China (Lund y Toth, 2020).

Europa

Europa es un mercado líder para la calefacción y refrigeración geotérmica de edificios residenciales y comerciales a escala individual y de distrito, así como para aplicaciones industriales. Los sistemas geotérmicos se encuentran principalmente en cuencas sedimentarias profundas de temperatura baja a media en toda Europa continental. Las centrales geotérmicas más grandes se encuentran en diversos entornos geológicos en Islandia, Italia, Portugal (Islas Azores), la Federación Rusa y Turquía. Las centrales eléctricas binarias más pequeñas se encuentran en Austria, Bélgica, Croacia, Francia, Alemania, Hungría y Rumania (Richter, 2020a).

Las aplicaciones agroalimentarias que utilizan calor geotérmico están muy extendidas en toda Europa (Guglielmetti *et al.*, 2020; Lund y Toth, 2020; FAO, 2015), notablemente:

- calefacción de invernaderos en Islandia, Italia, Hungría, los Países Bajos, la Federación Rusa y Turquía;
- calefacción acuícola en Islandia, Italia, Polonia, Rumania, Serbia, la República Eslovaca y Suiza;
- cultivo de espirulina en Grecia, Islandia e Italia;
- secado de cultivos en Grecia (deshidratación de frutas y verduras), Islandia (secado de algas y pescado) y Serbia (secado de cereales); y
- aplicaciones industriales en Bosnia y Herzegovina, Islandia (extracción de sal) e Italia (procesamiento de leche); así como en Grecia, Islandia e Italia (vinificación y elaboración de cerveza).

Norteamérica

En Norteamérica, la producción de energía geotérmica se produce en el oeste de los Estados Unidos (California, Idaho, Nevada, Nuevo México, Oregon y Utah), Alaska y Hawái. Canadá tiene un gran potencial para desarrollar recursos geotérmicos de temperatura baja a media, especialmente para apoyar a las comunidades remotas del norte, pero aún tiene que instalar una central eléctrica o implementar aplicaciones de uso directo agroalimentario a partir de 2021. El uso directo de recursos geotérmicos (excluyendo bombas de calor) en los Estados Unidos se ha mantenido casi estático durante la última década, con el cierre de varias instalaciones industriales (*por ejemplo*, deshidratación de cebolla/ajo en Nevada) contrarrestando el crecimiento (Boyd, Sifford y Lund, 2015). Las aplicaciones de calor geotérmico en el sector agroalimentario de EE. UU. incluyen las siguientes (Lund y Toth, 2020):

- calefacción de invernaderos en 44 ubicaciones en 9 estados de EE. UU., principalmente para el cultivo de plantas y flores en macetas y algunas verduras orgánicas;
- 51 pisciculturas y 2 agriculturas de cocodrilos en 10 estados, ya que Estados Unidos es líder mundial en acuicultura; y
- bodegas en California, Nueva York, Virginia y Wisconsin y una cervecería en Oregon (Boyd, Sifford y Lund, 2015)².

² Trout Springs Winery: www.troutspringswinery.com/sustainability.html;

Pearmund Cellars: <https://www.pearmundcellars.com/pearmund-cellars-history/>;

y Sheldrake Point Winery: <https://sheldrakepoint.com/wp-content/uploads/2020/07/Sheldrake-Point-Winery-Goes-Geothermal.pdf>

Oceanía

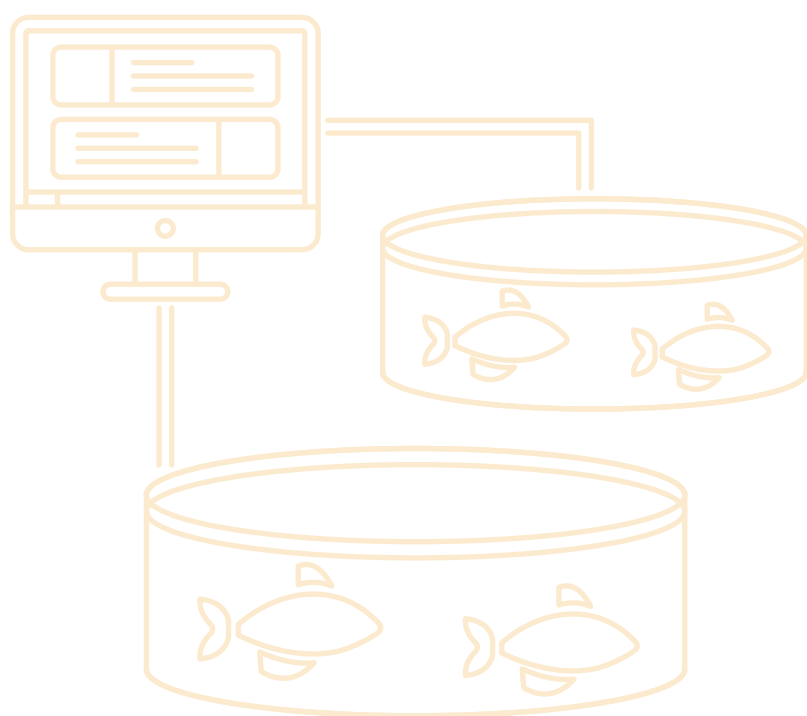
La Zona Volcánica Taupo de Nueva Zelanda es el lugar de producción de energía geotérmica dentro de Oceanía. Existen aplicaciones de calor geotérmico en cascada en varias plantas de energía dentro de esta zona, y existe un énfasis creciente en expandir los negocios de uso directo de la energía geotérmica en Nueva Zelanda (*por ejemplo*, procesamiento planificado de leche en el campo geotérmico de Kawerau y una cervecería planificada en el campo geotérmico de Wairakei). Las aplicaciones agroalimentarias de uso directo en Oceanía incluyen (Daysh *et al.*, 2020; Lund y Toth, 2020):

- calefacción de invernaderos en Nueva Zelanda;
- acuicultura en dos lugares en Australia y dos lugares en Nueva Zelanda;
- secado de alfalfa en Nueva Zelanda; y
- procesamiento de leche en el campo geotérmico de Mokai.

Asia

En Asia, los recursos geotérmicos se encuentran principalmente a lo largo del archipiélago del Anillo de Fuego e incluyen países como Taipéi, Indonesia, Japón y Filipinas, además de China y Tailandia. China se ha convertido rápidamente en el líder mundial en la utilización del calor geotérmico. Las principales aplicaciones de uso directo en China incluyen bombas de calor geotérmicas, acuicultura y secado de cultivos agrícolas. Otras aplicaciones agroalimentarias de uso directo en Asia incluyen las siguientes (Lund y Toth, 2020; FAO, 2015):

- calefacción de invernaderos en China y Japón;
- acuicultura en China (granjas y estanques piscícolas), Indonesia (bagre), Japón (tilapia, camarones), Jordania (tilapia) y Vietnam (piscicultura);
- secado de cultivos en China, Indonesia (frijoles y cereales en el campo geotérmico de Kamojang, secado de granos de café y hojas de té), Japón (secado de vegetales) y Tailandia (plátanos, chile, ajo, maíz, tabaco, secado de maní en los campos geotérmicos de Sankamphaeng y Fang) y Filipinas (carne de coco); y
- aplicaciones industriales en India (procesamiento de alimentos), Indonesia (cultivo de hongos en el campo geotérmico de Kamojang, procesamiento de copra para hacer aceite de coco) y Vietnam (extracción de sal).



Fotografía 3 Invernadero que utiliza calor geotérmico en Menengai, Nakuru, Kenia



África Oriental

Los recursos geotérmicos en esta región se encuentran principalmente a lo largo del Rift de África Oriental, que atraviesa 13 países y puede dividirse geográficamente en las ramas este y oeste, así como en las Islas Comoras. La rama oriental tiene predominantemente sistemas geotérmicos de alta temperatura alojados en volcanes aptos para plantas de energía de vapor flash y aplicaciones de uso directo en cascada, mientras que la rama occidental tiene predominantemente sistemas alojados por fallas de temperatura baja a media aptos para centrales eléctricas binarias y aplicaciones de uso directo.

A pesar del importante potencial geotérmico en la región, Kenia es el único país con aplicaciones agroalimentarias de uso directo reportadas. Sin embargo, existe un gran potencial en otros países de África Oriental, donde el sector agrícola sigue siendo un motor económico clave. Las aplicaciones de uso directo existentes en las cadenas de valor agroalimentarias de la región incluyen las siguientes:

- secado agrícola: *por ejemplo*, secado de granos y flores de piretro en Eburru, Kenia; y
- unas instalaciones de demostración de uso directo en Menengai, que extraen calor de un pozo de baja presión no apto para la generación de electricidad. El proyecto piloto implica una variedad de aplicaciones de calefacción geotérmica, que incluyen calefacción para un invernadero (Fotografía 3), unidad de acuicultura, pasteurizador de leche y secador de granos.

América Latina y el Caribe

La región de América Latina y el Caribe tiene un importante potencial geotérmico, con la mayoría de los recursos ubicados en las siguientes ubicaciones geográficas: Centroamérica y México (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y Panamá), la Cordillera de los Andes de Sudamérica (Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y los estados y territorios del Caribe Oriental (la Mancomunidad de Dominica, Granada, Guadalupe, Martinica, Montserrat, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía y San Vicente y las Granadinas). La mayoría de los recursos geotérmicos son sistemas de alta temperatura calentados por magma.

El Salvador, Guatemala y México lideran la región de América Latina en aplicaciones agroalimentarias con calor geotérmico suministrado por pozos poco profundos o integrado con centrales geotérmicas en funcionamiento. Chile lidera la subregión de la Cordillera de los Andes de Sudamérica en aplicaciones agroalimentarias que suministran calor a partir de bombas de calor geotérmicas. El uso directo de la energía geotérmica para los sistemas agroalimentarios aún no se ha implementado en los estados y territorios del Caribe Oriental. Existe un creciente interés entre muchas partes interesadas en la región de América Latina y el Caribe por un mayor uso del calor geotérmico, la aplicación de bombas de calor geotérmicas y un mejor clima de inversión.

A continuación se presentan ejemplos de aplicaciones agroalimentarias geotérmicas en la región.

El Salvador

El desarrollador geotérmico estatal Geotérmica Salvadoreña, S.A. de C.V. (LaGeo) tiene proyectos comunitarios locales para aplicaciones agroalimentarias que emplean la utilización directa de fluidos geotérmicos en los campos geotérmicos de Ahuachapán y Berlín. Los proyectos de uso directo se implementan por FundaGeo, organización sin fines de lucro de LaGeo, una fundación social que opera desde 2006 para implementar iniciativas de responsabilidad social corporativa para beneficiar a las comunidades rurales locales (González *et al.*, 2019). FundaGeo proporciona a las comunidades locales subproductos geotérmicos excedentes (vapor, condensado de vapor y calor del agua de reinyección), así como capital inicial, capacitación e infraestructura para usos productivos y potencial de generación de ingresos (ESMAP, 2019; González *et al.*, 2019).

En el campo geotérmico de Ahuachapán, el vapor geotérmico se utiliza para la fabricación de velas artesanales, y el condensado de vapor se utiliza para regar las plantas de café, así como en la apicultura para procesar la miel. En el campo geotérmico de Berlín se deshidratan frutas como manzanas, plátanos, cocos y piñas para su venta y consumo por parte de la comunidad local, con una capacidad instalada estimada para secado agrícola de 1.7 megavatios-térmicos (MW_{th}) y 21 terajulios (TJ) por año de energía (Rodríguez y Herrera, 2005). Las comunidades vecinas utilizarán una secadora de café recién construida. El proceso de secado del café utilizará calor de agua geotérmica separada de 170 °C que se obtiene de una tubería de reinyección. Después de la extracción de calor para el proceso de uso directo, el agua debe devolverse a la misma tubería a temperaturas no inferiores a 150 °C para evitar la incrustación de sílice aguas abajo en el campo de vapor y los pozos (Fotografía 4).

Fotografía 4 Proyectos comunitarios locales que utilizan subproductos de la energía geotérmica en El Salvador



Producción de velas artesanales con vapor geotérmico (izquierda), café regado con condensado de vapor (centro) y secado de café con agua de reinyección (derecha) en El Salvador.

Guatemala

Hay dos proyectos de uso directo geotérmico en el sector agroalimentario cerca del campo geotérmico de Amatitlán. El proyecto piloto de demostración del miniparque industrial geotérmico de San Michkael produce agua caliente y vapor de pozos poco profundos, que se utilizan para deshidratar alimentos, granos, frutas y verduras, para producir velas hechas a mano y para proporcionar producción de agua fría y caliente para múltiples usos industriales. El almacenamiento en frío y otras aplicaciones en cascada se están evaluando (Paiz, 2021).

En 1999, la empresa Agroindustrias La Laguna construyó una planta de demostración adyacente al campo geotérmico de Amatitlán. La planta deshidrata manzanas, plátanos, chiles, mangos, peras y piñas. El calor geotérmico se suministra para el proceso de deshidratación por un intercambiador de calor de fondo de pozo en un pozo poco profundo perforado a 120 metros de profundidad que no era capaz de producir fluidos (Mérida, 1999). La energía utilizada en el secado agrícola se estima en $0.5 \text{ MW}_{\text{th}}$ y 12 TJ por año (Lund y Toth, 2020).

México

En México, la mayoría de las aplicaciones de uso directo se encuentran en balneología (aplicaciones de salud y terapéuticas) y calefacción de espacios. En el sector agroalimentario, el calor geotérmico se utiliza para calefacción de invernaderos y aplicaciones de secado de frutas (véase Recuadro 4: Secado geotérmico de frutas en México). La utilización del calor geotérmico se inició por primera vez por la Comisión Federal de Electricidad a través de una serie de proyectos piloto para demostrar la viabilidad técnica de las aplicaciones de uso directo del calor geotérmico en tres campos geotérmicos operativos: Cerro Prieto, Los Azufres y Los Humeros. Los proyectos piloto incluyeron calefacción de oficinas, invernaderos calefaccionados, un deshidratador de frutas y verduras, germinación de bulbos, producción acelerada de flores, un vivero de hongos comestibles y secado de madera (Casimiro y Pastrana, 1996).

Región Andina de Sudamérica

En Chile, las bombas de calor geotérmicas se utilizan para aplicaciones de calefacción en la acuicultura, los invernaderos y la industria del vino. Un proyecto piloto en el sur de Chile utiliza energía geotérmica para respaldar el cultivo y la cosecha durante todo el año en invernaderos con calefacción geotérmica en Puerto Aysén, una ciudad remota donde hace frío y llueve durante gran parte del año, lo que complica el acceso a las verduras frescas locales. En Argentina, el uso limitado del calor geotérmico ocurre en tres sitios para acuicultura e invernaderos (Lund y Toth, 2020).

Caribe Oriental

El uso directo en el Caribe Oriental se limita actualmente a aplicaciones no agroalimentarias, como nadar y bañarse. Sin embargo, existe un interés creciente en las aplicaciones agroalimentarias, incluido el potencial para el secado de cultivos (*por ejemplo*, plátanos, cacao, algas y caña de azúcar / ron). La Organización de Estados del Caribe Oriental encargó recientemente un estudio de uso directo en las islas del Caribe Oriental con el apoyo del gobierno de Nueva Zelanda (Ephraim, 2020).



DIRECTRICES PARA ADOPTAR Y AMPLIAR EL USO DE CALOR GEOTÉRMICO EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO

Esta sección proporciona una descripción general de los componentes clave del uso directo del calor geotérmico en los sistemas agroalimentarios y las medidas recomendadas para que los encargados de formular políticas amplíen la adopción de esta tecnología. Las siete áreas prioritarias que se cubren son: 1) identificación de recursos geotérmicos y ubicación conjunta con la demanda de energía en el sector agroalimentario; 2) marcos jurídicos, normativos y de políticas propicios; 3) alineación intersectorial y participación de múltiples partes interesadas; 4) desarrollo y propiedad del proyecto; 5) acceso al financiamiento; 6) desarrollo de capacidades locales, educación y conciencia; y 7) aprovechamiento de la tecnología, la innovación y la sostenibilidad. La sección también identifica brechas y desafíos que dificultan la ampliación de las tecnologías de uso directo en el sector agroalimentario y proporciona posibles soluciones y estudios de caso correspondientes para ejemplificar cómo se pueden abordar los obstáculos identificados.

3.1 Identificación de recursos geotérmicos y ubicación conjunta con la demanda de energía en el sector agroalimentario

Se pueden utilizar varios tipos de recursos de energía geotérmica para aplicaciones agroalimentarias en un rango de profundidades y temperaturas. Estos incluyen fluidos geotérmicos de baja, media y alta temperatura que se pueden obtener de yacimientos poco profundos o profundos. Los fluidos geotérmicos pueden llegar a la superficie de la tierra en forma de aguas termales o fumarolas, o a través de pozos perforados para acceder a los yacimientos geotérmicos.

En entornos geológicos volcánicos (*por ejemplo*, a lo largo de los valles del rift y el Anillo de Fuego o en las islas volcánicas), los recursos profundos tienden a tener temperaturas más altas; sin embargo, en cuencas sedimentarias (*por ejemplo*, en Europa continental), los recursos profundos tienen temperaturas más bajas. Existen varios esquemas de clasificación de los recursos geotérmicos por profundidad, temperatura, entorno geológico y otras características (Williams, Reed y Anderson, 2011). A los efectos de utilizar los recursos geotérmicos para aplicaciones de uso directo, las siguientes clasificaciones son las más aplicables:

Profundidad

- Las manifestaciones superficiales de los fluidos geotérmicos ocurren como aguas termales, fumarolas, suelo humeante, piscinas de lodo y géiseres.
- Los recursos geotérmicos poco profundos ocurren en el subsuelo cercano hasta unos cuantos cientos de metros de profundidad.
- Los recursos geotérmicos profundos en las regiones volcánicas se pueden alojar entre 1000 y 3000 metros de profundidad, mientras que los sistemas geotérmicos alojados en cuencas sedimentarias se pueden encontrar a profundidades superiores a los 5000 metros.

Temperatura

- Los recursos geotérmicos de alta temperatura son sistemas predominantemente líquidos, bifásicos o dominados por vapor que generalmente se consideran superiores a 150 °C.
- Los recursos geotérmicos de temperatura media son generalmente sistemas predominantemente líquidos y se considera que están en el rango de 100-150 °C.
- Los recursos geotérmicos de baja temperatura están dominados por líquidos y generalmente se considera que tienen menos de 100 °C.

La temperatura disponible del recurso geotérmico influirá en gran medida en la elección de la aplicación de uso directo a desarrollar. En general, las principales fuentes de energía geotérmica para aplicaciones agroalimentarias pueden incluir las siguientes:

- agua caliente disponible como subproducto de plantas binarias y plantas de vapor flash antes de ser reinyectadas;
- agua caliente o vapor de pozos geotérmicos no comerciales (*es decir*, donde la presión/temperatura es demasiado baja para soportar la generación de electricidad);
- agua caliente o vapor de pozos ubicados a una distancia no económica de las centrales eléctricas existentes;
- exceso de vapor de los pozos geotérmicos existentes, que no se utiliza para la generación de electricidad;
- salida de yacimientos geotérmicos como aguas termales y fumarolas;
- agua de pozos con temperatura elevada;
- agua caliente coproducida con petróleo y gas o de pozos de petróleo y gas reutilizados; y
- energía procedente de suelos poco profundos o aguas subterráneas a poca profundidad, en combinación con bombas de calor para aumentar la temperatura.

Un desafío clave que enfrenta la industria geotérmica es que la mayoría de los recursos geotérmicos aptos para uso directo están en gran parte sin explorar. A menudo ocurre que se dispone de datos inadecuados para estos recursos, lo que no puede justificar la perforación de pozos geotérmicos. Sin embargo, en muchos casos estos recursos pueden estar ubicados cerca de áreas agrícolas productivas. Además, estos recursos pueden ocurrir a poca profundidad y, por lo tanto, pueden desarrollarse más fácilmente y a un costo menor que los recursos geotérmicos más profundos. La perforación de nuevos pozos para proyectos de uso directo plantea un desafío financiero, ya que a menudo tiene un costo prohibitivo para proyectos de uso directo a pequeña escala. Por lo tanto, la integración de aplicaciones agroalimentarias geotérmicas en proyectos de generación de electricidad para utilizar salmuera separada en operación en cascada, fluidos geotérmicos de pozos no comerciales o exceso de vapor y salmuera caliente de la generación de electricidad puede minimizar los riesgos de perforación.

Como paso inicial, el desarrollo de portales de datos digitales, bases de datos en línea, mapas SIG interactivos y herramientas analíticas pueden ayudar a identificar áreas potenciales con recursos geotérmicos adecuados para aplicaciones de uso directo. Como se destaca en el Recuadro 5, muchos países y regiones han desarrollado este tipo de herramientas para apoyar la identificación inicial de sitios con potencial técnico económico para aplicaciones de uso directo. Los mapas interactivos y las herramientas analíticas facilitan las evaluaciones de recursos geotérmicos de uso directo para inversionistas potenciales a nivel regional, nacional y local. Estas plataformas no reemplazan los estudios de factibilidad técnica en profundidad; más bien, brindan una descripción general inicial del potencial geotérmico para una ubicación o región determinada. Los portales digitales son útiles para los encargados de formular políticas para crear conciencia sobre las soluciones geotérmicas, promover el desarrollo geotérmico acelerado y alentar el desarrollo de nuevas áreas.

RECUADRO 5 MAPAS GEOTÉRMICOS DIGITALES INTERACTIVOS COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE RECURSOS PARA APOYAR LAS INVERSIONES

A continuación se presentan ejemplos de mapas interactivos, herramientas analíticas y portales de datos digitales basados en la web que se han desarrollado a nivel regional (África Oriental, Europa Central) y nacional (México, Hungría, los Países Bajos, los Estados Unidos, Canadá y Suiza):

- **La Base de datos del inventario geotérmico de África (AGID; África Oriental)** es un repositorio de datos digitales en línea y una plataforma web de intercambio de información SIG para 13 países de África Oriental. La AGID de la ONU para el Medio Ambiente proporciona un centro centralizado de información geotérmica disponible para el sector público, el sector privado y otras partes interesadas. La base de datos promueve el desarrollo y uso de recursos de energía geotérmica con el objetivo de catalizar la inversión en proyectos geotérmicos. El visor de mapas GIS contiene información sobre los países participantes, sitios geotérmicos, centrales eléctricas, organizaciones, laboratorios, equipos y recursos humanos en el Rift de África Oriental. La AGID se lanzó en 2014, mientras que el visor de mapas se creó en octubre de 2016 y se actualizó por última vez en septiembre de 2017.
- **La Plataforma de información geotérmica de la región del Danubio (Europa Central)** es un portal regional para proporcionar datos e información sobre la energía geotérmica en la cuenca de Panonia, que incluye seis países y territorios (Bosnia y Herzegovina, Croacia, Hungría, Rumania, Serbia y Eslovenia). El portal se diseñó en 2019 por el proyecto de Energía Geotérmica Líder en la Región del Danubio, un consorcio internacional de estudios geológicos, universidades, industria y socios de organismos de desarrollo, para promover el uso sostenible de los recursos de energía geotérmica profunda en su mayor parte sin explotar en la cuenca de Panonia, así como fomentar la colaboración y el intercambio de ideas entre las partes interesadas de la industria geotérmica en toda la región del Danubio. Además, el portal se creó para sensibilizar a los encargados de formular políticas y tomar decisiones sobre las ventajas de la energía geotérmica como solución para la descarbonización del sector de la calefacción. El portal contiene un visor de mapas en línea, que brinda acceso a información sobre conjuntos de datos con referencia espacial (perforaciones, mapas, etc.), así como módulos temáticos sobre intercambio de conocimientos, evaluación comparativa, mitigación de riesgos geológicos, legislación y licencias, y un glosario y árbol de decisiones.
- **El Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL; México)** es una plataforma estadística y GIS en línea fácil de usar y de acceso público que proporciona información sobre el uso y el potencial de la energía geotérmica y otras fuentes de energías renovables. La plataforma está disponible en español e inglés, y todos los datos se pueden descargar. El INEL lo elaboró la Secretaría de Energía (SENER) en colaboración con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de acuerdo con el mandato para su creación en la Ley de Transición Energética de 2015. El INEL consta de tres componentes para cada tecnología renovable: 1) un inventario de generación, 2) un inventario de potencial estimado y 3) información cartográfica GIS sobre el potencial del recurso. Cada uno de los dos inventarios incluye herramientas de análisis interactivo; consultas de los usuarios por región geográfica, tecnología, clasificación probada o probable, capacidad de generación o fuente de datos; ubicación de los sitios de generación de energía; y estadísticas sobre capacidad instalada y generación. La información del mapa GIS geotérmico sobre el potencial de recursos comprende permisos y concesiones geotérmicas, mediciones de flujo de calor en pozos y un mapa nacional de temperatura del subsuelo. Aunque gran parte de la información geotérmica pertenece a la generación de electricidad, el mapa del potencial geotérmico también es útil para evaluar proyectos de uso directo. El propósito del INEL es brindar información a posibles inversionistas, investigadores y encargados de formular políticas y, en general, promover la generación de electricidad utilizando fuentes de energía limpia. Está destinado a servir como una herramienta para los encargados de tomar decisiones gubernamentales sobre políticas, marcos jurídicos, incentivos económicos y financiamiento para facilitar el uso de energía limpia. La aplicación del sitio web se actualizó por última vez en agosto de 2018.

- **El Sistema geotérmico húngaro (Hungria)** es una plataforma web fácil de usar y de acceso público que proporciona datos geológicos, hidrogeológicos, geofísicos y de pozos sobre recursos de energía geotérmica en Hungría. Se creó en 2020 con la intención de ayudar a los encargados de formular políticas e inversionistas nacionales e internacionales a realizar el trabajo preparatorio necesario para nuevos proyectos en Hungría, así como para apoyar el interés académico y público en general. El portal contiene datos de mapas digitales, así como módulos de análisis para brindar asistencia durante todas las etapas del desarrollo del proyecto. Sobre la base de los resultados del proyecto Energía Geotérmica Líder en la Región del Danubio, las herramientas de análisis incluyen evaluación comparativa (evaluación de prácticas de gestión y utilización de aguas termales en las áreas de gestión de licencias, tecnología, medio ambiente y aspectos sociales), árboles de decisiones (puntos de decisión durante el desarrollo del proyecto relacionados con los recursos geotérmicos, el mercado, la concesión de licencias y el financiamiento) y la mitigación de riesgos (identificación de riesgos geológicos y medidas de mitigación apropiadas).
- **ThermoGIS (Países Bajos)** es un sistema GIS público basado en la web que proporciona mapas de temperatura del subsuelo y acuíferos derivados de datos de pozos geotérmicos, de petróleo y gas. ThermoGIS se creó en 2010 con el objetivo principal de apoyar a las empresas y al gobierno a desarrollar la energía geotérmica en los Países Bajos. Una herramienta para calcular el potencial técnico económico para aplicaciones de calefacción de uso directo (excluyendo la generación de electricidad) se puede utilizar para estudios de factibilidad y selección de sitios. El análisis de factibilidad económica utiliza un modelo de flujo de caja descontado que incorpora parámetros de costo y el esquema de subsidio a la producción de energía holandés SDE+, entre otros. La plataforma en línea está destinada a ayudar a los encargados de formular políticas a promover el desarrollo geotérmico acelerado y alentar el desarrollo de nuevas áreas. A medida que crece la industria de la calefacción geotérmica, cada año se dispone de nuevos datos de pozos y ThermoGIS se actualiza con regularidad (Vrijlandt *et al.*, 2019).
- **El Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) Geothermal Prospector (Estados Unidos)** es una herramienta de mapas visuales que integra datos geoespaciales relacionados con la energía geotérmica de universidades y organismos gubernamentales en los Estados Unidos. El mapa interactivo incluye información sobre los recursos geotérmicos existentes, así como los que se encuentran en exploración. También contiene información sobre recursos geotérmicos de baja temperatura. Además, la plataforma de mapas tiene una herramienta de detección analítica para visualizar pozos y realizar una evaluación de recursos geológicos, técnicos y socioeconómicos.
- **La Base de datos geotérmica nacional canadiense (Canadá)** es una plataforma en línea de código abierto que proporciona capas de mapas digitales descargables que sirven como herramientas para evaluar el potencial de los recursos y para respaldar las decisiones de inversión. La plataforma tiene como objetivo mejorar la accesibilidad de la información para mitigar el riesgo de exploración e inversión, reducir la fragmentación de la recopilación de datos, aumentar la confiabilidad de los datos y brindar conocimiento sobre el potencial geotérmico de Canadá.
- **La Base de datos geológica de Suiza (Suiza)** es una plataforma en línea de código abierto que proporciona capas de mapas digitales descargables que incluyen conjuntos de datos específicos para recursos geotérmicos. Los datos de calor se calculan a partir del gradiente de temperatura (valor medio de aproximadamente 30 Kelvin por kilómetro) y la conductividad térmica de la roca (valor medio de aproximadamente 3 vatios por metro Kelvin). La base de datos también muestra la distribución de temperatura y la posición de las fallas a diferentes profundidades fijas y en superficies seleccionadas que representan horizontes de marcadores sísmicos o isotermas. Las superficies del horizonte se toman del modelo geológico 3D GeoMol15 y las temperaturas del modelo de temperatura GeoMol15, que se compone de celdas normales de 1 000 x 1 000 x 100 metros de tamaño. El modelo de bloque de temperatura se deriva de un modelo de temperatura del método de elementos finitos (EF), que se basa principalmente en 31 perfiles de temperatura verticales, y las superficies del horizonte se derivan del Atlas sísmico de la cuenca suiza de Molasse (Sommaruga, Eichenberger y Marillier, 2012). El método de modelado de temperatura EF asume solo el flujo de calor conductivo y no considera el flujo de calor convectivo. El GeoMol15 y el modelo de temperatura asociado están disponibles para visualización en línea con GeoMol Viewer*.

* Véase: map.geo.admin.ch.

La realización de evaluaciones de recursos para proyectos de uso directo también debe garantizar que haya suficiente demanda de energía, considerando que la energía (calor) debe usarse en las cercanías del área del recurso. La integración de la tecnología geotérmica de uso directo en las cadenas de valor agroalimentarias requiere la alineación geográfica del mercado agroalimentario o la aplicación industrial con el recurso geotérmico. La temperatura del recurso también debe alinearse con el requisito de temperatura límite superior de la aplicación deseada. Además, se deben lograr tasas de flujo adecuadas del fluido geotérmico para suministrar la capacidad de energía requerida para la aplicación deseada, mientras que la composición química de los fluidos debe ser propicia para su utilización.

Existen dos enfoques para lograr esta alineación de múltiples componentes de ubicación geográfica, temperatura y tasa de flujo, ya sea comenzando con la aplicación de uso directo o comenzando con el recurso geotérmico:

- **Disponibilidad de recursos (optimización de ingeniería de la aplicación):** realizar una evaluación técnica local del recurso geotérmico en el sitio de unas instalaciones agroalimentarias existentes y una evaluación de ingeniería de las propias instalaciones para evaluar sus requisitos de calor y/o electricidad. A menos que las instalaciones estén ubicadas por casualidad cerca de un sistema geotérmico conocido, las tecnologías más adecuadas suelen ser aplicaciones de uso directo a temperaturas más bajas (menos de 60 °C) que reciben energía de pozos hidrotermales poco profundos, que podrían integrar bombas de calor. Las aplicaciones de baja temperatura incluyen la acuicultura, los invernaderos geotérmicos, el calentamiento del suelo, el riego y el cultivo de hongos. Estos tipos de aplicaciones agrícolas son más frecuentes en todo el mundo debido a su menor requisito de temperatura del recurso geotérmico.
- **Demanda de la industria (uso oportunista del recurso):** realizar una evaluación técnica regional para identificar los sitios más favorables para producir energía geotérmica y atraer industrias para que se reubiquen allí. Esto también podría implicar llevar a cabo una evaluación de las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas potenciales alrededor de un área con potencial geotérmico conocido. Por ejemplo, la empresa islandesa Arctic Fish (véase Recuadro 3) eligió Tálknafjörður como ubicación de sus instalaciones debido a su proximidad a aguas termales naturales (Richter, 2019a). En Eburru en Kenia, el vapor de un pozo poco profundo existente perforado en la década de 1950 se usa para proveer energía para secar las flores de piretro cultivadas localmente. Luego, el vapor que sale del secador se recolecta, se condensa y se usa para proveer agua potable a la comunidad (Ndetei, 2016).

Durante la evaluación inicial del proyecto, puede ser un desafío identificar mercados agroalimentarios potenciales y hacer coincidir geográficamente la aplicación con el recurso geotérmico. Esto se puede abordar ya sea al optimizar la ingeniería en unas instalaciones existentes para adaptarse al recurso o al reubicar la industria en ubicaciones favorables donde las aguas termales y los desarrollos geotérmicos existentes o planificados puedan proveer calor para aplicaciones agroalimentarias. Este proceso de emparejamiento se puede facilitar mediante la realización de estudios de prefactibilidad que identifican las industrias agroalimentarias potenciales ubicadas alrededor de las áreas de recursos geotérmicos. Estos tipos de estudios pueden incluir la identificación y el mapeo de cadenas de valor clave que podrían beneficiarse de la energía geotérmica, la ubicación de las instalaciones existentes que podrían cambiar a la energía geotérmica y la disponibilidad de infraestructura crítica, por ejemplo, carreteras, suministro de energía y acceso a mercados para agroproductos.

En 2013-2014, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y la Compañía de Desarrollo Geotérmico (GDC) de Kenia implementaron el proyecto Powering African Agriculture (Energizar la Agricultura Africana) en Kenia para apoyar el uso de la energía geotérmica a lo largo de las cadenas de valor agroalimentarias. Durante el proyecto, se llevaron a cabo estudios de prefactibilidad para evaluar el potencial de cinco cadenas de valor agroalimentarias que se encuentran a lo largo del Rift de Kenia que podrían beneficiarse de los recursos geotérmicos cercanos, es decir, el sector lácteo, el cultivo en invernaderos, la acuicultura, el secado de cultivos y el sector ganadero (USAID y GDC, 2014). Estos estudios de prefactibilidad incluyeron un estudio de mercado, análisis de oferta y demanda, requerimientos de energía, potencial de reubicación y análisis financiero.

El uso de bases de datos en línea del potencial geotérmico con los mapas interactivos comentados en esta sección puede integrar conjuntos de datos críticos sobre agroalimentación para respaldar la toma de decisiones sobre inversiones. Estos mapas señalan a los inversionistas y a los encargados de formular políticas las áreas con mayor potencial para ubicar conjuntamente aplicaciones geotérmicas y agroalimentarias. En Nueva Zelanda, se desarrolló una base de datos de energía geotérmica que muestra las diversas aplicaciones de la energía geotérmica en un mapa interactivo. Como se muestra en la Figura 4, la mayoría de las aplicaciones de uso directo, incluidos la acuicultura, los invernaderos y los usos industriales, se encuentran en las Islas del Norte, donde se encuentran los principales recursos geotérmicos.

Figura 4 Mapa interactivo de uso geotérmico de Nueva Zelanda



Fuente: GNS Science, 2021.

Exención de responsabilidad: este mapa se proporciona únicamente con fines ilustrativos. Los límites y nombres que se muestran en este mapa no implican la expresión de ninguna opinión por parte de IRENA sobre el estado de cualquier región, país, territorio, ciudad o área ni de sus autoridades ni sobre la delimitación de fronteras o límites.

3.2 Facilitación de los marcos jurídicos, normativos y de políticas

La integración de la energía geotérmica en los sistemas agroalimentarios requiere normativas y políticas gubernamentales coordinadas. Una política gubernamental coherente sirve para alinear objetivos, movilizar el apoyo de los sectores público y privado, facilitar la inversión y maximizar los beneficios. Los gobiernos desempeñan un papel fundamental en el apoyo a la adopción de la energía geotérmica en los sistemas agroalimentarios mediante el establecimiento de objetivos y normas, la sensibilización, el desarrollo de capacidades, la inversión en innovación tecnológica y el desarrollo de infraestructura para mejorar el acceso al mercado (IRENA y FAO, 2021).

Algunos de los principales instrumentos de política diseñados para atraer inversiones y facilitar el desarrollo de proyectos geotérmicos de uso directo incluyen tarifas de calor, mecanismos de subsidio, incentivos fiscales, esquemas de mitigación de riesgos y programas de seguros.

- El establecimiento de un mecanismo para desarrollar una tarifa de calor competitiva incentiva la generación de calor a partir de energía geotérmica. Las tarifas de calor determinan el precio al que se venderá la energía térmica a las empresas agroalimentarias. Una tarifa ideal es aquella que es aceptable tanto para las empresas como para el desarrollador geotérmico y podría usarse para mejorar la viabilidad crediticia del negocio de suministro de energía y ayudar a los desarrolladores a obtener financiamiento para el proyecto (véase la sección 4.2).
- En los casos en que el costo de la generación de calor geotérmico sea más alto que las alternativas disponibles en el mercado, se puede instituir un esquema de subsidio para compensar a los operadores de plantas de calor por la diferencia entre el costo de generar calor renovable y el precio de mercado prevaleciente del calor de fuentes alternativas. En los Países Bajos, la Producción de Energía Sostenible y la Transición Climática (SDE++) brinda apoyo

financiero a los operadores de tecnologías de energías renovables, incluida la energía geotérmica. El esquema proporciona subsidios a los operadores de tecnologías renovables o de reducción de carbono en la generación de electricidad, calor y gas por una duración de hasta 15 años, dependiendo de la tecnología. Para 2020, el programa (y su predecesor, SDE+) había beneficiado a 18 proyectos geotérmicos al proporcionar un subsidio de 0.023 EUR (0.026 USD) por kilovatio-hora para calor geotérmico (Ramsak, 2020).

- Los incentivos fiscales son otra herramienta de política que se puede aplicar tanto al sector geotérmico como al agroalimentario. Las exenciones de impuestos sobre la compra de equipos y componentes reducen los costos del sistema para los operadores. Los incentivos fiscales también se pueden aplicar para apoyar la operación sostenible de las empresas agroalimentarias, particularmente en los primeros años de operación, por ejemplo, a través de exenciones del impuesto sobre la renta, entre otros. En los Estados Unidos, los créditos fiscales federales y estatales han respaldado el desarrollo de aplicaciones de energía geotérmica de uso directo. En Indonesia, en virtud de la Ley Ómnibus promulgada en 2020, existen incentivos que eliminan el requisito de que los titulares de licencias de uso directo de la energía geotérmica paguen tarifas de producción (SSEK, 2020).
- Los esquemas de seguro y mitigación de riesgos patrocinados por el gobierno y el sector privado mejoran la viabilidad financiera de los proyectos de uso directo de la energía geotérmica al reducir el riesgo en la perforación para los desarrolladores de proyectos. La elección del esquema de mitigación depende en gran medida de la madurez de los mercados geotérmicos en un país o región determinado, con esquemas basados en subvenciones que se establecen en mercados incipientes, mientras que los esquemas basados en seguros son más adecuados para mercados maduros con una cartera grande de proyectos. Francia cuenta con un sistema de seguro de perforación desde 1982 que compensa a los desarrolladores por hasta el 90 % del costo de un pozo si el caudal o la temperatura del pozo son insuficientes para sustentar el proyecto (USAID y GDC, 2014). El fondo de garantía de riesgo geotérmico holandés, establecido en 2009, prevé la compensación de los desarrolladores a una tasa del 85 % del costo total del proyecto en caso de falla. El fondo, que apoyó 11 proyectos geotérmicos entre 2009 y 2020, alentó un importante desarrollo de proyectos geotérmicos en el país (IRENA, IEA y REN21, 2020). De manera similar, en Islandia, el gobierno provee préstamos y garantías para cubrir las actividades de exploración y perforación, y los préstamos se convierten en subvenciones si la perforación no da como resultado un proyecto financieramente viable (USAID y GDC, 2014).

El Fondo de Mitigación de Riesgos Geotérmicos (GRMF) en África y el Fondo de Desarrollo Geotérmico (GDF) en América Latina son fondos que ofrecen una mitigación de riesgos similar para el desarrollo de proyectos geotérmicos en sus respectivas regiones. Aunque estas instalaciones se han centrado en la generación de energía geotérmica hasta la fecha, planean ampliar sus mandatos para incluir también aplicaciones de uso directo (Boissavy, 2020).

GeoFutures son unas instalaciones con un enfoque inicial en África Oriental (Etiopía y Kenia) que tienen como objetivo aprovechar la suscripción del sector privado para reducir el riesgo de desarrollos geotérmicos. GeoFutures incorpora instalaciones basadas en subvenciones, GreenInvest, que tiene como objetivo catalizar la participación de seguros privados en las instalaciones. Sin embargo, las instalaciones se centrarán en proyectos de energía cuando estén en operación.

El Proyecto GEORISK recomienda el desarrollo de esquemas de seguros nacionales en toda Europa para cubrir los riesgos asociados con la exploración, el desarrollo y la operación de proyectos de energía geotérmica en toda Europa. Los marcos jurídicos y normativos para el uso directo de la energía geotérmica varían mucho según el país. Un marco claro para otorgar concesiones para el desarrollo de recursos geotérmicos es esencial. También es necesario desarrollar reglamentos sobre el uso de la tierra, el acceso a los derechos del subsuelo y las consideraciones ambientales y sociales. A diferencia de la generación de electricidad geotérmica, que en algunos países suele estar regulada por una ley específica y los reglamentos que la acompañan, los reglamentos de uso directo están ausentes o están dispersos entre diferentes leyes relacionadas que cubren la energía, el agua, el medio ambiente, etc. Varios países han promulgado recientemente reformas jurídicas, por ejemplo, la Ley de Energía Geotérmica de México de 2014 y la Proclamación Geotérmica de Etiopía de 2016; otros están en proceso de modificar la legislación geotérmica, por ejemplo, Chile (Recuadro 6), para simplificar los procesos de aprobación de proyectos de uso directo de la energía geotérmica de baja temperatura y poca profundidad.

Otros países sin marcos jurídicos sobre la energía geotérmica han redactado recientemente o están en proceso de redactar (*por ejemplo*, Colombia) nueva legislación para abarcar tanto la generación de electricidad como el uso directo. En Europa, muchos países han desarrollado sus propios lineamientos, mejores prácticas o normas nacionales de uso

directo (*por ejemplo*, Finlandia, Alemania y Suecia) (Haehnlein, Bayer y Blum, 2010). Establecer una "ventanilla única" en el gobierno para simplificar la normativa puede respaldar aún más el desarrollo de proyectos de energía geotérmica, así como la integración de cualquier normativa asociada en el sector agroalimentario.

Los ejemplos de marcos jurídicos y normativos para la energía geotérmica que respaldan las aplicaciones de uso directo incluyen los siguientes:

- En Etiopía, se promulgó legislación sobre energía geotérmica para proveer un marco para la concesión de licencias de recursos geotérmicos para la generación de electricidad y aplicaciones de uso directo. La concesión de licencias para proyectos de uso directo está restringida a recursos de hasta 120 °C. Esta distinción entre la concesión de licencias para la generación de electricidad geotérmica y para proyectos de uso directo es única entre los países vecinos del Rift de África Oriental (IRENA, 2020).
- En Francia, se utiliza un sistema de registro para implementar un régimen de aprobación simplificado (declaración de registro en línea) para proyectos de entre 10 metros y 200 metros de profundidad, menos de 25 °C de temperatura y menos de 500 kilovatios-térmicos de generación de electricidad neta, con la intención de aliviar la carga normativa para los proyectos geotérmicos de baja temperatura y poca profundidad (Fraser, 2013).
- En Hungría, en los casos en que no se extrae agua subterránea, los proyectos de energía geotérmica que ocurren entre 20 metros y 2 500 metros no requieren concesión, mientras que los proyectos que superan los 2 500 metros de profundidad sí (Boda, 2016).
- En Indonesia, en virtud de la Ley Ómnibus de 2020, el gobierno central estipula los procedimientos y normas con respecto a los proyectos de uso directo de la energía geotérmica. Los gobiernos locales están obligados a expedir licencias comerciales para el uso directo de los recursos geotérmicos (SSEK, 2020).

Se pueden diseñar instrumentos de política como tarifas de calor, mecanismos de subsidio, incentivos fiscales, esquemas de mitigación de riesgos y programas de seguros para atraer inversiones y facilitar el desarrollo de proyectos de uso directo de la energía geotérmica.

RECUADRO 6 MEJORAR EL MARCO JURÍDICO PARA FACILITAR EL USO DIRECTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN CHILE

Chile inicialmente atrajo inversiones privadas internacionales para la generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos de alta temperatura, luego del establecimiento de un marco jurídico para un sistema de concesión geotérmica en 2000 (ley) y 2004 (reglamentos), que luego fue modificado en 2015. Como resultado, la central geotérmica Cerro Pabellón de 48 megavatios (MW) en el norte de Chile se puso en servicio en 2017, lo que la convierte en la única central geotérmica a escala comercial en Sudamérica (Huttrer, 2020).

Chile está modificando actualmente su ley sobre energía geotérmica para respaldar el desarrollo de proyectos de uso directo de la energía geotérmica superficial, incluidas las bombas de calor geotérmicas, que han logrado avances en el país en los últimos 25 años. Sin embargo, Chile no ha pasado por el auge de la industria visto en el uso de bombas de calor a nivel mundial. Se anticipa que la simplificación del marco normativo para los recursos geotérmicos de baja temperatura y poca profundidad fomentará el desarrollo del proyecto.

La ley y los reglamentos de concesiones geotérmicas de Chile no distinguen entre proyectos de mayor y menor escala, que requieren los mismos requisitos técnicos, económicos y administrativos. Según las nuevas modificaciones propuestas a la ley, los proyectos de uso directo superficial estarían exentos del sistema de concesiones. En cambio, se establecería un sistema de Registro Nacional para proyectos de uso directo poco profundos (menos de 400 metros de profundidad) y de baja temperatura (menos de 90 °C). Las modificaciones a la ley de sobre energía geotérmica se aprobaron por el Congreso Nacional en marzo de 2020 y están pendientes de aprobación en el Senado. Se anticipa que las aplicaciones agroindustriales que involucran piscicultura, invernaderos y viñedos se beneficiarían de una mayor inversión en el uso directo de la energía geotérmica luego de estas mejoras normativas.

Por otro lado, el Banco Mundial ha estado apoyando al Ministerio de Energía de Chile desde 2017 para eliminar barreras jurídicas, sociales y de mercado específicas y mejorar las condiciones del mercado geotérmico. El Proyecto de Asistencia Técnica para el Desarrollo de Energía Geotérmica Sostenible para Chile tiene dos componentes: 1) mejorar el marco normativo y de políticas existente y fortalecer las habilidades de gestión para impulsar la inversión en energía geotérmica; y 2) mejorar las condiciones del mercado para promover el desarrollo sostenible del sector de la energía geotérmica (Banco Mundial, 2021).

La nueva legislación propuesta y la asistencia del Banco Mundial buscan aumentar el uso de bombas de calor en Chile. En los últimos años, debido a que la industria de energía geotérmica del país se ha estancado debido a los obstáculos para seguir siendo competitivos en el mercado energético, ha habido un cambio hacia aplicaciones de calefacción y refrigeración de uso directo de la energía geotérmica superficial con bombas de calor geotérmicas. Tradicionalmente, el uso directo somero en Chile se ha centrado en el turismo de spa de aguas termales. La mayoría de los spas se alimentan de manantiales superficiales, mientras que solo unos pocos utilizan pozos poco profundos. Sin embargo, Chile tiene un enorme potencial sin explotar para uso directo más allá del turismo de spa.

Las bombas de calor geotérmicas se utilizaron por primera vez en 1996 y, en 2020, se informaron 61 proyectos de bombas de calor (Lund y Toth, 2020). Cabe señalar que el uso de bombas de calor en Chile no se debe al desarrollo de marcos normativos, ya que la introducción de bombas de calor en 1996 fue anterior a la ley sobre energía geotérmica (2000) y sus reglamentos (2004), y la asistencia del Banco Mundial (2017). En 2019-2020, el Ministerio de Energía de Chile y la GIZ de Alemania realizaron un estudio de mercado de la industria de bombas de calor en Chile (GIZ, 2020a). El estudio identificó alrededor de 40 empresas involucradas en la cadena de suministro de bombas de calor geotérmicas, incluida la fabricación, importación, ingeniería, pruebas de campo, perforación, instalación, inspección y certificación.

Además de la calefacción y refrigeración de espacios de viviendas, hoteles y escuelas, las aplicaciones agroindustriales de bombas de calor geotérmicas incluyen invernaderos, piscicultura y elaboración de vino. Dos proyectos piloto en el sur de Chile, un invernadero geotérmico y un sistema de calefacción para una escuela pública, han demostrado el potencial para reducir la contaminación como alternativa a las estufas de leña, mejorar la eficiencia energética de la agroindustria y cultivar y cosechar cultivos durante todo el año en áreas remotas con inviernos nevados (Lund y Toth, 2020).

3.3 Alineación intersectorial y participación de múltiples partes interesadas

Uno de los desafíos asociados con el desarrollo y la implementación de marcos jurídicos, normativos y de políticas para las aplicaciones de uso directo de la energía geotérmica es la falta de coordinación entre las partes interesadas clave del sector público y privado. Esto es fundamental porque en la mayoría de los casos, los desarrolladores de energía geotérmica, quienes tienen la información necesaria sobre el potencial del recurso para uso directo, no incluyen el uso directo en sus modelos de negocios. Por lo tanto, alinear los planes de desarrollo geotérmico con los planes de otros sectores, como el agrícola o el industrial que requieren energía térmica para su funcionamiento, puede catalizar el desarrollo agroalimentario de uso directo (IRENA, 2020).

Alineación intersectorial

Una forma de lograr la alineación intersectorial es a través del desarrollo e implementación de un plan maestro de calor geotérmico o una hoja de ruta del sector con objetivos de capacidad, disposiciones, lineamientos, normas y reglamentos asociados para la utilización del calor geotérmico. Una hoja de ruta nacional puede identificar las opciones tecnológicas apropiadas, las medidas políticas, los mecanismos de financiamiento disponibles, el desarrollo de capacidades, la capacitación y la participación pública necesarios para hacer crecer el sector y lograr la sostenibilidad económica y ambiental y los objetivos de reducción de emisiones mediante el uso directo de la energía geotérmica.

Sobre todo, una hoja de ruta geotérmica nacional sirve para alinear las prioridades de múltiples partes interesadas en varios sectores de la economía, *es decir*, desarrolladores de proyectos de energía geotérmica, actores de la industria agroalimentaria y usuarios finales o comunidades beneficiarias. Un plan maestro u hoja de ruta del sector proporciona claridad y previsibilidad para todos los actores del mercado, en particular para los inversionistas y las empresas que necesitan considerar planes plurianuales que impliquen gastos de capital o préstamos. Esto, a su vez, fomenta la participación del sector privado al eliminar los riesgos, movilizar el financiamiento y estimular tanto la demanda como la oferta de inversiones y proyectos de uso directo. La Tabla 3 presenta ejemplos de hojas de ruta de uso directo de la energía geotérmica a nivel nacional y regional.

Los planes maestros de calor geotérmico o las hojas de ruta sectoriales pueden respaldar la alineación de los planes de desarrollo geotérmico con los de otros sectores al mismo tiempo que identifican las opciones tecnológicas apropiadas, las medidas de políticas, los mecanismos de financiamiento disponibles, el desarrollo de capacidades y otros facilitadores.

Tabla 3 Hojas de ruta del uso directo de la energía geotérmica

PAÍS Hoja de ruta / Programa	Descripción
<p>Uruguay</p> 	<p>CTCN – Hoja de ruta nacional de energía geotérmica de uso directo de Uruguay</p> <ul style="list-style-type: none"> Publicada en 2020, esta hoja de ruta tiene como objetivo aumentar el despliegue de energía geotérmica de baja temperatura en los sectores industrial, residencial y comercial de Uruguay. El documento analiza el estado actual de la energía geotérmica en el país, identifica las barreras existentes para su implementación y propone medidas para superarlas.
<p>México</p> 	<p>SENER – Hoja de ruta tecnológica para el uso directo de calor geotérmico de México</p> <ul style="list-style-type: none"> Publicada en 2018, esta hoja de ruta brinda información detallada sobre el desarrollo de uso directo, incluidas las aplicaciones en cascada y las bombas de calor en México. El documento describe además los principales desafíos para implementar proyectos de uso directo y propone posibles soluciones y estrategias. La hoja de ruta prevé un crecimiento en la capacidad instalada de uso directo de calor geotérmico para 3 800 MW_{th} para 2030.
<p>Canadá</p> 	<p>Uso directo de recursos geotérmicos en Columbia Británica</p> <ul style="list-style-type: none"> Publicado en 2016, este estudio centrado en Columbia Británica, Canadá, identifica y evalúa posibles oportunidades de uso directo en 63 comunidades.
<p>Nueva Zelanda</p> 	<p>Hoja de ruta de energía geotérmica de baja temperatura: Fomentar un mayor uso de los abundantes recursos geotérmicos de Nueva Zelanda</p> <ul style="list-style-type: none"> Publicada en 2011, esta hoja de ruta tiene como objetivo facilitar la adopción y el uso de la energía geotérmica de baja temperatura en Nueva Zelanda. El documento describe las brechas y las barreras para el desarrollo, además de proporcionar acciones e iniciativas recomendadas.
	<p>Estrategia de calor geotérmico de AOTEAROA Nueva Zelanda</p> <p>La estrategia cubre el periodo de 2017 a 2030 y pretende lograr dos objetivos principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Lograr un aumento anual de 7.5 petajulios (PJ) en el uso de calor geotérmico en nuevos proyectos para 2030. Crear 500 nuevos empleos en nuevos proyectos debido al uso de calor geotérmico para 2030.
<p>Países Bajos</p> 	<p>Plan maestro de energía geotérmica de los Países Bajos</p> <ul style="list-style-type: none"> Publicado en 2018, este plan establece una base para aumentar la producción de energía geotérmica en los Países Bajos de 3 PJ a 50 PJ en 2030 y más de 200 PJ en 2050. El documento también establece el objetivo de que, para 2050, la energía geotérmica suministre aproximadamente el 65 % de la demanda de calor en la horticultura de invernadero. El plan maestro se basa en iniciativas de política pública relacionadas en el sector, como el Plan de Acción Geotérmica de 2011 y el Plan de Aceleración de la Energía Geotérmica en la Horticultura de 2014.

Fuente: CTCN, 2020; SENER y CeMIE-Geo, 2018; Hickson *et al.*, 2016; Climo y Carey, 2011; Stichting Platform Geothermie, 2018.

Como parte de la transición energética, los países están desarrollando contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) y estrategias bajas en carbono a largo plazo para reducir sus emisiones de carbono hacia cero emisiones netas. Durante el proceso de NDC, los países revisan periódicamente sus compromisos de descarbonización para establecer objetivos más ambiciosos. A través de este proceso, los países pueden apoyar la descarbonización de su sector agroalimentario mediante la inclusión de la energía geotérmica como fuente de energía limpia. Como ejemplo, China tiene la intención de desarrollar tecnologías de calefacción de energía limpia, incluida la energía geotérmica (China-NDC, 2021).

Además, la alineación de las prioridades locales con las políticas nacionales podría apoyar la realización del desarrollo económico a nivel local. En el caso de Nueva Zelanda, la política de desarrollo de recursos energéticos en beneficio de las empresas locales ha contribuido al desarrollo de usos directos en el país, como se demuestra en el Recuadro 7.

RECUADRO 7 ALINEAR LA ESTRATEGIA DE DESARROLLO LOCAL CON LAS PRIORIDADES NACIONALES EN NUEVA ZELANDA MIENTRAS SE APROVECHA LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

El gobierno de Nueva Zelanda ha desarrollado un modelo económico que se centra en impulsar el crecimiento a nivel regional y local mediante el empoderamiento de las empresas. Con respecto a la energía, la política prioriza el desarrollo de proyectos de energía que contribuyan a la productividad local en lugar de servir a la red nacional. Esta política se implementa a través de los organismos de desarrollo regionales y distritales.

En la región de Bay of Plenty en Nueva Zelanda, la energía geotérmica se identificó como uno de los recursos clave que podrían aprovecharse para apoyar el desarrollo económico. Los últimos planes económicos estratégicos de la región identificaron la energía geotérmica como un pilar clave para el desarrollo y propusieron el establecimiento de ecosistemas (clústeres) alrededor de las instalaciones geotérmicas existentes.

En el distrito de Taupo, en la región de Bay of Plenty, el organismo de desarrollo local desarrolló una estrategia que apuntaba a posicionar al distrito como un centro de excelencia geotérmica. Entre las actividades del organismo que se incluyen en la estrategia se encuentran:

- “Agregar calefacción en la producción primaria” como área de enfoque en el plan estratégico de 2012;
- Respaldar el establecimiento de la posición de un líder comercial de energía geotérmica para la región de Bay of Plenty;
- Áreas identificadas de alineación entre los planes económicos del distrito y la Estrategia de calor geotérmico de Nueva Zelanda, que incluyen el establecimiento de un grupo geotérmico que consta de un centro de excelencia para la geotermia, un parque geotérmico y un plan estratégico para Wairakei.

La estrategia de trabajo del organismo de desarrollo del distrito se centra en crear alianzas entre las diversas partes interesadas involucradas en la estrategia económica de Taupo y aprovechar sus fortalezas. Sus esfuerzos para identificar oportunidades de inversión, atraer inversionistas y crear conciencia han dado como resultado el desarrollo del procesador de leche Miraka, la extracción de sílice Geo40 y la cervecería Rogue Bore.

Fuente: Hawker-Green, Blair y McCaw, 2020.

Participación de múltiples partes interesadas

El desarrollo de proyectos de uso directo de la energía geotérmica puede involucrar a múltiples partes interesadas. Estas pueden incluir el operador del proyecto, el desarrollador de recursos geotérmicos, empresarios locales interesados y organismos gubernamentales, entre otros. La identificación de las partes interesadas que podrían tener interés en el proyecto es un primer paso crucial. Se debe llevar a cabo una clasificación de las partes interesadas en función de su influencia e importancia para el éxito del proyecto y diseñar una estrategia para involucrar a cada categoría. El proceso de participación de las partes interesadas debe estar bien estructurado para maximizar el impacto de las sinergias que existen entre las partes interesadas en beneficio del proyecto.

En la mayoría de los casos, la mayoría de las partes interesadas pueden carecer de información suficiente sobre el potencial de los recursos geotérmicos y las oportunidades para su aplicación en el sector agroalimentario. Por lo tanto, en las etapas iniciales, el desarrollador podría asumir un papel de liderazgo en la coordinación de las otras partes interesadas y crear conciencia sobre las aplicaciones potenciales, como es el caso de Kenia con GDC y KenGen.

Los organismos gubernamentales pueden movilizar fondos públicos y proporcionar opciones de mitigación de riesgos, incluso de organismos donantes y socios para el desarrollo, establecer nuevos reglamentos y normas, diseñar instrumentos de política para atraer inversiones en el sector agroalimentario geotérmico, ofrecer acceso a financiamiento asequible y desarrollar la capacidad local, todo lo cual crea nuevas oportunidades comerciales en el sector privado para utilizar el calor geotérmico en las cadenas de valor agroalimentarias. El sector público también puede liderar el resto del mercado al lanzar proyectos piloto para demostrar la viabilidad de las tecnologías de uso directo, particularmente en países con mercados geotérmicos incipientes.

En Centroamérica, la GIZ de Alemania está desempeñando un papel de liderazgo para desarrollar capacidades en el desarrollo de aplicaciones industriales y agroalimentarias geotérmicas; también lo es el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en África Oriental.

En los Países Bajos, las asociaciones geotérmicas y el sector público colaboraron para desarrollar el plan maestro de energía geotérmica, mientras que en Nueva Zelanda, la implementación del uso directo está estructurada para incluir un grupo de gobernanza y acción, dirigido por un coordinador dedicado.

Otras partes interesadas, como las comunidades locales, pueden proporcionar la mano de obra necesaria mientras las empresas se convierten en clientes de la energía geotérmica. Las aplicaciones de energía geotérmica de uso directo pueden brindar a las comunidades beneficiarias oportunidades económicas y también pueden respaldar el desarrollo de industrias locales con las alianzas adecuadas.

La Tabla 4 resume las principales partes interesadas y su participación en el desarrollo de proyectos agroalimentarios que utilizan energía geotérmica.



Tabla 4 Partes interesadas clave del proyecto y sus roles potenciales

Parte interesada	Rol durante el proceso de participación
Ministerios/ organismo del gobierno nacional	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar políticas y reglamentos relevantes (incluidos los incentivos) y asegurarse de que estén alineados en múltiples sectores. • Proporcionar fondos para reducir el riesgo de proyectos y desarrollar infraestructura con un alto coeficiente de capital. • Proporcionar la infraestructura pertinente (vías de acceso, servicios de agua, alcantarillado, etc.) para apoyar el desarrollo de empresas agroalimentarias geotérmicas. • Proporcionar licencias para proyectos geotérmicos. • Proporcionar información relevante sobre los recursos geotérmicos existentes y sus características.
Autoridades locales	<ul style="list-style-type: none"> • Dotar de suelo para el desarrollo de proyectos agroalimentarios. • Proporcionar la infraestructura pertinente (vías de acceso, servicios de agua, alcantarillado, etc.) para apoyar el desarrollo de empresas agroalimentarias geotérmicas. • Proporcionar permisos para que las empresas operen. • Apoyar los esfuerzos para atraer negocios para que se establezcan alrededor de las áreas de recursos geotérmicos (incluidos los incentivos).
Organizaciones de desarrollo internacionales/ regionales	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyar el desarrollo de capacidades a través del desarrollo de productos de conocimiento y fomentar el intercambio de experiencias y mejores prácticas para el establecimiento de marcos propicios para empresas agroalimentarias geotérmicas. • Proporcionar financiamiento de desarrollo y riesgo y apoyar el establecimiento de proyectos de demostración.
Desarrolladores de energía geotérmica	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar exploraciones y perforaciones para garantizar que la energía geotérmica para su utilización esté disponible. • Crear conciencia sobre las oportunidades y los beneficios potenciales del uso de la energía geotérmica en el sector agroalimentario. • Proporcionar la información necesaria sobre las características geotérmicas a los posibles inversionistas y autoridades. • Brindar apoyo del lado de la oferta a los clientes con respecto a las conexiones, la operación y el mantenimiento, la medición y la facturación. • Garantizar que los clientes siempre cuenten con un suministro adecuado de energía geotérmica de acuerdo con sus requerimientos. • Establecer una tarifa para el calor geotérmico considerando los costos de inversión y operación.
Inversionistas y financieros	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar apoyo financiero para el establecimiento de proyectos agroalimentarios financiables. • Adaptar el financiamiento a las necesidades de las operaciones de las empresas agroalimentarias.
Clientes de calor geotérmico	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer y gestionar empresas agroalimentarias que requieran energía geotérmica. • Pagar por el uso de energía geotérmica en la operación de procesos térmicos dentro de sus empresas.
Comunidades locales	<ul style="list-style-type: none"> • Comprometerse constructivamente con otras partes interesadas para la aceptación de los proyectos. • Proporcionar materia prima a las empresas agroalimentarias. • Dotar de mano de obra a las empresas agroalimentarias.

El Recuadro 8 presenta los enfoques aplicados en Nueva Zelanda para lograr sinergias entre las diferentes partes interesadas en el desarrollo de usos directos.

RECUADRO 8 PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS EN EL DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE CALOR GEOTÉRMICO EN NUEVA ZELANDA

Nueva Zelanda es uno de los países que ha desarrollado un enfoque estructurado en el desarrollo e implementación de aplicaciones de energía geotérmica de uso directo. El proceso involucró la participación de múltiples partes interesadas a través de varias reuniones de consulta y talleres, lo que resultó en la publicación de la Estrategia de Calor Geotérmico de Nueva Zelanda en 2017. Entre las partes interesadas involucradas en el proceso de consulta se encuentran:

- comunidades locales representadas por los maoríes
- organismos gubernamentales representados por ministerios, expertos científicos, autoridades regionales y locales, organismos de desarrollo regionales y locales
- representantes de la industria geotérmica, incluidos generadores de energía y clientes de calor
- la Asociación Geotérmica de Nueva Zelanda.

El anfitrión de la estrategia es la Asociación Geotérmica de Nueva Zelanda, que junto con GNS Science coordinó su desarrollo.

La estrategia también incluye una estructura de gobernanza para supervisar su implementación, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5 Estructura de gobernanza de la Estrategia de Calor Geotérmico de Nueva Zelanda



Fuente: NZGA, 2017.

Un coordinador de estrategia es responsable de la entrega de los resultados y trabaja mano a mano con el grupo de gobernanza compuesto por representantes de todos los sectores, un grupo de acción compuesto por personas interesadas, así como otros grupos de interés de varios sectores.

Véase: www.nzgeothermal.org.nz/downloads/Geoheat_Strategy_2017-2030__Web_Res_.pdf

3.4 Desarrollo y propiedad del proyecto

El establecimiento de aplicaciones de uso directo implica el desarrollo del recurso geotérmico para que la energía esté disponible en la superficie para su aprovechamiento, así como el desarrollo de las aplicaciones agroalimentarias que utilizan la energía. En el caso de la generación de electricidad, un proyecto geotérmico totalmente nuevo puede tardar varios años en realizarse debido a la necesidad de llevar a cabo amplias actividades de exploración y evaluación de recursos. Este desarrollo podría tomar hasta siete años o más para actualizarse. Un proyecto geotérmico típico comienza con estudios y actividades de exploración, que pueden durar al menos dos años, seguidos de perforación de prueba (alrededor de 1 a 2 años), planificación del proyecto (alrededor de 1 año), desarrollo de campo, construcción y puesta en servicio (al menos 2 años).

Mientras se desarrollan la infraestructura y los recursos geotérmicos, la planificación en torno al negocio agroalimentario puede llevarse a cabo al mismo tiempo. En el caso de que ya exista una central geotérmica, la integración de los usos directos podría llevar mucho menos tiempo. De manera similar, el desarrollo de usos directos que utilizan recursos geotérmicos superficiales o manifestaciones superficiales también puede resultar en una realización más rápida de los proyectos.

Modelos de propiedad y establecimiento de proyectos de uso directo

Las aplicaciones de uso directo se pueden desarrollar como sistemas autónomos independientes, sistemas de uso directo en cascada o integrados con la generación de energía geotérmica. Los sistemas independientes generalmente acceden a recursos poco profundos de temperatura baja a media, mientras que los sistemas integrados y en cascada de uso directo requieren pozos más profundos para acceder a los recursos de temperatura media a alta que se requieren.

Sistemas autónomos de uso directo

Los sistemas autónomos son proyectos desarrollados individualmente que utilizan calor geotérmico y no necesariamente se ubican junto con otros proyectos de aprovechamiento de energía geotérmica. Los proyectos autónomos pueden acceder a fluidos geotérmicos naturales o pueden requerir la perforación de nuevos pozos geotérmicos. Dependiendo de los requisitos de temperatura de los procesos térmicos involucrados, un proyecto autónomo puede requerir un recurso de baja temperatura o recursos de temperatura más alta. Por lo general, para la viabilidad financiera, los proyectos autónomos utilizarán fluidos geotérmicos naturales o pueden implicar la perforación de pozos poco profundos, que en la mayoría de los casos producen fluidos de temperatura baja a media. Los proyectos autónomos también podrían usar pozos profundos existentes ubicados en sitios que no respaldan la generación de electricidad, o aquellos perforados para otros fines, como petróleo y gas. El desarrollo de proyectos autónomos generalmente implica menores costos, menor riesgo de recursos y mucho menos tiempo de desarrollo.

Sistemas de uso directo en cascada

Los sistemas en cascada consisten en dos o más proyectos de uso directo que utilizan energía geotérmica de la misma corriente de agua caliente o vapor. La corriente de agua caliente o vapor debe tener la temperatura y el caudal adecuados para cumplir con los requisitos de energía de todas las aplicaciones de uso directo conectadas a ella. En un sistema en cascada, los proyectos o procesos térmicos que requieren temperaturas más altas se ubican aguas arriba, mientras que los que requieren temperaturas más bajas se ubican aguas abajo. Un sistema en cascada exitoso debe garantizar que la temperatura de entrada de la corriente que llega a la última aplicación sea igual o mayor que la requerida para sus procesos térmicos. Debido a la caída de temperatura entre un proceso y el siguiente, los sistemas en cascada generalmente requerirán recursos de temperatura media a alta y pueden involucrar la perforación de pozos geotérmicos. Un sistema en cascada también puede usar recursos de temperatura baja a media donde las aplicaciones de uso directo tienen requisitos de temperatura baja.

Las principales ventajas de los sistemas en cascada incluyen el acceso potencial a recursos de mayor calidad en términos de temperatura y caudal; costo compartido de desarrollo (*por ejemplo*, costos de perforación y desarrollo de infraestructura); tarifas de calefacción potencialmente más bajas debido a los costos operativos compartidos; utilización eficiente del recurso geotérmico debido a la posterior extracción de calor por procesos aguas abajo; y mayores impactos socioeconómicos en las comunidades locales como resultado de muchas aplicaciones establecidas en la localidad. La desventaja de los sistemas en cascada es el mayor costo de inversión de desarrollo y la exposición a mayores riesgos de recursos en caso de perforar nuevos pozos. Además, se requiere una planificación adecuada de la

distribución de energía para garantizar que los clientes ubicados aguas abajo tengan acceso a energía suficiente. Esto puede resultar en acuerdos contractuales complejos entre los clientes y los desarrolladores de energía geotérmica.

Sistemas integrados de energía geotérmica de uso directo y generación de electricidad

En algunos casos, las aplicaciones de uso directo autónomas y en cascada se pueden desarrollar junto con las actividades de generación de electricidad. Las aplicaciones de uso directo pueden utilizar el exceso de energía contenido en las aguas geotérmicas después de la generación de electricidad, energía de pozos no comerciales, energía de pozos ubicados a una distancia no económica de la central eléctrica, o exceso de vapor y agua caliente que no se usa para generar electricidad. Por lo general, los sistemas integrados de uso directo utilizan fluidos geotérmicos de temperatura media a alta, que también son adecuados para la generación de electricidad. Las aplicaciones integradas de uso directo se pueden operar en cascada debido a la disponibilidad de temperaturas más altas. No obstante, también pueden integrarse aplicaciones individuales de uso directo, particularmente aquellas con operaciones a gran escala o aquellas que requieren altas temperaturas.

Los sistemas integrados tienen ventajas y desventajas similares a los sistemas en cascada. Sin embargo, en los casos en que la aplicación de uso directo se establece junto con un proyecto de electricidad existente, la ventaja adicional es que se evitan los costos iniciales de perforación y los riesgos de recursos. Otras ventajas incluyen la posibilidad de establecer una mini-red para proporcionar energía cautiva a las aplicaciones de uso directo, lo que resulta en un menor costo de electricidad y el establecimiento de una economía circular en torno a las actividades de las empresas. Además, debido a la alta temperatura y el alto caudal de fluidos de la generación de electricidad, se pueden conectar más empresas, lo que da como resultado flujos de ingresos más altos y diversificados para el desarrollador a partir de la venta de calor y otros subproductos, como minerales y gases no condensables. Al igual que con los sistemas en cascada, la gestión de las operaciones posteriores podría plantear desafíos durante las operaciones.

A menos que los recursos geotérmicos sean de fácil acceso, a menudo es prohibitivo para los proyectos agroindustriales emprender la perforación de nuevos pozos profundos sin incentivos gubernamentales significativos, *es decir*, subvenciones, subsidios, reducciones de impuestos y esquemas de mitigación de riesgos (véase la sección 3.5). Los Países Bajos son un ejemplo en el que múltiples tipos de políticas y herramientas gubernamentales fueron fundamentales para generar un entorno propicio para estimular el crecimiento de la industria de la horticultura en invernaderos geotérmicos (IRENA, 2019). Las aplicaciones que requieren alta temperatura se desarrollan con mayor frecuencia a partir de sistemas que integran el uso directo y la generación de electricidad en lugar de proyectos autónomos de uso directo.

En general, se puede requerir un nivel significativo de inversión y tiempo para establecer un proyecto agroalimentario con energía geotérmica. A continuación, se resumen los principales modelos de propiedad que se pueden aplicar para desarrollar proyectos geotérmicos de uso directo en industrias agroalimentarias.

- Propiedad total: en virtud de este modelo, el propietario del pozo o pozos geotérmicos desarrolla las respectivas aplicaciones de uso directo. Este modelo funciona para proyectos autónomos, en cascada o integrados. La central geotérmica de Wabuska en Nevada, Estados Unidos, ha estado operando desde la década de 1980. El exceso de calor de la central eléctrica mantiene caliente la piscifactoría durante todo el año. De manera similar, el propietario de un campo geotérmico en Chena, Alaska, usa el agua caliente para un invernadero en el lugar para cultivar vegetales. Este modelo permite al desarrollador del proyecto optimizar el rendimiento de toda la operación (*es decir*, para decidir cómo utilizar el recurso geotérmico). Otro proyecto operativo de uso directo en el sector agroalimentario que utiliza este modelo es el proyecto geotérmico Caldiran, donde se cultivan tomates en una de las regiones más frías de Turquía (Richter, 2020b).
- Contrato de compra de calor (HPA): según este acuerdo, existe una división entre el propietario del recurso y el usuario de la energía para respaldar la aplicación de uso directo. Las dos partes celebran un HPA (véase la sección 4.2), que define las obligaciones legales de cada una de las partes del contrato, por lo que una parte provee la energía que paga la otra parte. Tal arreglo contractual aborda el conflicto incorporado por el cual el proveedor de energía es consciente de la necesidad de mantener el recurso geotérmico mientras maximiza las ganancias de la venta de calor, mientras que el propietario/operador de la operación de uso directo requiere un suministro confiable de energía a bajo precio. Un ejemplo es el HPA celebrado entre Ormat y Conagra Foods en Nevada, Estados Unidos, para secar cebollas.
- Alianza: en ciertos casos, las partes deciden que es mejor si sus intereses están completamente alineados. Por lo tanto, ambas partes entran en una empresa conjunta o alianza que se puede estructurar de diferentes maneras. La

alianza puede poseer todos los activos del proyecto, tanto el recurso como la aplicación de uso directo. Los intereses económicos de las partes suelen seguir el valor de los activos aportados. Esta alianza puede ser propiedad por igual o no serlo en absoluto. Las partes comparten un objetivo: maximizar la rentabilidad del proyecto al mantener la operación durante un largo periodo de tiempo. Otras formas de alianza incluyen acuerdos en los que cada parte sigue siendo propietaria de sus activos, pero permite que la alianza los use. En este caso, es habitual que al proveedor de energía se le pague un porcentaje de las ventas del producto que utiliza la energía geotérmica durante la producción, el procesamiento, etc. Este modelo se puede encontrar, por ejemplo, en Islandia, donde el propietario de Blue Lagoon comparte algunos de sus ingresos con el proveedor del efluente geotérmico de una central eléctrica cercana.

Identificación y priorización de proyectos

En algunos casos, con múltiples aplicaciones potenciales de uso directo, podría ser necesario seleccionar qué aplicación es la más adecuada para el desarrollo en función de los objetivos del desarrollador de recursos. Por ejemplo, en el caso de un desarrollador público, el objetivo puede ser obtener los máximos beneficios para la comunidad local del recurso geotérmico. En este caso, el desarrollador puede desear alentar el desarrollo de aplicaciones de uso directo que utilicen materias primas disponibles localmente para crear mercados para los agricultores o fomentar la creación de empleo para la comunidad local al atraer empresas con operaciones intensivas en mano de obra. Otros objetivos que el desarrollador puede desear fomentar incluyen maximizar las ganancias de la venta de subproductos geotérmicos para generar múltiples flujos de ingresos, fomentar una economía circular y prácticas comerciales sostenibles, entre otros.

La comunidad de alimentos de energías renovables de la Toscana, Italia, se estableció en 2009 para fomentar la producción de productos alimenticios con métodos sostenibles. Los miembros de la comunidad incluyen empresas que obtienen una parte importante de su energía para la producción a partir de fuentes renovables, principalmente la energía geotérmica. También se espera que las empresas obtengan la materia prima de la Toscana y fabriquen los productos finales en la misma región. Por lo tanto, la comunidad se caracteriza por cadenas de suministro cortas, así como por la sostenibilidad en la producción y procesamiento de alimentos (CCER, 2021).

En Kenia, el desarrollador geotérmico público, GDC, promueve el desarrollo del uso directo con un enfoque en la sostenibilidad ambiental y el empoderamiento socioeconómico de las comunidades locales. Durante una evaluación inicial de posibles aplicaciones de uso directo en el país, GDC con el apoyo de USAID identificó varias aplicaciones o actividades que serían más relevantes y brindarían los máximos beneficios en una cartera de campos geotérmicos. Para facilitar las comparaciones transversales entre las aplicaciones identificadas, se aplicó una metodología de puntuación ponderada para clasificarlas, como se presenta en el Recuadro 9 (USAID y GDC, 2014).

Los desarrolladores de proyectos geotérmicos pueden seleccionar proyectos de uso directo para su implementación en función de los objetivos que desean cumplir, como la maximización de las ganancias, la sostenibilidad ambiental y de los recursos, y la promoción del desarrollo socioeconómico local.

RECUADRO 9 CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE APLICACIONES DE USO DIRECTO

Kenia tiene una cartera de 14 áreas geotérmicas de alta temperatura destinadas al desarrollo, así como varias perspectivas de baja y media temperatura. El establecimiento del uso directo es una prioridad en la agenda de los desarrolladores geotérmicos en el país, incluso para GDC, que posee varias concesiones. Una guía de uso directo desarrollada por GDC con el apoyo de USAID en 2014 propuso una metodología para seleccionar las aplicaciones de uso directo más adecuadas para el país utilizando puntuaciones ponderadas. La metodología utilizada por GDC se basó en los siguientes criterios:

- Existencia de un recurso geotérmico con características conocidas y potencial para coubicar aplicaciones de uso directo;
- Energía de proceso que requiere una aplicación de uso directo, en términos de temperatura y caudal. Cuantos mayores sean los requisitos, menor será la favorabilidad de la aplicación;
- Demanda del mercado del producto que se producirá a partir de la aplicación, teniendo en cuenta los mercados nacionales e internacionales existentes y potenciales;
- Potencial de inversión privada en la aplicación en función de la complejidad de la implementación/retorno de la inversión;
- Potencial de la aplicación para generar empleo para las comunidades locales;
- Adecuación sociocultural de la aplicación para la comunidad beneficiaria;
- Impactos de la aplicación en el medio ambiente;
- Potencial para replicar la aplicación en varios campos geotérmicos.

En el contexto de Kenia, a cada criterio se le asignó una puntuación ponderada, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 Criterios de puntuación ponderada para la selección y clasificación de aplicaciones de uso directo

Indicador	Puntuación ponderada (%)
Potencial de recursos geotérmicos para apoyar aplicaciones de uso directo	20 %
Requisito de energía de proceso de las aplicaciones de uso directo	15 %
Demanda del mercado del producto a producir	15 %
Potencial de inversión	15 %
Potencial de empleo	15 %
Ajuste sociocultural para la comunidad beneficiaria	10 %
Impactos ambientales	5 %
Potencial de capacidad de replicación	5 %
Puntuación ponderada total	100 %

De acuerdo con estos criterios ponderados, se evaluó y clasificó una cartera de posibles aplicaciones de uso directo en orden de preferencia. La Tabla 6 resume la clasificación preliminar de las posibles aplicaciones de uso directo que son óptimas para Kenia de acuerdo con los criterios. El estudio concluyó que la calefacción de invernaderos, la calefacción en la acuicultura, el procesamiento de lácteos y el secado de cultivos producirían resultados positivos en la mayoría, si no en todos, los criterios de clasificación.

Tabla 6 Clasificación de posibles aplicaciones de uso directo de la energía geotérmica en Kenia

Aplicación de uso directo	Proceso térmico	Requisito de temperatura (°C)	Fuente común de energía	Clasificación general
Calefacción de invernaderos	Control de temperatura y humedad	55	Ninguno	Excelente
Acuicultura	Calefacción de estanques	32	Ninguno	Excelente
	Secado de pescado	45	Solar	Buena
	Almacenamiento en frío y refrigeración	120	Electricidad	Buena
Procesamiento de leche	Leche en polvo	200	Madera/petróleo	Buena
	Leche UHT	140	Madera/petróleo	Buena
	Elaboración de queso	135	Madera/petróleo	Buena
	Pasteurización	110	Madera/petróleo	Buena
	Mantequilla	130	Madera/petróleo	Buena
	Enfriamiento de leche	120	Electricidad	Buena
Secado a gran escala	Cereales	90	Madera/petróleo	Buena
	Té	150	Madera	Buena
	Nueces	50	Cáscaras de nuez	Buena
	Frutas y vegetales	50	Madera	Buena
Secado a pequeña escala	Cereales	45	Solar	Buena
	Frutas y vegetales	50	Solar	Buena

Adaptado de USAID y GDC, 2014.

Kenia es uno de los países líderes a nivel mundial en desarrollo geotérmico y tiene un largo historial de generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos. El país también tiene planes muy ambiciosos para desarrollar aplicaciones de utilización de calor geotérmico para apoyar el desarrollo económico, particularmente a través de aplicaciones industriales y agroalimentarias. La participación de las partes interesadas, especialmente con las agencias gubernamentales y las comunidades locales, se considera clave para la realización de usos directos en el país. Se prevé que los principales proyectos de uso directo destinados al desarrollo tomen la forma de parques industriales con múltiples aplicaciones en cascada, integradas con la generación de electricidad. Se espera que los organismos gubernamentales desempeñen un papel fundamental en la realización de estos proyectos.

3.5 Acceso al financiamiento

Tradicionalmente, los proyectos geotérmicos se han beneficiado de diversas fuentes de financiamiento, incluidas acciones, préstamos y subvenciones. Las primeras etapas de exploración del desarrollo geotérmico se consideran de alto riesgo debido a la incertidumbre del recurso antes de que se establezca el recurso a través de la perforación de exploración/confirmación. En muchos países se han implementado opciones de financiamiento público, incluidas las asignaciones presupuestarias del gobierno y los esquemas de mitigación de riesgos, para navegar esta fase temprana de desarrollo, con el reconocimiento de que los beneficios económicos del desarrollo geotérmico para el país a menudo superan los de los inversionistas privados. En mercados geotérmicos más maduros, también se han desarrollado esquemas de seguros privados para proporcionar mitigación de riesgos para el desarrollo geotérmico en etapa inicial. Las etapas posteriores del desarrollo del proyecto, incluidas las operaciones de la planta, generalmente se financian mediante deuda y capital, entre otras fuentes de fondos.

La Tabla 7 presenta un resumen de los mecanismos de financiamiento de energía limpia aplicables al desarrollo de proyectos de energía geotérmica. Cabe señalar que estas opciones de financiamiento son generalmente para el desarrollo de proyectos geotérmicos y no se aplican necesariamente a la integración de la energía geotérmica en el sector agroalimentario.

Tabla 7 Mecanismos de financiamiento de energías limpias

Mecanismo de financiamiento	Descripción
Subvenciones puras	Esta es una forma de instrumento de apoyo mediante el cual la entidad de apoyo provee financiamiento para actividades riesgosas como la exploración y la perforación iniciales. Los otorgantes suelen ser gobiernos u organizaciones internacionales de desarrollo que desean fomentar el desarrollo de la energía geotérmica en un país o región determinados. Las subvenciones no tienen condiciones, siempre y cuando el trabajo se realice según lo contemplado. Este tipo de financiamiento es exclusivo para la etapa inicial de proyectos de energía geotérmica.
Subvenciones contingentes	Este instrumento financiero es una variación de las subvenciones puras, por lo que la subvención tiene algunas condiciones asociadas. Las subvenciones contingentes generalmente se otorgan durante la etapa de exploración y perforación inicial. Si la perforación no tiene éxito, el concesionario no tiene obligaciones monetarias; si la operación es exitosa (<i>es decir</i> , la actividad de perforación financiada por la subvención conduce a la puesta en marcha de un proyecto), no obstante, la subvención se convierte en un préstamo que el beneficiario pagará con el tiempo. La razón aquí es que los ingresos de esta subvención/préstamo se pueden reciclar para brindar apoyo a más proyectos.
Mitigación de riesgos	Existen dos tipos de mecanismos para alentar a los inversionistas a participar en la fase de perforación: Seguro: el asegurado paga una prima única antes del inicio de la perforación. Una vez que se completa la perforación, se prueba el pozo según lo acordado de antemano. Si los resultados no son satisfactorios (<i>es decir</i> , si el pozo se perforó de acuerdo con los parámetros acordados y está seco), la compañía de seguros pagará al asegurado un pago único para cubrir el costo del pozo o pozos y los gastos asociados. Subvenciones: en virtud de este mecanismo, los solicitantes calificados pueden obtener una subvención que cubra los costos de la perforación inicial y otros gastos relacionados.
Préstamo en condiciones favorables	Un préstamo en condiciones favorables es un préstamo en condiciones inferiores a las del mercado, <i>es decir</i> , tasa de interés más baja, vencimiento más largo y ningún valor o garantía muy ligero. Este instrumento está disponible en etapas posteriores del desarrollo del proyecto cuando parte o la totalidad del recurso se ha desarrollado por completo. Por lo tanto, los recursos del préstamo se utilizarán para construir las instalaciones. El préstamo se reembolsará con los beneficios de la operación. Los bancos nacionales de desarrollo suelen otorgar dichos préstamos porque pueden obtener préstamos a tasas muy bajas y no tienen el mandato de maximizar las ganancias como primera prioridad (frente a los bancos comerciales).
Financiamiento de proyectos	Una vez que se completa la fase de perforación de un proyecto de energía geotérmica y ha pasado las pruebas de aceptación necesarias, puede usar la combinación de capital y deuda para otros requisitos de financiamiento. En los países en desarrollo, los bancos de desarrollo multilaterales o regionales suelen ofrecer deuda de proyectos (<i>por ejemplo</i> , Banco Africano de Desarrollo, Corporación Financiera Internacional, etc.). El capital suele ser proporcionado por inversionistas centrados en los mercados emergentes. El financiamiento de proyectos permite que los activos del proyecto sean la única garantía para el financiamiento, pero puede llevar mucho tiempo y ser costoso.

El acceso al financiamiento es uno de los principales obstáculos para el desarrollo de proyectos de energía geotérmica de uso directo. Los recursos financieros públicos tienden a ser limitados, especialmente en los países en desarrollo, y puede ser difícil recaudar fondos para proyectos de energía geotérmica de uso directo, especialmente proyectos autónomos. El financiamiento de instituciones multilaterales y bancos de desarrollo se ha centrado tradicionalmente en la producción de electricidad geotérmica, que puede alcanzar una mayor escala.

A raíz de la transición energética y la acción climática, se han puesto a disposición varias opciones de financiamiento para apoyar el mayor despliegue de tecnologías de energía limpia. Estas incluyen las diversas opciones de financiamiento climático y fuentes de financiamiento personalizadas disponibles de instituciones financieras internacionales e instituciones bilaterales, entre otras. Además, varios países han diseñado esquemas de financiamiento catalizador para estimular el crecimiento económico luego de la recesión causada por la pandemia de COVID-19. El desarrollo geotérmico, incluido el uso directo, podría beneficiarse de las oportunidades de financiamiento creadas por estas opciones de financiamiento. Por ejemplo, IRENA coordina dos plataformas de facilitación de proyectos de múltiples partes interesadas que apoyan las inversiones en energías renovables (Recuadro 10).

RECUADRO 10 PLATAFORMAS DE FACILITACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES COORDINADAS POR IRENA

Plataforma de Inversión Climática (CIP, por sus siglas en inglés)

La CIP es una plataforma en línea de múltiples partes interesadas que se estableció en 2020 por IRENA, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Energía Sostenible para TODOS (SEforALL), en cooperación con el Fondo Verde para el Clima (GCF). La plataforma permite el registro de proyectos de energías renovables que requieran apoyo, así como de inversionistas/financieros interesados en apoyar proyectos que están impulsando la transición energética. La CIP tiene como objetivo apoyar proyectos de energías renovables, que estén alineados con el logro del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, para obtener el financiamiento necesario. La plataforma proporciona un enfoque holístico para la facilitación de proyectos, incluido el apoyo para el establecimiento y la implementación de compromisos climáticos ambiciosos y marcos propicios a nivel de país, enlace entre proyectos e inversionistas, así como mitigación de riesgos a través de asistencia técnica para lograr viabilidad crediticia.

Luego de un proceso de selección basado en un conjunto de criterios, hasta diciembre de 2021 se han destinado 26 proyectos para recibir apoyo financiero de intermediación a través de la plataforma CIP. A través del proceso de intermediación, se estima que se movilizarán más de 1000 millones de USD para implementar los proyectos.

Fuente: CIP, 2021.

Plataforma de Financiamiento Acelerador de Transición Energética (ETAF)

En 2021, IRENA y los Emiratos Árabes Unidos, a través del Fondo de Abu Dabi para el Desarrollo (ADFD), establecieron la Plataforma ETAF, un mecanismo de financiamiento de mil millones de dólares para apoyar la transición energética al abordar las brechas financieras existentes. El mecanismo tiene como objetivo proveer cofinanciamiento o coinversión a todos los tamaños de proyectos en países en desarrollo a pedido.

La plataforma ETAF se estableció con un capital inicial de 400 millones de USD del ADFD y prevé aumentar el saldo de múltiples partes interesadas durante 2022-2023 y aprovechar la experiencia de IRENA para apoyar a los desarrolladores de proyectos.

La plataforma ETAF es la sucesora del mecanismo de financiamiento IRENA/ADFD, que estuvo operativo entre 2013 y 2020 y apoyó 26 proyectos de energías renovables, principalmente en países en desarrollo.

Fuente: ETAF, 2021.

Como se describe en las secciones 3.2 y 3.3, uno de los primeros pasos que los países pueden tomar para atraer inversión privada al sector de energía geotérmica de uso directo es desarrollar e implementar marcos normativos, jurídicos y de políticas claros y transparentes; combinado con el desarrollo y la alineación de planes para integrar la utilización del calor geotérmico en los sectores de uso final. Esto incluye reglamentos para extraer y utilizar calor geotérmico (*por ejemplo*, cómo se otorgarán los derechos de extracción y por cuánto tiempo; qué requisitos y procedimientos de permisos ambientales y sociales deben establecerse para los proyectos, etc.).

Las alianzas público-privadas son un método efectivo para compartir los costos y riesgos del desarrollo de proyectos dependiendo de quién esté mejor preparado para asumirlos, como los asociados con la perforación y exploración, y el desarrollo de infraestructura propicia. Si bien es posible que el sector privado no pueda asumir el mismo nivel de riesgo que el sector público, aporta prácticas comerciales innovadoras y conocimientos especializados en el desarrollo de proyectos de los que el sector público puede carecer (IRENA, 2021b). Los esquemas de mitigación de riesgos que históricamente se han utilizado para apoyar la generación de electricidad geotérmica pueden adaptarse por el sector público y privado como herramientas para apoyar el desarrollo de proyectos de uso directo (Boissavy, 2020).

Una forma de reducir los requisitos de financiamiento de los proyectos de uso directo y mejorar su viabilidad crediticia es desarrollar los proyectos junto con proyectos de energía geotérmica preexistentes para utilizar el exceso de calor de la generación de energía a través de sistemas en cascada o el calor disponible de pozos no comerciales y en ubicaciones no rentables. Este enfoque limita la exposición del mecanismo de uso directo al riesgo y los costos de perforación y acorta la duración del desarrollo del proyecto. Además, cuando se desarrollan sistemas en cascada, el riesgo de inversión se minimiza en gran medida debido a que varios operadores comparten la infraestructura.

Además, los proyectos de uso directo pueden beneficiarse al hacer uso de la infraestructura existente desarrollada para el proyecto de electricidad, como la obtención de energía térmica a partir de tuberías de reinyección (véase la sección 3.4). Un ejemplo es la secadora de café que utiliza salmuera a 170 °C de la tubería de reinyección en la central geotérmica de Berlín en El Salvador (véase la sección 2.2). En el caso de Islandia, el desarrollador geotérmico HS Orka brinda a las empresas ubicadas en el Resource Park acceso a salmuera caliente y gases no condensables para usar en sus operaciones de uso directo. En Turquía, el gobierno financia el desarrollo de infraestructura para apoyar la calefacción de invernaderos a través de un programa respaldado por el Ministerio de Agricultura y Silvicultura.

Los estudios de factibilidad y los proyectos piloto también juegan un papel importante en la obtención de financiamiento para aplicaciones geotérmicas de uso directo en sistemas agroalimentarios. Los estudios de factibilidad son clave para determinar la viabilidad crediticia de los proyectos de uso directo a través de la evaluación de su viabilidad técnica, jurídica, social, ambiental y financiera. Por ejemplo, en Kenia, se llevaron a cabo estudios de prefactibilidad para evaluar la viabilidad del uso de energía geotérmica en las cadenas de valor de la leche y la carne.

Los gobiernos actúan como facilitadores del desarrollo social y económico para mejorar el bienestar de los ciudadanos. La evaluación de los impactos socioeconómicos y ambientales de las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas en las comunidades locales podría aumentar aún más la conciencia de sus beneficios, lo que resultaría en la aceptación por parte de los encargados de formular políticas y las comunidades, particularmente si los impactos son positivos. Esto, a su vez, podría desbloquear el financiamiento de los gobiernos y otros socios de desarrollo para infraestructura clave para apoyar proyectos de uso directo. Para demostrar adecuadamente los beneficios del uso del calor geotérmico, las evaluaciones deben considerar los impactos a lo largo de toda la cadena de valor de los productos producidos dentro de un área determinada, por ejemplo, frutas, verduras, pescado y ganado, entre otros.

Aumentar el crecimiento en el uso directo de la energía geotérmica requerirá no solo financiamiento público, sino también alianzas con bancos comerciales locales que puedan brindar financiamiento en moneda local. Al igual que con cualquier proyecto de infraestructura, la estructuración financiera es clave para el éxito del proyecto, ya que los financieros necesitan un proyecto "financiable" que puedan respaldar. Facilitar que las instituciones financieras locales entiendan los requisitos de financiamiento de los proyectos de uso directo por parte de los desarrolladores y otras partes interesadas de la industria podría permitir a los financieros potenciales estructurar y adaptar los productos financieros para este sector. Como ejemplo, el banco turco Ziraat Bank otorga préstamos con términos adaptados a las necesidades de los proyectos locales de invernaderos con calefacción geotérmica (Recuadro 11).

Otra solución de financiamiento importante es mejorar la inteligencia de mercado para reducir el riesgo y optimizar las inversiones en energía geotérmica en las cadenas alimentarias. Esto puede lograrse de dos formas:

- al identificar las ubicaciones donde las soluciones de energía geotérmica tienen las mejores posibilidades de generar rendimientos agrícolas potenciales, similar a lo que se ha hecho con la energía solar en la cadena de valor del maíz de Uganda (Shirley *et al.*, 2021); y
- como complemento a la identificación, al realizar un análisis integral costo-beneficio de las inversiones en energía geotérmica en las cadenas alimentarias, similar a lo que la FAO ha hecho para la energía solar y el biogás (Sims *et al.*, 2015).

RECUADRO 11 PRÉSTAMOS PARA INVERNADEROS GEOTÉRMICOS EN TURQUÍA



Invernadero con calefacción geotérmica en Turquía

El calor geotérmico juega un papel central en la producción de alimentos en Turquía. Si bien la mayor parte de la producción de electricidad geotérmica tiene lugar en el oeste de Turquía, los invernaderos geotérmicos impulsan la economía local en la región de Caldiran-Ayrancilar en el este de Turquía. Caldiran es la región más fría del país, donde las temperaturas pueden llegar a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero esto no ha impedido que la población local produzca hortalizas. Los invernaderos obtienen agua caliente de varios pozos geotérmicos que se encuentran en la zona, y el calor geotérmico mantiene la temperatura interior de los invernaderos por encima de los $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. En estos invernaderos se producen tomates, berenjenas y pepinos de primera calidad.

El potencial geotérmico de Turquía puede respaldar la calefacción de invernaderos con recursos geotérmicos para un área de 30 000 hectáreas. Sin embargo, para que esto se logre, se necesitan proyectos patrocinados por el estado y se deben proporcionar incentivos. Con los esfuerzos de la Asociación de Inversionistas de Centrales Geotérmicas, se implementó el proyecto Zona Industrial Organizada Especializada Agrícola (TDIOSB, por sus siglas en inglés) para apoyar la producción agrícola en instalaciones industriales utilizadas en el procesamiento de vegetales y ganado. Una vez que los proyectos se incluyen en el programa de inversión, el financiamiento necesario para la infraestructura está cubierto por el Ministerio de Agricultura y Silvicultura, con exenciones previstas en el impuesto al valor agregado (IVA). A partir de 2021, la TDIOSB tenía 46 proyectos dentro de su alcance, incluido un proyecto de 71.7 hectáreas en Aydin, donde se producían 20 000 toneladas de tomates al año y se empleaba a 750 personas; y actividades de cultivo en invernadero en Kütahya, donde se producen 35 000 toneladas de tomates al año y se emplea a 1 100 personas.

Otro invernadero geotérmico es propiedad de Caldiran Geothermal Inc., construido en 2016 con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Silvicultura de Turquía. Este invernadero geotérmico, ubicado a una altitud de 2 050 metros, tiene capacidad para producir de 1 000 a 2 000 toneladas de tomate y se comercializa bajo la marca Agravan. Estos productos se venden localmente y se exportan a Georgia, la Federación Rusa y el Reino Unido. Las instalaciones emplean a 40 personas en la comunidad de Ayrancilar. La participación de las mujeres también ha aumentado en este tipo de trabajo, algo que no es común en Turquía, con 30 mujeres trabajando actualmente en las instalaciones (Richter, 2020b).

Los bancos privados han creado incentivos para los inversionistas en el sector de los invernaderos geotérmicos en Turquía. En 2019, el banco turco Ziraat Bank lanzó un paquete de préstamos para proyectos de calefacción de invernaderos geotérmicos para aumentar el interés en el desarrollo de proyectos centrados en el cultivo en invernaderos. Los paquetes de préstamos ofrecen opciones flexibles para los inversionistas, como un periodo de gracia principal de hasta dos años, y los préstamos de inversión pueden valorarse hasta por siete años, según el periodo de reembolso. Ziraat Bank también ofrece paquetes de crédito para invernaderos existentes que necesitan invertir en infraestructura geotérmica moderna (Richter, 2019b).

3.6 Desarrollo de capacidades locales, educación y conciencia

Aunque el concepto de uso directo no es nuevo, la utilización del calor geotérmico en el sector agroalimentario, entre otras aplicaciones de uso directo, aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo en la mayoría de los países. Por lo tanto, la concientización sobre los beneficios y oportunidades asociados con las tecnologías geotérmicas de uso directo es fundamental para los encargados de formular políticas, los empresarios y las comunidades. Dado que el calor geotérmico, a diferencia de la electricidad, solo se puede usar localmente, la creación de conciencia debe enfocarse a nivel local. Además, se requiere experiencia para establecer y operar proyectos geotérmicos. Esto se puede construir a través de instituciones educativas o programas de desarrollo de capacidades técnicas.

En países con aplicaciones geotérmicas de uso directo establecidas, la viabilidad técnica y financiera de los proyectos de uso directo se comprende mejor, ya que los proyectos de calefacción geotérmica exitosos demuestran los beneficios y la viabilidad de tales tecnologías para los encargados de formular políticas y las comunidades beneficiarias. Sin embargo, este no es el caso en la mayoría de los países. Por lo tanto, la creación de conciencia debe implicar la demostración de los beneficios que se pueden derivar de la implementación de aplicaciones agroalimentarias impulsadas por energía geotérmica. En este sentido, en esta guía se presenta una metodología para evaluar los costos y beneficios socioeconómicos de implementar proyectos de uso directo de la energía geotérmica en el sector agroalimentario (véase la sección 4.1). La metodología proporciona una medición cuantitativa y cualitativa de los impactos económicos, sociales, financieros y ambientales de los proyectos de uso directo de la energía geotérmica a partir de un conjunto de indicadores específicos para este tipo de proyectos.

También podrían desarrollarse proyectos piloto para ayudar a demostrar la viabilidad técnica y, en cierta medida, proporcionar indicaciones sobre la viabilidad comercial de las tecnologías de calefacción de uso directo. Los proyectos piloto son fundamentales en la recopilación de los datos necesarios que podrían ayudar a mejorar la confianza de los inversionistas a la hora de tomar decisiones de inversión. Una vez que se les muestra a los usuarios finales beneficiarios potenciales, los formuladores de políticas y las comunidades un proyecto real cuyos datos prueban operaciones exitosas, aumenta el nivel de conocimiento y aceptación de la tecnología.

Se requieren diferentes tipos de experiencia para desarrollar proyectos geotérmicos, incluidos geocientíficos e ingenieros de perforación a nivel de recursos, expertos ambientales y sociales, gestores de proyectos, encargados de formular políticas y financieros (véase el Recuadro 12). Las alianzas con instituciones internacionales, regionales y locales son importantes para poder brindar programas de capacitación y certificación para expertos técnicos, proveedores de servicios y la fuerza de trabajo posterior para operar y mantener proyectos. También será necesario brindar apoyo para el fomento de la capacidad y el espíritu empresarial a las industrias locales (*por ejemplo*, agricultores, artesanos) para ayudar a crear conciencia y desarrollar habilidades locales en los sectores geotérmico y agroalimentario. Además, la capacitación y el desarrollo de capacidades de las instituciones públicas relevantes deben brindar un amplio apoyo en las áreas de formulación de políticas y toma de decisiones, además de impartir conocimientos técnicos o comerciales.

Para los países sin suficiente experiencia previa en aplicaciones geotérmicas en el sector agroalimentario, es importante mejorar la capacidad de las instituciones nacionales para evaluar aplicaciones potenciales, estimular la inversión e implementar proyectos. El desarrollo de la capacidad institucional se puede lograr a través de actividades de capacitación, así como a través de la provisión de herramientas/software, investigación conjunta y proyectos piloto y de demostración.

En África Oriental, se han implementado varios programas de asistencia técnica en la región para apoyar el desarrollo del uso directo de la energía geotérmica. En 2013, USAID apoyó a GDC de Kenia para desarrollar una metodología para identificar y priorizar proyectos de uso directo. Este apoyo dio como resultado el desarrollo de estudios de prefactibilidad para una serie de cadenas de valor agroalimentarias, así como un centro de demostración de uso directo en el campo geotérmico de Menengai. El Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido a través de la Planta de Energía Geotérmica de África Oriental (EAGER, por sus siglas en inglés) apoyó a Uganda para identificar oportunidades potenciales de uso directo que se pueden desarrollar junto con la generación de electricidad para mejorar la rentabilidad de los proyectos geotérmicos. El Centro y Red de Tecnología Climática (CTCN, por sus siglas en inglés) llevó a cabo una evaluación de oportunidades de uso directo en Yibuti, Etiopía, Kenia, Ruanda, Tanzania y Uganda a partir de 2020 con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

En Centroamérica, la GIZ de Alemania está ejecutando un programa para ayudar a los países de la subregión a desarrollar capacidades para usos industriales y agroalimentarios de la energía geotérmica, como se describe en el Recuadro 12.

RECUADRO 12 ASISTENCIA TÉCNICA DE GIZ EN CENTROAMÉRICA

En 2016, la GIZ de Alemania estableció un programa regional para promover y fomentar el uso del calor geotérmico en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. GIZ implementó el programa en nombre del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania y en colaboración con una contraparte local, el Sistema de Integración Centroamericana (SICA). El programa también tiene alianzas internacionales con la Asociación Geotérmica Internacional (IGA), la Bundesverband Geothermie (BVG) y el Banco Mundial (GIZ, 2020b).

La primera fase del proyecto Fomento de la Energía Geotérmica en Centroamérica (FoGeo-1), se implementó del 2016 al 2020. El objetivo del programa era apoyar el desarrollo de capacidades y el desarrollo de un entorno propicio para la inversión para facilitar la implementación de la aplicación agrícola e industrial de la energía geotérmica. Como parte del proyecto, se evaluó la viabilidad técnica, comercial y social de proyectos piloto seleccionados para casos independientes y en cascada en Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras (GIZ, 2020c).

La segunda fase del proyecto, Utilización del Calor Geotérmico en Procesos Industriales en los Países Miembros del SICA (GEO II), comenzó en 2020 y durará hasta 2023. Esta fase del programa se centra en la implementación de proyectos piloto a través del diálogo sobre políticas, la adaptación de marcos normativos, la difusión de conocimientos, el desarrollo de capacidades, la colaboración de las partes interesadas y el desarrollo de proyectos (Banco Mundial, 2018). Estos proyectos piloto no solo demostrarán el potencial para reducir los costos de consumo de energía para la agroindustria, sino que también pretenden tener impactos sociales y económicos en términos de creación de empleo y desarrollo comunitario local sostenible (Alfaro, 2021).

En todo el mundo, hay muchos centros o programas de capacitación internacionales, regionales y nacionales que brindan desarrollo de capacidades geotérmicas, incluidos (entre otros) los siguientes:

- **El Centro de Excelencia Geotérmica de África (AGCE, por sus siglas en inglés)** se fundó en 2017 como una iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, con el apoyo del gobierno islandés y desarrolladores de energía geotérmica en Kenia, para brindar cursos de capacitación sobre energía geotérmica en la región africana. Los cursos de capacitación de AGCE realizados en Kenia incluyen un módulo sobre tecnologías de uso directo.
- **El Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA)** en Chile es una colaboración entre investigadores académicos de universidades en Chile para desarrollar conocimiento científico sobre recursos geotérmicos a través de programas de investigación académica, a veces en colaboración con desarrolladores privados, sobre temas relacionados con los recursos geotérmicos de baja y alta entalpía, el uso directo y los aspectos sociales de la energía geotérmica.
- **CeMIE-Geo** es una alianza entre la academia y la industria con el apoyo de la Secretaría de Energía de México y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para promover y acelerar el uso y desarrollo de la energía geotérmica en México. El consorcio incluye varias universidades, institutos de investigación científica, así como empresas públicas y privadas.
- **La Instalación de Recursos de Energía Geotérmica de África Oriental (EAGER, por sus siglas en inglés) (2015-2018)** se financió por el gobierno del Reino Unido y tenía como objetivo apoyar la inversión en generación de energía geotérmica en Etiopía, Kenia, Ruanda, Tanzania y Uganda a través de programas de asistencia técnica y desarrollo de capacidades a nivel nacional. La instalación también apoyó la evaluación preliminar del desarrollo de aplicaciones de uso directo junto con proyectos de electricidad para mejorar su viabilidad financiera.
- **El Instituto Fraunhofer de Infraestructuras Energéticas y Energía Geotérmica (IEG)** en Alemania es un grupo de expertos que lucha por la transición energética. Uno de sus principales proyectos es el secado geotérmico

de papel. El objetivo del proyecto es desarrollar vapor para el secado de papel y garantizar la fabricación sostenible de papel mediante el uso de energía geotérmica en el proceso de secado.

- **El Instituto Geotérmico** de la Universidad de Auckland es un instituto con sede en Nueva Zelanda que brinda investigación, consultoría y capacitación, entre otros servicios relacionados con la energía geotérmica, dentro y fuera del país. También ofrece programas de maestría en temas relacionados con la energía geotérmica.
- **El Grupo iiDEA** del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) es un grupo de investigación en energía geotérmica aplicada que desarrolla tecnología para la agricultura, la pesca, la calefacción urbana, las aplicaciones de la industria alimentaria y la generación de energía. El grupo tiene como objetivo encontrar soluciones sostenibles al nexo entre el agua, la energía y los alimentos. El Grupo iiDEA fue fundamental en el desarrollo de una instalación de secado geotérmico en México.
- **El Programa de capacitación geotérmica chino-islandés** se ofrece en el Instituto de Gestión de Sinopec en Beijing, China. El programa se enfoca en capacitar a expertos en energía geotérmica chinos en el desarrollo y uso de recursos geotérmicos de temperatura baja a media para calefacción.
- **La Universidad del Salvador** ofrece un Diplomado en Energía Geotérmica en América Latina. El programa de cuatro meses se desarrolló en colaboración con el Programa de Capacitación en Geotermia de GRO (GTP) (Recuadro 13) y el Fondo Nórdico para el Desarrollo. El programa, impartido en español, tiene como objetivo fortalecer el conocimiento tecnológico y científico de instituciones, empresas y personal que trabaja en el campo de la energía geotérmica en toda América Latina.



© Programa de Capacitación en Geotermia de GRO

Estudiantes de GRO GTP en visita a un invernadero en Islandia.

RECUADRO 13

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN GEOTERMIA DE GRO (GTP), ISLANDIA

El Programa de Capacitación en Geotermia de GRO (GTP) en Islandia es uno de los principales programas de capacitación reconocidos internacionalmente para el desarrollo de capacidades de la fuerza laboral geotérmica global. El desarrollo de la energía geotérmica requiere diversos conjuntos de habilidades en una variedad de disciplinas de geociencia e ingeniería. Sin embargo, hay pocos programas de grado universitario en energía geotérmica, y la mayor parte de la capacitación se produce en el trabajo dentro de empresas e instituciones de investigación. Por lo tanto, GRO GTP ofrece de manera única capacitación de posgrado en energía geotérmica a profesionales de países en desarrollo.

La misión del programa es ayudar a los países en desarrollo de África, Asia y América Latina y el Caribe a fortalecer las capacidades de su fuerza laboral a nivel individual e institucional, alineados con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El GTP ofrece varios tipos de desarrollo de capacidades:

- Anualmente se ofrece un programa de capacitación de seis meses en Islandia. Científicos e ingenieros que son profesionales en ejercicio de todo el mundo vienen a Islandia para asistir a conferencias introductorias, recibir capacitación especializada y realizar un proyecto de investigación final. Los profesionales en capacitación tienen acceso a las instalaciones de investigación multidisciplinar de las organizaciones anfitrionas., es *decir*; Iceland GeoSurvey (ISOR) y Orkustofnun (Autoridad Nacional de Energía de Islandia). El programa ha graduado a más de 710 becarios hasta 2021.
- Un programa de becas de maestría y doctorado en la Universidad de Islandia y la Universidad de Reikiavik es apto para los graduados del programa de capacitación de seis meses que aún no han recibido títulos universitarios avanzados.
- Se ofrecen talleres y cursos cortos en países seleccionados de África (desde 2005), Centroamérica (desde 2006) y Asia (desde 2008) para llegar a un público más amplio y promover la cooperación entre expertos de la industria.

El uso directo de la energía geotérmica es un módulo clave en los programas patrocinados por GTP. Los estudiantes participantes reciben orientación académica y técnica de expertos islandeses y capacitados en Islandia durante los programas. Durante el programa de capacitación de seis meses en Islandia, se introduce a los estudiantes al uso directo a través de conferencias y visitas de campo a instalaciones que utilizan calor geotérmico, como invernaderos, acuicultura e instalaciones de secado de pescado. Además, los estudiantes que se especializan en la utilización de la energía geotérmica tienen la opción de realizar investigaciones sobre cualquier aspecto del uso del calor geotérmico, incluso para aplicaciones agroalimentarias. Los cursos cortos y talleres también suelen incorporar un módulo sobre uso directo de la energía geotérmica. Algunos estudiantes que se gradúan del programa de becas de maestría y doctorado han desarrollado su tesis en torno a temas relacionados con el uso directo.

En 2021, el GTP realizó su primer curso sobre energía geotérmica en línea con un enfoque en África. El curso abarcó temas sobre el potencial geotérmico, la viabilidad económica de la generación de electricidad y las aplicaciones de uso directo en África. El curso se dirigió a los encargados de tomar de decisiones en los países socios de GTP y atrajo a alrededor de 200 participantes de 32 países. También se planificaron cursos en línea similares para Asia y América Latina y el Caribe.

3.7 Aprovechamiento de la tecnología, la innovación y la sostenibilidad

El uso de energía geotérmica para la generación de electricidad extrae solo una parte de la energía obtenida del recurso geotérmico, mientras que el resto a menudo se reinyecta al suelo con la salmuera gastada. Los usos directos, incluidas las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas, presentan una excelente oportunidad para utilizar el recurso geotérmico de manera sostenible al extraer más energía de la salmuera antes de que se vuelva a inyectar. Las aplicaciones de calor geotérmico fomentan la implementación de tecnologías innovadoras diseñadas con miras a mejorar la sostenibilidad.

Por ejemplo, las prácticas que generan energía en cascada a través de varios procesos térmicos que requieren energía a diferentes niveles de temperatura aseguran que se pueda extraer la mayor cantidad de energía posible del recurso geotérmico. Una corriente de agua caliente o vapor que contiene energía geotérmica pasa de un proceso térmico a otro, y cada proceso extrae la cantidad de energía que requiere. Los procesos que requieren temperaturas más altas se ubican aguas arriba, mientras que aquellos que requieren temperaturas más bajas se ubican aguas abajo.

En un esfuerzo por crear una sociedad sin residuos y mejorar la sostenibilidad, es posible crear procesos que no solo generen energía en cascada, sino que también promuevan la reutilización de los subproductos de desechos de los demás, lo que da como resultado procesos circulares. El concepto pionero de una sociedad sin residuos se demostró en Kalundborg, Suecia, en la década de 1950. Diseñado alrededor de una planta de carbón de 1 500 MW, el parque industrial de Kalundborg proporcionó un modelo de una red de simbiosis industrial en la que las empresas vecinas colaboran para hacer uso de los subproductos de los demás y compartir recursos, y reducir así los flujos de residuos.

Este concepto de simbiosis industrial se adoptó en Islandia como parque ecoindustrial y se amplió mediante la integración de la energía geotérmica como recurso renovable. El desarrollo del Parque de Recursos Svartsengi en Islandia en la península de Reykjanes se formó después de que una planta combinada de calor y energía geotérmica abriera operaciones allí en 1976. El parque alberga una variedad de servicios que incluyen, entre otros, el spa Blue Lagoon, una clínica de dermatología que integra el uso de minerales geotérmicos, una unidad de biotecnología para la producción de algas y una planta de fabricación de metanol que utiliza CO₂ del recurso geotérmico como materia prima. El cercano Parque de Recursos Reykjanes ofrece instalaciones para secar pescado, entre otras actividades. El Parque de Recursos está en proceso de expansión de operaciones con la inclusión de nuevas empresas que pueden utilizar los subproductos de las plantas geotérmicas, incluidos el calor residual, los minerales disueltos y los gases no condensables.

Los parques ecoindustriales ofrecen un modelo para utilizar los recursos geotérmicos a través de prácticas innovadoras para generar más flujos de ingresos y reducir los residuos. Estas instalaciones actúan como centros de incubación para la innovación en el nexo entre la energía y los alimentos. Los principios de este diseño y el papel que puede desempeñar la energía geotérmica en el impulso de la sostenibilidad y la nueva tecnología innovadora se pueden aplicar a las aplicaciones de uso directo actuales y futuras.

En Europa, la industria de producción de alimentos todavía está innovando formas de reducir su huella de carbono. El proyecto GEOFOOD es una iniciativa entre socios de Islandia, los Países Bajos y Eslovenia que busca integrar la horticultura y la acuicultura en un sistema de producción de cero residuos netos calentado con energía geotérmica. El objetivo del proyecto GEOFOOD es descubrir el potencial de los campos geotérmicos de baja temperatura para la producción y procesamiento de alimentos. Esta iniciativa se centra en las ventajas de la producción circular de alimentos, como la optimización del uso de energía y nutrientes, el tratamiento del agua y los procesos de recuperación de residuos cuando se implementan aplicaciones de calor geotérmico en la agroindustria.

Las innovaciones están en curso en diferentes países para mejorar el crecimiento de las algas utilizando energía geotérmica. El calor de la energía geotérmica proporciona un entorno propicio para el crecimiento óptimo de las algas, mientras que el CO₂ geotérmico se utiliza para mejorar la fotosíntesis, lo que resulta en una huella de carbono negativa. Además, el crecimiento de algas en estas condiciones da como resultado un bajo consumo de agua dulce y un bajo uso de la tierra en comparación con los métodos de producción convencionales (Mannvit, 2020) (Fotografía 5). Las algas así producidas se utilizan para la alimentación de animales y peces, la extracción de micronutrientes de alto valor y la fabricación de cosméticos. Además, se informó que los investigadores que trabajan en el desarrollo de antimicrobianos en Nueva Zelanda están estudiando los termófilos (microorganismos que crecen a temperaturas elevadas) y la posibilidad de extraer sus moléculas para la fabricación de antibióticos (Royal Society of Chemistry, 2018).

Fotografía 5 Producción de algas en fotobiorreactores



© INTREEGUE Photography/Shutterstock.com

La Tabla 8 proporciona un resumen de las acciones clave necesarias para aplicaciones geotérmicas aceleradas en el sector agroalimentario, los desafíos existentes y las posibles soluciones, basándose en las lecciones aprendidas de proyectos exitosos en todo el mundo.

Tabla 8 Resumen de desafíos, brechas, recomendaciones y lecciones aprendidas para apoyar el uso del calor geotérmico en los sistemas agroalimentarios

Desafío/brecha	Descripción	Recomendaciones/lecciones aprendidas
Identificación de oferta y demanda potencial de energía geotérmica para sistemas agroalimentarios	<p>Existen datos inadecuados sobre la disponibilidad de recursos geotérmicos aptos para uso directo.</p> <p>Los recursos geotérmicos poco profundos, que podrían desarrollarse más fácilmente que los recursos geotérmicos más profundos para uso directo, están en gran parte inexplorados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar datos sobre recursos geotérmicos de varias fuentes. • Desarrollar herramientas de identificación para integrar los datos geotérmicos disponibles para informar la formulación de políticas (los portales de datos digitales, bases de datos en línea, mapas GIS interactivos y herramientas analíticas ayudarán a identificar áreas potenciales con recursos geotérmicos adecuados para aplicaciones de uso directo). • Centrarse en el desarrollo de recursos geotérmicos someros para aplicaciones de uso directo en sistemas agroalimentarios. • Identificar las cadenas de valor agroalimentarias que pueden beneficiarse del uso de la energía geotérmica debido a su ubicación conjunta con los recursos geotérmicos. Esto podría representarse en mapas.
Marcos normativos, jurídicos y de políticas	<p>Las leyes y los reglamentos para apoyar el desarrollo de proyectos geotérmicos pueden ser inadecuados o inexistentes.</p> <p>Los instrumentos de políticas para apoyar la integración de la energía geotérmica en los sistemas agroalimentarios pueden ser inadecuados o inexistentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer procedimientos de concesión de licencias adecuados y simplificados para proyectos geotérmicos de uso directo y reglamentos claramente definidos. • Desarrollar e implementar instrumentos de políticas para fomentar el despliegue del calor geotérmico en el sector agroalimentario.
Alineación intersectorial y participación de las múltiples partes interesadas	<p>Las políticas de diferentes sectores cuya participación se requiere para implementar proyectos de uso directo por lo general no están alineadas.</p> <p>Un gran número partes interesadas están involucradas en el desarrollo de proyectos de uso directo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar enfoques de planificación integrados e intersectoriales para facilitar la adopción de la energía geotérmica en los sistemas alimentarios y alinear las prioridades de los sectores público y privado (<i>por ejemplo</i>, con planes maestros u hojas de ruta para la utilización del calor geotérmico). • Identificar a las diversas partes interesadas en el desarrollo de proyectos de uso directo y elaborar una estrategia para su participación lo antes posible.
Desarrollo y propiedad del proyecto	<p>La duración del desarrollo de un proyecto geotérmico es larga.</p> <p>Existen oportunidades para compartir infraestructura, como pozos y tuberías de suministro de energía, entre diversas aplicaciones agroalimentarias.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar modelos de desarrollo que promuevan el uso compartido de la infraestructura para minimizar el costo y la exposición a proyectos individuales y lograr marcos de tiempo de desarrollo más rápidos. • Aprovechar los recursos geotérmicos que se pueden aprovechar fácilmente para permitir un desarrollo más rápido de proyectos, <i>por ejemplo</i>, recursos geotérmicos de baja temperatura (superficiales), exceso de calor de las centrales eléctricas, etc. • Apoyar marcos de planificación integrados que incluyan el desarrollo de infraestructura. • Definir los objetivos de los proyectos de uso directo tan pronto como sea posible e identificar empresas que avancen en los objetivos.

Desafío/brecha	Descripción	Recomendaciones/lecciones aprendidas
Acceso al financiamiento	<p>El desarrollo de proyectos geotérmicos tiene altos costos y riesgos iniciales.</p> <p>Los recursos financieros públicos son limitados, especialmente en los países en desarrollo.</p> <p>El financiamiento de bancos multilaterales e internacionales se centra principalmente en proyectos de producción de electricidad geotérmica.</p> <p>En muchos países en desarrollo falta la viabilidad demostrable de los proyectos de uso directo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer esquemas de mitigación de riesgos para minimizar la exposición a pérdidas por parte de los desarrolladores geotérmicos. • Desarrollar leyes y reglamentos que fomenten el despliegue de la calefacción geotérmica, incluidos los procedimientos simplificados de concesión de licencias para proyectos geotérmicos de uso directo. • Desarrollar proyectos de uso directo junto con proyectos de energía existentes para utilizar el exceso de calor a través de sistemas en cascada o el calor disponible de pozos no comerciales. • Evaluar los beneficios socioeconómicos del despliegue de calor geotérmico en proyectos agroalimentarios para demostrar el potencial para mejorar los medios de vida de las comunidades locales. • Lanzar proyectos piloto para demostrar la viabilidad técnica/financiera de las tecnologías de uso directo y los modelos comerciales asociados. • Asociarse con bancos locales y desarrollar su capacidad para financiar proyectos de uso directo utilizando financiamiento en moneda local. • Aprovechar las plataformas de asistencia técnica y enlace para conectar a inversionistas/financieros con proyectos financiables.
Desarrollo de capacidades locales, educación y conciencia	<p>Existe una escasez de mano de obra calificada local para la energía geotérmica en los sectores público y privado.</p> <p>La conciencia es limitada sobre el potencial y los beneficios de las aplicaciones de uso directo para mejorar la situación socioeconómica de las comunidades locales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Asociarse con instituciones internacionales, regionales o locales para brindar programas de capacitación y certificación para la fuerza laboral de procesos intermedios a fin de desarrollar, operar y mantener proyectos de uso directo. • Crear conciencia sobre los beneficios y la viabilidad de los proyectos de uso directo entre los encargados de formular políticas, las comunidades y las industrias agroalimentarias del sector privado. • Identificar mejores prácticas y promover el intercambio de experiencias y conocimientos entre países y centros de capacitación a nivel regional. • Desarrollar la capacidad de las instituciones públicas para identificar oportunidades de uso directo y evaluar su viabilidad financiera y socioeconómica.
Aprovechamiento de la tecnología, la innovación y la sostenibilidad	<p>Existe la necesidad de utilizar los recursos de manera sostenible y minimizar el desperdicio.</p> <p>Se debe fomentar la innovación para permitir la creación de nuevos productos y procesos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar prácticas de sostenibilidad en el sector energético (geotérmico) e industrial que apunten a maximizar el uso de energía y minimizar el desperdicio de material a través de una economía en cascada y circular. • Integrar los centros de incubación en la utilización geotérmica, incluso mediante la colaboración con instituciones de investigación, para promover el desarrollo de nuevos productos y procesos a través de la innovación.

HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS

4.1 Evaluación de los impactos socioeconómicos del uso directo de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias

La incorporación del uso directo de la energía geotérmica en una aplicación agroalimentaria afecta a un grupo diverso de partes interesadas a lo largo de la cadena de valor agroalimentaria, que incluye inversionistas, desarrolladores, agricultores, autoridades locales, comunidades locales, hogares e individuos. La Sección 2.1 presenta cómo estas partes interesadas pueden beneficiarse financiera, social y ambientalmente de la incorporación de la energía geotérmica en las empresas agroalimentarias, mientras que esta sección proporciona una metodología para medir los impactos de esos beneficios (aquí denominados beneficios socioeconómicos).

Esta metodología subraya la importancia de los beneficios socioeconómicos netos que contribuyen a la viabilidad del proyecto, más allá de la rentabilidad financiera. En particular, proporciona a los encargados de tomar decisiones un enfoque semicuantitativo para incorporar factores socioeconómicos en los casos de negocios. Por último, informa a los encargados de tomar decisiones sobre la relevancia de los beneficios no financieros en la cadena de valor agroalimentaria geotérmica, lo que fomenta aún más la adopción de políticas energéticas que promuevan el uso directo de la energía geotérmica en proyectos agroalimentarios.

A medida que las empresas busquen incorporar la sostenibilidad en sus operaciones, esta metodología será una herramienta útil para medir las métricas no relacionadas con la rentabilidad, como los aspectos sociales y ambientales. En particular, el caso comercial para el uso directo de la energía geotérmica en la industria agroalimentaria debe analizar los impactos de estos aspectos en las empresas, los proveedores de energía, el medio ambiente y la sociedad en general. Esta metodología podría aplicarse, por ejemplo, durante los estudios de factibilidad, tanto por desarrolladores estatales y proyectos financiados con fondos públicos como por proyectos patrocinados de forma privada. Para cada escenario de suministro de energía geotérmica, se debe realizar el desarrollo de un caso de negocios para evaluar la rentabilidad financiera, el potencial de empleo, las nuevas oportunidades de mercado, el ahorro de energía y reducciones de CO₂, entre otros. La tecnología de energía geotérmica no solo tiene el potencial de reducir los costos operativos y mejorar la rentabilidad financiera, sino que los beneficios sociales, ambientales, de salud y bienestar pueden hacer de la geotermia una alternativa de energía renovable aún más atractiva.

La energía geotérmica aporta múltiples beneficios socioeconómicos en comparación con otras tecnologías convencionales. En particular, en comparación con el gas natural y otras tecnologías de combustibles fósiles, la energía geotérmica crea más empleos por megavatio. Estos empleos no solo son más numerosos, sino que son de mejor calidad y de mayor duración (GEA, 2010). El Recuadro 14 proporciona información sobre el potencial de empleo dentro del sector geotérmico a raíz de la transición energética.

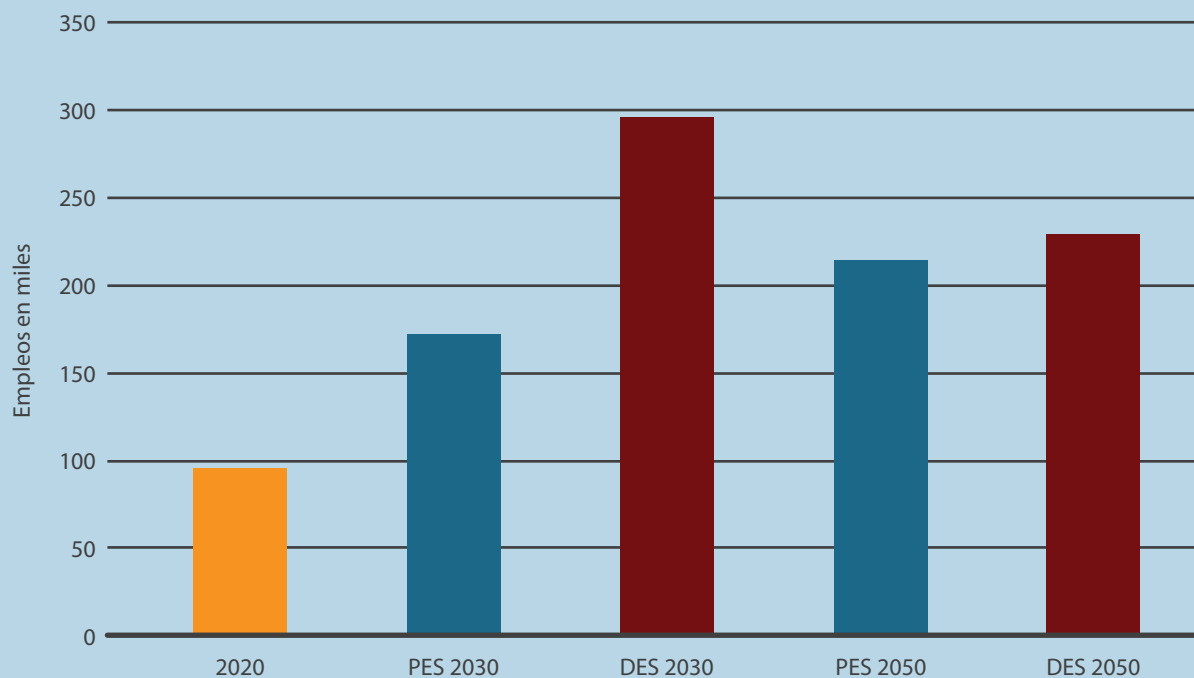
RECUADRO 14 PERSPECTIVAS DE EMPLEOS EN ENERGÍA GEOTÉRMICA

IRENA ha estado evaluando los impactos socioeconómicos de las tecnologías de energías renovables en varios frentes desde 2011. Estos incluyen beneficios relacionados con el desarrollo de empleos y habilidades, la inclusión y el empoderamiento de género, el PIB, la creación de valor a nivel local y la mejora del bienestar en general, entre otros. Los estudios de IRENA evalúan los impactos del despliegue de energías renovables en la actualidad y hacen proyecciones para 2030 y 2050 a escala mundial, regional y, en algunos casos, nacional.

La *Revisión anual de trabajos* (2021) de IRENA muestra que la tecnología geotérmica creó 96 000 empleos en 2020. La Unión Europea tiene la mayor parte, con 40 000 empleos, que incluye alrededor de 8 700 empleos en bombas de calor en la región. Estados Unidos es el segundo mayor proveedor de empleos con 8 000 empleos directos, seguido de China con un estimado de 3 000 empleos directos e indirectos (IRENA y OIT, 2021).

El informe insignia de IRENA, *Perspectiva mundial de las transiciones energéticas: ruta de 1.5 °C*, lanzado en 2021, proporciona una hoja de ruta para limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 °C y estima el impacto socioeconómico de esta transición energética en las economías y sociedades (IRENA, 2021a). El informe analiza dos escenarios diferentes: el Escenario energético previsto (PES, por sus siglas en inglés) y el Escenario energético de descarbonización (DES, por sus siglas en inglés). El PES proporciona la política actual y las rutas de destino, mientras que el DES proporciona la ruta de transición energética necesaria para alcanzar el objetivo de 1.5 °C. Para lograr el DES, el informe sugiere que la energía geotérmica desempeñará un papel importante en la transición energética hacia 2050. En términos del suministro total de energía primaria, la participación de la energía geotérmica aumentará de alrededor del 0.7 % actual a más del 8 % en 2030 y casi el 10 % en 2050 para cumplir los objetivos climáticos. En el proceso, la tecnología creará 296 000 empleos en 2030 y 229 000 empleos en 2050, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6 Empleos en ingeniería geotérmica en 2020 y proyecciones para 2030 y 2050



Fuente: IRENA, 2021a.

Además, los sitios geotérmicos tienden a estar ubicados en áreas remotas o rurales. Esto ayuda a apoyar a las comunidades o fuerzas de trabajo locales. Esto es particularmente relevante para muchos países en desarrollo, que tienen abundantes recursos geotérmicos y también enfrentan una necesidad imperiosa de reactivar las economías rurales.

Esta sección recomienda una metodología de análisis costo-beneficio para evaluar los impactos del despliegue de la energía geotérmica en los sistemas agroalimentarios. Un análisis costo-beneficio considera el atractivo de las inversiones al determinar cuantitativamente si los beneficios superan los costos. Después, esta sección identifica los indicadores socioeconómicos que son específicos del sector agroalimentario geotérmico y describe cómo se pueden monetizar los indicadores (cuando sea posible), o alternativamente evaluar cualitativamente, en el análisis costo-beneficio. Este enfoque para evaluar los impactos socioeconómicos se basa en el trabajo de IRENA (2016b) y la FAO y GIZ (2018; 2019).

Metodología para evaluar los beneficios socioeconómicos de las aplicaciones geotérmicas en el sector agroalimentario

La FAO y la GIZ desarrollaron una metodología para evaluar los impactos socioeconómicos de la utilización de soluciones de energías renovables en el sector agroalimentario utilizando un análisis costo-beneficio a través del proyecto Invertir en Tecnologías Energéticas Sostenibles en el Sector Agroalimentario (INVESTA, por sus siglas en inglés) (Recuadro 15) (FAO y GIZ, 2018; FAO y GIZ, 2019). La metodología de análisis costo-beneficio INVESTA es un análisis de factibilidad financiera y económica de cuatro etapas que proporciona un marco que se adapta y aplica aquí para las tecnologías geotérmicas de uso directo en las cadenas de valor agroalimentarias. La primera etapa consiste en una breve descripción del proyecto que incluye los aspectos institucionales, económicos, tecnológicos y sociales, así como una descripción de la aplicación y la tecnología de uso directo de la energía geotérmica. La segunda etapa es el análisis financiero, el cual sirve de base para realizar el análisis económico en la tercera etapa. Implica la identificación de un escenario de referencia (generalmente una alternativa de combustible fósil) contra el cual se comparará el escenario geotérmico. Finalmente, en la cuarta etapa, se realiza un análisis de sensibilidad para evaluar los riesgos durante todas las fases del proyecto.

|| Más allá de la rentabilidad financiera, se deben cuantificar e incorporar otros indicadores socioeconómicos en los casos de negocio que informen a los encargados de formular políticas sobre los beneficios no financieros de la integración de la energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias. ||

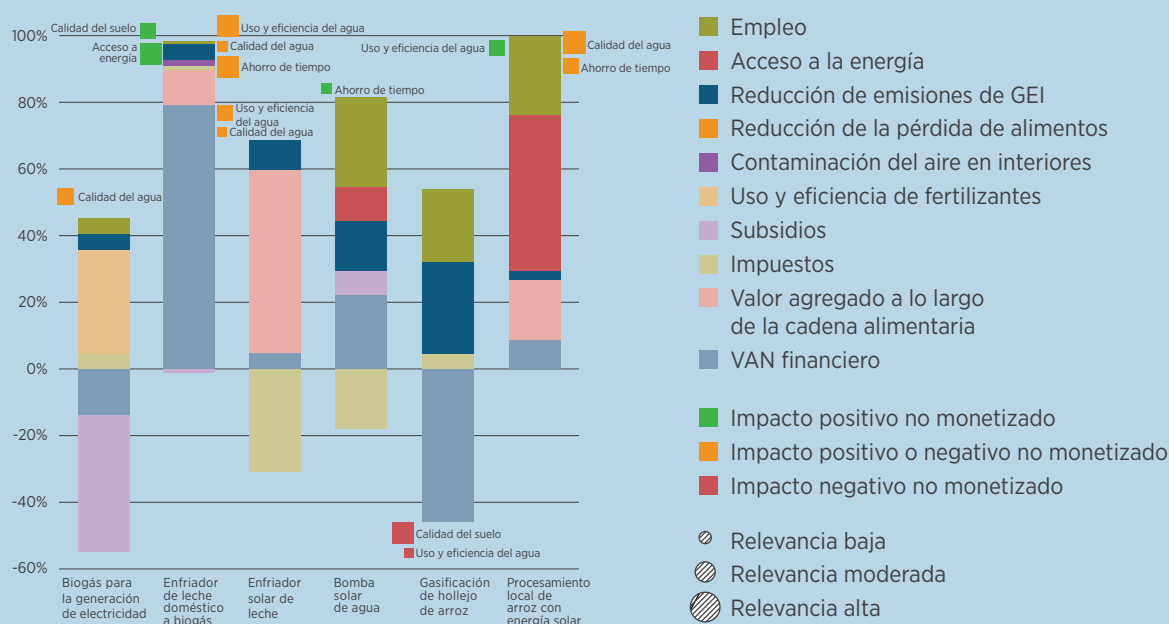
RECUADRO 15 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO INVESTA

El proyecto Invertir en Tecnologías Energéticas Sostenibles en el Sector Agroalimentario (INVESTA), llevado a cabo por la FAO en colaboración con GIZ, desarrolló una metodología para evaluar exhaustivamente los costos frente a los beneficios de introducir tecnologías innovadoras y sostenibles de energías renovables en las cadenas de valor agroalimentarias en economías emergentes (FAO, 2018). La metodología se aplicó inicialmente a nivel de proyecto a estudios de caso seleccionados que utilizan biogás y soluciones de energía solar en cadenas de valor de vegetales, leche y arroz (FAO y GIZ, 2018). Posteriormente, la metodología se aplicó a nivel nacional en cuatro países (Kenia, Filipinas, Tanzania y Túnez) para medir los impactos a gran escala e identificar marcos propicios para apoyar las inversiones en cadenas agroalimentarias energéticamente inteligentes (FAO y GIZ, 2019). Esta metodología de cuatro etapas consiste en:

1. Análisis de viabilidad de la tecnología de energías renovables determinada;
2. Análisis financiero para evaluar la rentabilidad financiera, es decir, rendimientos financieros del proyecto específico para los inversionistas;
3. Análisis económico que monetiza todos los beneficios y costos socioeconómicos para evaluar la rentabilidad económica, es decir, los rendimientos financieros y sociales del proyecto para la sociedad; y
4. Análisis de sensibilidad de los riesgos e incertidumbres del proyecto.

La Figura 7 muestra los resultados de la metodología de análisis económico de costo-beneficio de INVESTA aplicada a seis estudios de caso que utilizan tecnologías de energía renovable solar y de biogás para demostrar el impacto neto de los aspectos socioeconómicos en la viabilidad económica de un proyecto (FAO y GIZ, 2018). Destaca cómo los indicadores monetizables en comparación con los indicadores no monetizables pueden visualizarse y evaluarse conjuntamente en un análisis costo-beneficio. En cuatro de los seis estudios de caso, los beneficios económicos superan los costos económicos, y en dos de los estudios de caso, los beneficios y costos económicos son similares, con un impacto neto prácticamente nulo. Además, existe una amplia variación de impacto entre los indicadores, destacando la singularidad de cada proyecto específico.

Figura 7 Impacto neto de los indicadores socioeconómicos monetizados y no monetizados de beneficios y costos en seis estudios de caso de energías renovables

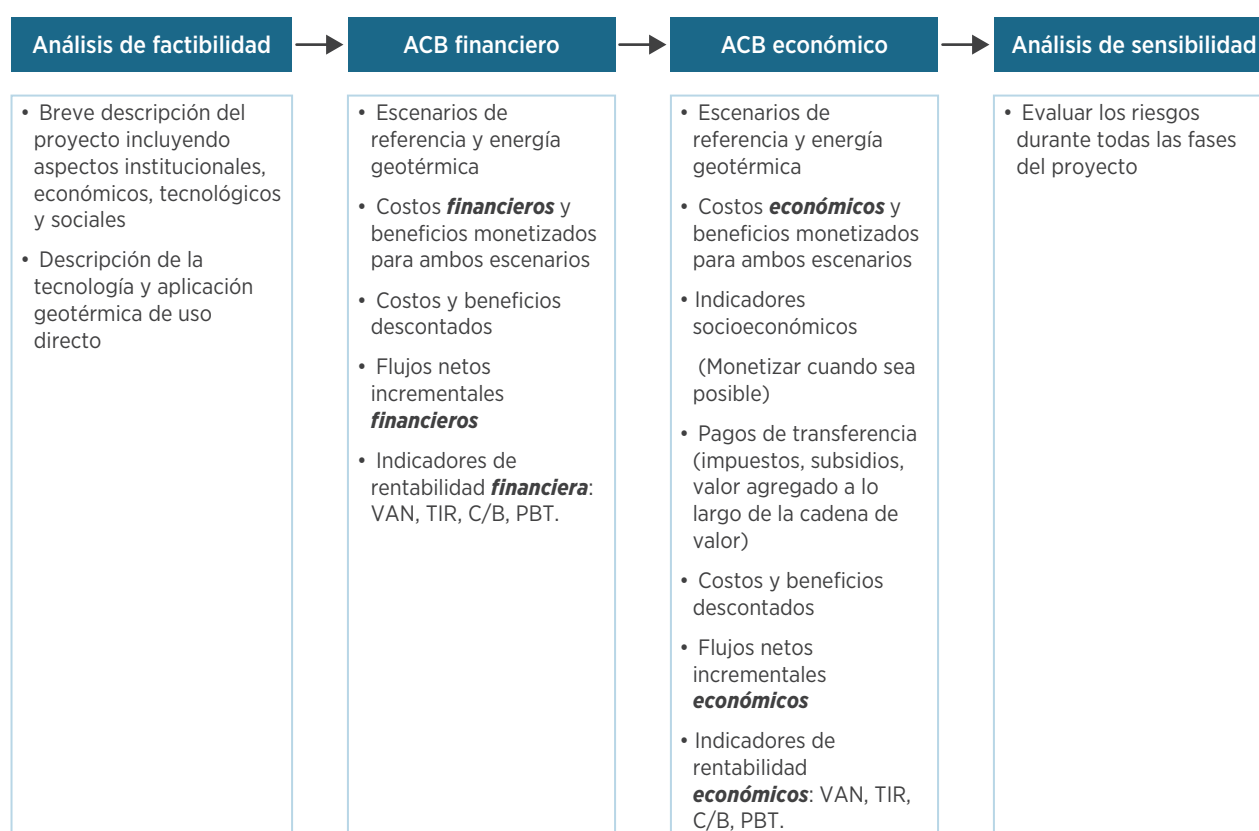


Fuente: FAO y GIZ, 2018.

La adaptación de la metodología de análisis costo-beneficio de INVESTA a las aplicaciones de la energía geotérmica incluye la identificación de un conjunto de indicadores socioeconómicos que son específicos de las cadenas de valor agroalimentarias de uso directo de la energía geotérmica (véase Tabla 10). Estos indicadores luego pueden evaluarse al seguir la metodología adaptada del análisis costo-beneficio de INVESTA (Figura 8).

En la Tabla 9 se presenta una aplicación paso a paso de la metodología de análisis costo-beneficio INVESTA adaptada para evaluar los beneficios socioeconómicos de las intervenciones agroalimentarias geotérmicas. En el centro de la metodología se encuentran los análisis financieros y económicos, que se llevan a cabo en cinco pasos. Ambos análisis siguen los mismos pasos; sin embargo, el análisis económico considera los impactos sociales de los pagos de transferencia y las externalidades (indicadores socioeconómicos) además de los impactos financieros del proyecto. Mientras que el análisis financiero se centra en el atractivo de la inversión desde la perspectiva de la empresa, el análisis económico se centra en el atractivo de la inversión desde el punto de vista de la sociedad.

Figura 8 Aplicación del análisis costo-beneficio (ACB) INVESTA a las tecnologías geotérmicas en el sector agroalimentario



Adaptado de FAO y GIZ 2018.

Tabla 9 Una metodología paso a paso para llevar a cabo el análisis financiero y económico

	Análisis financiero	Análisis económico
Paso 1	Identificar el escenario de referencia de combustibles fósiles y el escenario de energía geotérmica.	Identificar el escenario de referencia de combustibles fósiles y el escenario de energía geotérmica.
Paso 2	Identificar los costos financieros (<i>por ejemplo</i> , inversión de capital inicial, costos de mantenimiento y operación) y los beneficios monetizados (<i>por ejemplo</i> , ingresos, reducciones de impuestos, subsidios e incentivos económicos) para ambos escenarios.	<p>Identificar los costos económicos y los beneficios monetizados para ambos escenarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las externalidades (indicadores socioeconómicos), determinar el impacto positivo o negativo y monetizar cuando sea posible: <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores económicos - Indicadores sociales, de salud y bienestar - Indicadores ambientales • Identificar los pagos de transferencia y determinar el impacto positivo o negativo: <ul style="list-style-type: none"> - Subsidios - Impuestos - Cualquier valor adicional obtenido a lo largo de la cadena de valor.
Paso 3	Elegir una tasa adecuada para que se utilice en el descuento de costos y beneficios (beneficios netos descontados).	Elegir una tasa adecuada para que se utilice en el descuento de costos y beneficios (beneficios netos descontados).
Paso 4	Calcular los flujos netos incrementales financieros a partir de los costos y beneficios descontados de la energía geotérmica en relación con el escenario de referencia.	Calcular los flujos netos incrementales económicos a partir de los costos y beneficios descontados de la energía geotérmica en relación con el escenario de referencia.
Paso 5	Calcular los indicadores de rentabilidad financiera para respaldar una decisión de inversión utilizando métricas como VAN, TIR, RCB y PBT.	Calcular indicadores de rentabilidad económica para respaldar una decisión de inversión utilizando métricas como VAN, TIR, RCB y PBT.

Adaptado de FAO y GIZ, 2018.

Análisis financiero

El análisis financiero evalúa la rentabilidad y sostenibilidad de una inversión a nivel de proyecto. La viabilidad del proyecto se evalúa desde la perspectiva del inversionista, empresario, agricultor o procesador de alimentos. El objetivo del análisis financiero es determinar los rendimientos financieros para las partes interesadas del proyecto (FAO y GIZ, 2018). Los cinco pasos se describen a continuación.

Paso 1: Identificar el escenario de referencia de combustible fósil (que se usaría si la energía geotérmica no estuviera disponible) y el escenario de energía geotérmica.

Paso 2: Identificar los costos financieros que incluyen costos de inversión de capital inicial (CAPEX), costos de mantenimiento y operación (OPEX), así como los beneficios monetizados (como ingresos, reducciones de impuestos, subsidios o incentivos financieros) para ambos escenarios. Este paso no especifica la fuente de capital para la inversión, solo se supone por simplicidad que el capital está disponible.

Paso 3: Elegir una tasa adecuada para que se utilice en el descuento de costos y beneficios (beneficios netos descontados). El valor presente de los costos y beneficios futuros debe determinarse utilizando la tasa de descuento seleccionada.

Paso 4: Calcular los flujos netos incrementales financieros durante la vida útil del proyecto a partir de los costos y beneficios descontados del escenario de energía geotérmica en relación con el escenario de referencia.

Paso 5: Calcular indicadores de rentabilidad financiera para apoyar una decisión de inversión:

1. **Valor actual neto (VAN):** el valor actual de todos los flujos de efectivo netos futuros (*es decir*, beneficios menos costos) durante la vida del proyecto. El VAN representa el valor del dinero en el tiempo con la aplicación de una tasa de descuento.
2. **Tasa interna de retorno (TIR):** el crecimiento que se espera que una inversión genere anualmente. La TIR se utiliza para estimar la rentabilidad de una probable oportunidad de negocio; cuanto mayor sea la TIR, más atractiva será la inversión.
3. **Relación costo-beneficio (RCB):** la relación general entre el valor actual de los beneficios dividido por el valor actual de los costos a lo largo de la vida del proyecto. Si la RCB es mayor que 1, los beneficios superan los costos y habrá un VAN positivo y una TIR por encima de la tasa de descuento. Sin embargo, si la RCB es menor que 1, entonces los costos son mayores que los rendimientos y el proyecto no será rentable.
4. **Tiempo de recuperación (PBT):** el monto de la inversión dividido por el flujo de caja anual. El PBT indica el tiempo que tarda la empresa en recuperar la cantidad invertida, o el tiempo necesario para alcanzar un punto de equilibrio. Un PBT más corto indica una mayor rentabilidad.

Estos indicadores son herramientas útiles para la toma de decisiones para indicar la viabilidad y el atractivo del proyecto, ya que comparan el valor actual de la inversión con su valor futuro previsto.

Análisis económico

El análisis económico evalúa la viabilidad de un proyecto desde la perspectiva de una economía local, regional o nacional. El proyecto se evalúa en términos de su contribución a la sociedad. El análisis económico proporciona un medio para identificar y cuantificar los impactos del proyecto en la economía, la sociedad y el medio ambiente. Los cinco pasos se describen a continuación.

Paso 1: Identificar el escenario de referencia de combustibles fósiles y el escenario de energía geotérmica, siguiendo el mismo enfoque que en el paso 1 del análisis financiero.

Paso 2: Identificar los costos y beneficios económicos para ambos escenarios. Las externalidades y los pagos de transferencia deben monetizarse cuando sea posible y evaluarse para determinar si tienen impactos positivos

(y, por lo tanto, representan beneficios económicos) o si tienen impactos negativos (y, por lo tanto, representan costos económicos). Los indicadores no monetizados se pueden representar gráficamente junto con los indicadores monetizados para evaluar el impacto neto general.

- 1. Las externalidades** (indicadores socioeconómicos) son efectos positivos o negativos del proyecto en la sociedad sin una ganancia o pérdida monetaria correspondiente para el proyecto (FAO y GIZ, 2018). Los indicadores socioeconómicos se pueden clasificar en económicos; sociales, de salud y bienestar; e indicadores ambientales. Si el indicador tiene un impacto positivo, se considera un beneficio para la sociedad, mientras que si tiene un impacto negativo, se considera un costo para la sociedad. Los indicadores socioeconómicos que pueden cuantificarse y monetizarse (*por ejemplo*, creación de empleo, generación de ingresos, reducción de gases de efecto invernadero) deben incluirse cuantitativamente en el análisis económico. Los indicadores socioeconómicos que no se pueden monetizar (*por ejemplo*, la mayoría de los indicadores sociales, de salud y bienestar) deben clasificarse cualitativamente como impacto positivo (beneficio), negativo (costo) o incierto.
- 2. Los pagos de transferencia** (pago por el cual no se intercambian bienes o servicios), como impuestos, subsidios, incentivos fiscales y valor agregado a lo largo de la cadena de valor, pueden tener impactos positivos o negativos. Los subsidios gubernamentales y los incentivos fiscales se consideran un costo para la sociedad, ya que se financian con fondos públicos, mientras que los impuestos se consideran beneficios, ya que generan ingresos para el gobierno.

Paso 3: Seleccionar una tasa de descuento apropiada (*por ejemplo*, tasa de descuento social³) para comparar costos descontados y beneficios descontados (beneficios netos descontados), siguiendo el mismo enfoque que en el paso 3 del análisis financiero.

Paso 4: Calcular los flujos netos incrementales económicos a partir de los costos y beneficios descontados del escenario de energía geotérmica en relación con el escenario de referencia, siguiendo el mismo enfoque que en el paso 4 del análisis financiero.

Paso 5: Calcular indicadores de rentabilidad económica para respaldar una decisión de inversión que tenga en cuenta los impactos sociales netos, siguiendo el mismo enfoque que en el paso 5 del análisis financiero.

Identificación de indicadores socioeconómicos y pagos de transferencia para el análisis costo-beneficio

Esta sección presenta una lista no exhaustiva de indicadores y pagos de transferencia para evaluar los impactos socioeconómicos de las aplicaciones de uso directo geotérmico en la producción agrícola, la conservación y el procesamiento posteriores a la cosecha. La sección se basa en indicadores identificados en otras tecnologías de energías renovables (IRENA, 2016b; FAO y GIZ, 2019) y en ejemplos de estudios de casos presentados a lo largo de la guía. Los indicadores se dividen en tres categorías: económicos; sociales, de salud y bienestar; y ambientales. La clasificación y descripción de los indicadores se muestran en la Tabla 10.



³ La tasa a la que la sociedad descuenta los beneficios económicos netos futuros en relación con los del presente. Las tasas de descuento típicas que se utilizan son las determinadas por la fórmula de Ramsey (proporcional al crecimiento del ingreso real per cápita) o las tasas de interés de los bonos gubernamentales a largo plazo.

Tabla 10 Clasificación y descripción de indicadores socioeconómicos

Indicador	Descripción
Indicadores económicos	<p>Generación de ingresos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingresos: los productores obtienen ingresos debido a un aumento en la cantidad y calidad de su producción agrícola. • Ingresos: los productores y procesadores obtienen ingresos debido a la marca de productos (cultivados de manera sostenible y procesados con energía "verde") para obtener un mayor valor en el mercado. • Ingresos: los productores obtienen ingresos de la venta de alimentos adicionales resultantes de la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos después de la cosecha, lo que se atribuye principalmente a una mejor manipulación después de la cosecha, incluido el secado, enfriamiento y procesamiento adecuados de los productos agrícolas utilizando energía geotérmica. • Ingresos del hogar: como resultado del empleo directo e indirecto por las intervenciones geotérmicas en el sector agroalimentario, los niveles de ingresos en los hogares mejoran.
	<p>Diversificación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diversificación: los nuevos productos comercializables como resultado del valor agregado generan ingresos adicionales para los procesadores. • Diversificación: los desarrolladores de energía geotérmica obtienen flujos de ingresos adicionales de la venta de calor a las empresas agroalimentarias, además de la venta de electricidad.
	<p>Ahorros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ahorros: el uso limitado de pesticidas y fungicidas en invernaderos debido a la calefacción geotérmica reduce el costo de producción. • Ahorros: en algunos casos, la energía geotérmica que se utiliza en aplicaciones agroalimentarias podría ser una opción más económica que los combustibles alternativos, lo que generaría ahorros financieros para las empresas agroalimentarias.
	<p>Costos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sueldos y salarios: las empresas agroalimentarias incurren en costos como resultado del empleo directo e indirecto de la mano de obra. • Modernización: las empresas deben pagar los costos de modificación de sus instalaciones para permitir la conexión a la energía geotérmica.
	<p>Oportunidades de empleo: los empleos netos se crean a lo largo de la cadena de valor agroalimentaria, incluidos los puestos temporales o permanentes, la experiencia calificada o no calificada y los puestos a tiempo parcial o completo.</p>
	<p>Agua y seguridad alimentaria: la generación de agua para riego a partir de fuentes geotérmicas, así como el uso de calor geotérmico en las cadenas de valor agroalimentarias, mejora la seguridad alimentaria de las comunidades locales y contribuye a la reducción de la desnutrición, de la siguiente manera:</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Agua para riego: con un suministro adecuado de agua, se pueden cultivar más alimentos durante todo el año.
	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: la eficiencia en la productividad agrícola se mejora sin un aumento correspondiente en el requerimiento de tierra. Se puede producir más dentro del mismo terreno debido a la aplicación de energía geotérmica.
	<ul style="list-style-type: none"> • Productividad: el uso de energía geotérmica en la producción de alimentos da como resultado una madurez temprana y un mayor rendimiento de los cultivos y la vida acuática en comparación con el estado en el que no se utiliza energía debido a la provisión de un entorno óptimo para el crecimiento que conduce a una mayor productividad. Además, los cultivos se pueden producir cuando de otro modo habrían sido fuera de temporada (<i>por ejemplo</i>, producción durante el invierno).
	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación de los alimentos: el secado geotérmico y enfriamiento / almacenamiento en frío preserva la calidad del producto y reduce las pérdidas posteriores a la cosecha.
<p>Ahorro de tiempo: el secado con energía geotérmica consume menos tiempo y requiere menos energía humana, por lo que se libera tiempo para dedicarse a otras actividades productivas.</p>	
<p>Acceso al mercado: el establecimiento de industrias que utilizan energía geotérmica para procesar productos agroalimentarios crea nuevos negocios que sirven como mercados para los agricultores locales para vender sus materias primas a las agroindustrias y, por lo tanto, aseguran los ingresos.</p>	
<p>Reducción de la importación de alimentos: el aumento de la producción local de alimentos debido al uso de energía geotérmica reduce la factura de importación de alimentos, lo que genera ahorros debido a la reducción de las importaciones.</p>	
<p>Seguridad energética: la seguridad energética en los sistemas alimentarios se ve reforzada por el uso de recursos renovables disponibles localmente (energía geotérmica).</p>	
<p>Reducción de combustibles fósiles: la compensación en el consumo de combustibles fósiles por parte de las empresas debido al uso de calefacción geotérmica reduce la factura de importación a favor de la balanza de pagos.</p>	

Indicador	Descripción
Indicadores sociales, de salud y bienestar	<ul style="list-style-type: none"> • Educación: se promueve la educación superior en campos relevantes como la alimentación, la agricultura, la ingeniería y las finanzas. • Salud: el calor geotérmico es una fuente de energía limpia que, con la aplicación adecuada de las mejores prácticas de operación, tiene pocas o ninguna emisión en comparación con las alternativas de combustibles fósiles. Esto resulta en una disminución de la incidencia de complicaciones de salud relacionadas con la contaminación. • Inclusión e igualdad de género: las mujeres y los jóvenes que participan en proyectos geotérmicos y empresas agroalimentarias tienen mayores oportunidades de progreso. • Nivel de vida y calidad de vida: el estímulo de la economía local debido al uso de la energía geotérmica en la agroalimentación permite a las personas adquirir diversos bienes y servicios. Esto puede mejorar su bienestar general y felicidad.
Indicadores ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero: las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen con aplicaciones geotérmicas en comparación con el uso de combustibles fósiles.

Cada proyecto tiene su propia combinación única de beneficios y costos económicos; sociales, de salud y bienestar; y ambientales para todas las partes interesadas del proyecto: inversionistas, desarrolladores, agricultores, autoridades locales, comunidades locales, hogares e individuos. Las siguientes subsecciones describen estos beneficios y costos a través de los indicadores.

Indicadores económicos

Generación de ingresos: los ingresos por ventas pueden generarse mediante una variedad de mecanismos a lo largo de la cadena de valor agroalimentaria. En las actividades preliminares, los ingresos de los productores de alimentos aumentan como resultado de una mayor cantidad de producción y/o calidad del rendimiento del producto debido a la reducción del tiempo de producción. Además, el uso de la energía geotérmica en la horticultura de invernadero en climas invernales nevados, *por ejemplo*, el este de Turquía o el sur de Chile, asegura la producción de alimentos durante todo el año. En las actividades posteriores, el desarrollo de marcas de productos cultivados y procesados “geotérmicamente”, como tomates, frutas secas, cerveza, queso y espirulina, puede exigir un precio de mercado más alto. El desarrollo de marcas de productos se puede cuantificar como la diferencia de precio entre un producto alimenticio relacionado con la energía geotérmica en comparación con un producto convencional. Una reducción en las pérdidas posteriores a la cosecha debido al secado, almacenamiento y procesamiento oportunos y adecuados crea productos excedentes que pueden venderse para generar ingresos adicionales para los agricultores y las empresas.

A nivel de los hogares, los ingresos se generan a partir de los empleos de alta calidad creados a partir del uso de la energía geotérmica en el sector agroalimentario. Estos trabajos se traducen en salarios más altos para los empleados. Por lo tanto, en promedio, se espera que aumente el ingreso disponible para los hogares como resultado del aumento en el número de empresas que utilizan energía geotérmica en el sector agroalimentario.

Diversificación: la aplicación de tecnología geotérmica de uso directo al sector agroalimentario puede generar nuevas oportunidades comerciales de generación de ingresos a lo largo de la cadena de valor y flujos de ingresos adicionales a partir de la diversificación de negocios. En Nueva Zelanda, el procesador de leche Miraka utiliza el recurso geotérmico cercano no solo para procesar leche sino también para generar un segundo producto, leche en polvo. La producción de leche en polvo aprovecha la existencia de vapor de alta temperatura proveniente del recurso geotérmico. Para el desarrollador geotérmico, vender energía térmica a aplicaciones de uso directo en cascada proporciona flujos de ingresos adicionales, además de los ingresos generados por la venta de electricidad.

Ahorros: los ahorros de costos resultantes del uso de energía geotérmica, una fuente de energía más barata en comparación con las alternativas de combustibles fósiles, ahorran dinero en la producción, el procesamiento y el almacenamiento de productos. Como resultado de la producción de alimentos en un ambiente controlado, el producto es menos susceptible a las enfermedades. Por ejemplo, la calefacción de los invernaderos evita la condensación de vapor de agua sobre las hojas de las plantas, lo que minimiza el desarrollo de enfermedades fúngicas. En consecuencia, los agricultores reducen el uso de fungicidas y otros productos químicos, que podrían representar una parte significativa del costo de producción. En el procesamiento de alimentos, se pueden lograr ahorros de costos si se utiliza energía geotérmica más barata para compensar el consumo de combustibles fósiles. El consumo de combustibles fósiles se mide en toneladas o litros. Todas las aplicaciones geotérmicas de uso directo tienen el potencial de compensar o reemplazar por completo las fuentes de energía no renovables que se utilizan normalmente en las aplicaciones convencionales de calefacción agroalimentaria. La energía geotérmica puede reducir los costos asociados con la compra y el uso de fuentes de diésel/petróleo más caras.

Costos: el uso de energía geotérmica en negocios existentes podría generar que los negocios incurran en un costo adicional para modernizar sus sistemas de suministro de energía y la conexión al recurso geotérmico. Esto puede incluir el costo de reemplazar las calderas que funcionan con combustible y la instalación de intercambiadores de calor y tuberías adicionales para suministrar agua caliente/vapor desde los sistemas geotérmicos. Los empleos creados en la economía local también representan un costo para las empresas en términos de sueldos y salarios. Los sueldos y salarios se miden como salario por hora o como salario mensual o anual.

Oportunidades de empleo

Las oportunidades de empleo se definen como empleos netos para mano de obra calificada o no calificada en puestos temporales/de temporada o de forma permanente, a tiempo parcial o a tiempo completo. El indicador de oportunidades de empleo se puede cuantificar como el número neto de empleos creados y reemplazados a lo largo de la cadena de valor agroalimentaria debido a la aplicación de la energía geotérmica. La mayoría de los nuevos proyectos geotérmicos de uso directo crean oportunidades de empleo para las comunidades locales. Por ejemplo, la fábrica de procesamiento de leche Miraka en Nueva Zelanda tiene 120 empleados y entre 20 y 30 empleados contratados que contribuyen al crecimiento económico local (Richter, 2017) (véase el Recuadro 2); la empresa geotérmica de secado de alimentos Deshidratador Geotérmico de Alimentos de Nayarit en el campo geotérmico Domo de San Pedro en México genera hasta 50 empleos locales directos y alrededor de 60 indirectos en la región; y las instalaciones de invernadero geotérmico propiedad de Caldiran Geothermal en Turquía han creado empleos para 40 personas en la comunidad local (Richter, 2019b). Sin embargo, podría ser posible que los empleos manuales pudieran ser reemplazados por la introducción de tecnología innovadora más eficiente.

Agua y seguridad alimentaria

Las aplicaciones agroalimentarias geotérmicas mejoran la seguridad alimentaria y del agua a nivel local y nacional. El aumento de la producción de alimentos a partir del uso de energía geotérmica para aumentar los rendimientos y reducir el deterioro de los alimentos proporciona una mayor seguridad alimentaria y reduce la desnutrición. Por ejemplo, el proyecto GEOFOOD en Europa tiene como objetivo descubrir el potencial de los campos geotérmicos de baja temperatura para la producción y procesamiento de alimentos. Se centra en las ventajas de la producción circular de alimentos, como la optimización del uso de energía y nutrientes, el tratamiento del agua y los procesos de recuperación de residuos cuando se implementan infraestructuras de calor geotérmico en la agroindustria (Thorarinsdottir *et al.*, 2020).

En Túnez, el agua geotérmica se utiliza para el riego, convirtiendo ambientes áridos desérticos en áreas agrícolas cultivables. El agua de los pozos geotérmicos se enfría en torres de enfriamiento atmosférico antes de usarla para regar los oasis del desierto (Ben Mohamed, 2015). La generación de agua potable a partir de fuentes geotérmicas o el uso de tecnología geotérmica puede proporcionar una fuente de agua potable para las comunidades rurales. En Kenia, el agua potable se genera a partir de numerosas fumarolas en el área de Eburru y Suswa, que carecen de una fuente confiable de agua potable limpia. Las comunidades locales aprovechan el vapor que sale del suelo al condensarlo y enfriarlo en agua que se puede usar domésticamente (Ndetei, 2020). En México, el Grupo iiDEA está desarrollando una unidad desaladora modular alimentada con energía geotérmica. Esta unidad brinda una solución alternativa a la escasez de agua potable en las regiones desérticas del noreste de México. La energía geotérmica para los procesos de desalinización térmica de alto consumo de calor representa una opción rentable, sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Gude, 2016).

Ahorro de tiempo

El uso de fuentes modernas de energía, como la energía geotérmica, daría como resultado operaciones más eficientes, como el secado de cultivos, lo que generaría un ahorro de tiempo, ya que se requerirá menos gente para secar la misma cantidad de alimentos en comparación con el secado al sol tradicional.

Acceso al mercado

El establecimiento de un procesador agrícola geotérmico, como un centro de secado de cultivos o pasteurización de leche, crea un nuevo mercado para que los agricultores locales vendan sus materias primas a las agroindustrias. Los productos perecederos como el pescado, los granos, las frutas y las verduras, una vez procesados con energía geotérmica, pueden transportarse a nuevos mercados mientras aún están frescos como resultado de una mejor vida útil.

Reducción de la importación de alimentos

El aumento en la producción de alimentos por el uso de energía geotérmica en la producción de alimentos asegura que haya alimentos adecuados en la localidad. Además, la reducción de las pérdidas poscosecha aumenta la disponibilidad

de alimentos en el mercado local. La mayor disponibilidad de alimentos reduce la dependencia de los alimentos importados, lo que se traduce en ahorros en las importaciones de alimentos.

Seguridad energética

La energía geotérmica es un recurso de energía disponible localmente que puede generarse y utilizarse en el sitio sin necesidad de transporte. Esto significa que su disponibilidad no está sujeta a restricciones en la cadena de suministro, a diferencia de los combustibles fósiles que requieren transporte en la mayoría de los casos y pueden verse afectados por interrupciones en el comercio mundial. Como resultado, las empresas agroalimentarias que utilizan energía geotérmica tienen asegurado un suministro estable de energía a un precio predecible.

Reducción de combustibles fósiles

La importación de combustibles fósiles podría representar una parte importante del gasto de un país. En el sector agroalimentario, este gasto podría evitarse mediante el uso de energía geotérmica en las cadenas de valor agroalimentarias. Esto ahorraría a los países cantidades considerables en el gasto de divisas, considerando que alrededor del 30 % del uso de energía global se encuentra en el sector agroalimentario.

Indicadores sociales, de salud y bienestar

Los indicadores sociales, de salud y bienestar abarcan educación, salud, inclusión e igualdad de género, y nivel y calidad de vida. Estos indicadores no económicos se ven afectados de diversas maneras por diferentes proyectos y son más difíciles de medir de manera cuantificable. Por lo tanto, generalmente se tratan como indicadores no monetizables en el análisis costo-beneficio.

Educación

A nivel profesional, los proyectos de energía geotérmica de uso directo requieren trabajadores calificados y expertos para diseñar, financiar, instalar, operar y mantener el proyecto. Esto promueve el desarrollo de habilidades y la educación superior en campos relevantes como la alimentación, la agricultura, la ingeniería y las finanzas para satisfacer las necesidades laborales en la industria agroalimentaria geotérmica. Las empresas pueden fomentar el desarrollo profesional de los empleados mediante la participación en centros o programas de capacitación internacionales, regionales y nacionales. Para los trabajadores no calificados, el desarrollo profesional en el trabajo y la educación sobre energía geotérmica a menudo se brindan en proyectos agroalimentarios de uso directo.

Salud

Según la Organización Mundial de la Salud, alrededor de 7 millones de personas en todo el mundo fallecieron en 2016 como consecuencia de complicaciones provocadas por la contaminación del aire, originada principalmente por el uso de combustibles fósiles. Esto no solo causa sufrimiento a las familias, sino que también priva al mundo de una fuerza laboral productiva y cuesta a las economías grandes cantidades de dinero en el tratamiento de las complicaciones relacionadas con la contaminación. El uso de soluciones de energía limpia en el sector agroalimentario puede reducir la contaminación relacionada con la energía, como las emisiones de partículas, óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, que tienen un impacto perjudicial en la salud humana y la biodiversidad.

Inclusión e igualdad de género

La inclusión y la igualdad de género incluyen el avance de la participación de mujeres y jóvenes en proyectos geotérmicos y sistemas agroalimentarios. Los proyectos geotérmicos de uso directo pueden crear empleos y oportunidades de subsistencia para las mujeres, así como proporcionar capacitación y avance profesional. Por ejemplo, la empresa de secado geotérmico de alimentos DGA de Nayarit en el campo geotérmico Domo de San Pedro en México emplea al 90 % de mujeres. Las mujeres reciben capacitación vocacional y educación sobre energía geotérmica. En Turquía, una instalación de invernadero geotérmico propiedad de Caldiran Geothermal Inc. en el este de Turquía emplea al 75 % de mujeres, lo que crea oportunidades laborales para mujeres donde la participación en el sector geotérmico de Turquía no es común. En El Salvador, los subproductos de las plantas de energía geotérmica operadas por LaGeo se utilizan para usos productivos y empleo para mujeres en comunidades rurales vecinas. Las mujeres cultivan y venden plantas utilizando condensados de vapor geotérmico, utilizan calor residual geotérmico para deshidratar frutas y participan en programas de reforestación de cacao y café (ESMAP, 2019). A nivel corporativo, LaGeo ha fomentado una cultura laboral inclusiva y emplea un 35 % de mujeres, además de considerar a las mujeres en el reclutamiento y la capacitación (ESMAP, 2019).

Nivel de vida y calidad de vida

El nivel de vida es la capacidad de ciertas clases socioeconómicas o áreas geográficas para procurarse una vida cómoda a través de la adquisición y el uso de medios materiales, mientras que la calidad de vida se refiere a la realización en la vida que no puede medirse utilizando medios materiales (por ejemplo, felicidad). Los proyectos de uso directo de la energía geotérmica pueden tener el potencial de mejorar el nivel de vida y la calidad de vida de los empleados, los agricultores, la comunidad local y otras partes interesadas de varias maneras. El estímulo de la economía local a partir del empleo directo y la generación de ingresos a lo largo de la cadena de valor da como resultado el éxito de las empresas locales y mejora el poder adquisitivo de las personas. La población local ha aumentado sus ingresos para gastar en mejores viviendas, mejor atención médica, educación de calidad para sus hijos y actividades de ocio, entre otros.

Indicadores ambientales

Reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero

Las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero se refieren a la disminución de la masa total de gases de efecto invernadero (kilogramos de CO₂ equivalente) emitido debido al uso de energía geotérmica, o la masa relativa de gases de efecto invernadero emitida por unidad de producto (kilogramos de CO₂ equivalente por kilogramo de producto) a lo largo de la cadena de valor agroalimentaria en comparación con los combustibles fósiles desplazados. La energía geotérmica es una solución tecnológica renovable que reemplaza a los combustibles fósiles en las etapas de producción, almacenamiento y procesamiento de la cadena de valor al reducir así los gases de efecto invernadero, reducir la contaminación y generar un impacto positivo en este indicador ambiental. Los enfoques y metodologías para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura y el procesamiento de alimentos están bien establecidos, con varias herramientas disponibles (Camargo *et al.*, 2013; FAO, 2012).

Las reducciones de gases de efecto invernadero tienen impactos potencialmente grandes en aplicaciones que consumen mucha energía, como micro cervecerías geotérmicas, destilerías o procesadores de lácteos. El potencial de calentamiento global (GWP) promedio para las cervecerías convencionales es de 0.7 kilogramos de CO₂ equivalente por litro, en comparación con 0.1 kilogramos de CO₂ equivalente por litro para cervecerías geotérmicas en Italia (Guglielmetti, 2021; Peerdeman, 2017). La granja San Martino en la Toscana, Italia, produce queso pecorino utilizando fluido geotérmico a 180 °C transportado en una tubería aislada de 500 metros desde una central eléctrica cercana para calentar y enfriar geotérmicamente en la producción, maduración y almacenamiento de queso (Eni, 2016). El uso de calor geotérmico en la granja lechera reduce los costos de consumo de energía en un 8 a 9 % de los costos totales de producción y evita las emisiones de 138 toneladas de CO₂ por año (Guglielmetti, 2021). Otras industrias intensivas en energía con reducciones de gases de efecto invernadero potencialmente grandes son aquellas que evitan la pérdida de alimentos, por ejemplo, secadores agrícolas que evitan la pérdida posterior a la cosecha o aplicaciones de almacenamiento de alimentos refrigerados. Los secadores mecánicos de alimentos a menudo funcionan con petróleo/diésel, y los secadores geotérmicos tienen un potencial significativo para reducir la huella de carbono (Kinyanjui, 2013).

Pagos de transferencia

Impuestos y subsidios

Se generan nuevos ingresos para las autoridades locales a partir de impuestos, permisos comerciales y derechos de licencia para agroindustrias y negocios relacionados. Los impuestos pueden representar ingresos positivos para las autoridades y, por lo tanto, pueden considerarse un beneficio para la sociedad. Sin embargo, los impuestos también pueden considerarse un costo para la sociedad, por ejemplo, si se asignan incorrectamente. Los impuestos pueden representar tanto costos como beneficios para la sociedad, por lo que los efectos económicos netos deben evaluarse caso por caso.

Un subsidio energético es una acción política deliberada y específicamente dirigida por parte del gobierno que resulta en una reducción del costo neto de la energía comprada, una reducción del costo de la energía producida y/o un aumento en los ingresos de los proveedores de energía (Kojima, 2017). Los subsidios pueden variar ampliamente y pueden incluir, entre otros, apoyo financiero patrocinado por el gobierno para la energía geotérmica. Similar a la situación con los impuestos, los subsidios a la energía pueden representar tanto costos como beneficios para la sociedad. Los subsidios e incentivos gubernamentales pueden considerarse un costo para la sociedad en el sentido de que representan una pérdida para la economía a través de la pérdida de ingresos para el gobierno y el uso de recursos públicos para apoyar las empresas. Sin embargo, los subsidios también pueden considerarse un beneficio para la sociedad, ya que las tarifas de energía

subsidiadas pueden brindar nuevas oportunidades de subsistencia, y generar así más bienestar económico que su costo económico de oportunidad. Los impuestos, subsidios y otros incentivos financieros se miden en monedas fuertes o locales.

Los impuestos y subsidios gubernamentales aplicables en aplicaciones de uso directo geotérmico varían entre países, a menudo dependiendo del apoyo relativo de las políticas nacionales y locales para la energía geotérmica como una solución de energía renovable. Algunos gobiernos, como los Países Bajos y Turquía, han brindado importantes incentivos gubernamentales, es decir, subvenciones, subsidios, reducciones de impuestos y mitigación de riesgos geotérmicos, lo que permite el desarrollo de la agroindustria que, de otro modo, tendría un costo prohibitivo (IRENA, 2019).

El gobierno de Turquía ofrece una amplia variedad de incentivos de inversión para tecnologías de energías renovables, incluida la energía geotérmica, para minimizar el costo inicial y acelerar el retorno de la inversión. De conformidad con el Régimen General de Incentivos a la Inversión, Decisión del Consejo de Ministros No. 2012/3305, los incentivos generales a la inversión incluyen la exención del IVA en la compra o importación de equipos y la exención de derechos de aduana en los equipos importados. Las reducciones de impuestos corporativos, el apoyo a la seguridad social, la asignación de tierras, las tasas de interés favorables y el apoyo en la retención del impuesto sobre la renta comprenden un conjunto de incentivos de inversión estratégicos y regionales, así como aquellos disponibles para áreas de inversión prioritarias, que incluyen la automatización de invernaderos (Oficina de Inversiones de la Presidencia de la República de Turquía, 2020).

Desde 2019, los sistemas de energías renovables en Turquía que generan hasta 5 MW de energía pueden operar sin licencia sujeto al cumplimiento de una serie de condiciones (Oficina de Inversiones de la Presidencia de la República de Turquía, 2019). El Mecanismo de Apoyo a los Recursos de Energías Renovables (YEKDEM) de 2021 garantiza incentivos continuos para la generación de electricidad geotérmica, como una tarifa de alimentación y apoyo para equipos domésticos. En el marco del mecanismo de apoyo de equipamiento local, la Asociación de Inversores de Plantas de Energía Geotérmica (JESDER) aboga por la inclusión dentro del YEKDEM de equipamiento para invernaderos geotérmicos, calefacción urbana e instalaciones de secado de frutas y verduras.

En otro ejemplo, el gobierno de Kenia ha designado el área que rodea el campo geotérmico de Olkaria como Zona Económica Especial (ZEE). Una ZEE, establecida por la Ley de Zonas Económicas Especiales de 2015, es un área geográfica designada donde las empresas públicas, privadas o de asociaciones público-privadas se benefician de exenciones fiscales y otras políticas de habilitación empresarial. Se espera que las empresas que operan dentro de la ZEE cerca de Olkaria se beneficien de términos preferenciales, que incluyen tarifas de energía más bajas e incentivos fiscales, entre otros (Kenyan Tribune, 2020). Las empresas en una ZEE tienen derecho legalmente a una serie de beneficios fiscales, incluida la exención de impuestos o tasas preferenciales en todos los productos y servicios proporcionados dentro de la ZEE, exención de derechos de aduana, IVA e impuestos fiscales, y exención de adquirir ciertas licencias comerciales. Además, las empresas en una ZEE pueden aprovechar la experiencia técnica internacional, ya que se les permite contratar hasta un 20 % de extranjeros como empleados de tiempo completo.

Evaluación cuantitativa y cualitativa de indicadores socioeconómicos

Los indicadores socioeconómicos deben cuantificarse, siempre que sea posible, para incluirlos en términos numéricos en el análisis económico. Para ello, los indicadores deben monetizarse cuando sea posible como costos (efecto negativo) o beneficios (impacto positivo) con una unidad de medida definida. Los indicadores económicos tienden a ser más fácilmente monetizables en comparación con los indicadores sociales, de salud y bienestar, que son más difíciles o imposibles de monetizar. Si el indicador no se puede monetizar, se debe evaluar cualitativamente (por ejemplo, impacto binario: positivo o negativo, o una escala relativa: alto-medio-bajo). Otra forma no monetaria de evaluar el indicador es determinar si cumple con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Tabla 11).

Si los indicadores socioeconómicos tienen impactos positivos, se consideran beneficios. En cambio, si tienen impactos negativos, se consideran costos. La mayoría de los indicadores tienen impactos positivos y, por lo tanto, se consideran beneficios; sin embargo, algunos indicadores pueden tener impactos positivos o negativos, como nuevos proyectos que crean oportunidades de empleo o puestos de trabajo que se reemplazan por nueva tecnología o impuestos que representan ingresos positivos para las autoridades pero ingresos negativos para los desarrolladores. Algunos beneficios, como las oportunidades de empleo y la generación de ingresos a partir de los salarios, son universales para la mayoría de los proyectos y fáciles de medir (*por ejemplo*, la cantidad de nuevos empleos creados), mientras que otros beneficios, especialmente los indicadores sociales, de salud y bienestar, son específicos del proyecto y más difíciles de cuantificar su impacto (*por ejemplo*, calidad de vida o nivel de vida).

Tabla 11 Evaluación de indicadores socioeconómicos

Indicadores	Descripción	Monetizable (Sí/No)	Unidad de medida	Cumple con los ODS
Indicadores económicos	Ingresos: aumento de la productividad	Sí	Precio del kilogramo o litro de alimento o producto agrícola	ODS 1: Fin de la pobreza ODS 2: Hambre cero ODS 8: Crecimiento económico sostenible ODS 7: Energía asequible y no contaminante
	Ingresos: desarrollo de marca "verde" de productos	Sí	Diferencia de precio entre un producto "verde" y su alternativa de mercado	
	Ingresos: Prevención de pérdidas poscosecha	Sí	Precio del kilogramo o litro de alimento ahorrado	
	Ingresos del hogar	Sí	Cambio promedio en los ingresos de los empleados	
	Diversificación: Nuevos productos comercializables	Sí	Precio del kilogramo o litro de producto	
	Diversificación: venta de energía térmica	Sí	Precio de una unidad de energía térmica	
	Ahorros: reducción del uso de pesticidas y fungicidas en la producción de alimentos	Sí	Moneda fuerte o local	
	Ahorros: costo de energía potencialmente más bajo que el combustible fósil	Sí	Diferencia en el costo del calor geotérmico y el costo del combustible fósil	
	Costos: sueldos y salarios	Sí	Salario por hora, o sueldo mensual o anual	ODS 1: Fin de la pobreza ODS 2: Hambre cero ODS 7: Energía asequible y no contaminante ODS 8: Crecimiento económico sostenible
	Costos: modernización	Sí	Moneda fuerte o local	
	Oportunidades de empleo	Sí	Número de empleos creados	
	Agua y seguridad alimentaria: Agua para riego	Sí	Volumen de agua generado	
	Agua y seguridad alimentaria: Mayor eficiencia en la producción de alimentos	Sí	Kilogramos adicionales de alimentos producidos por área por año	
	Agua y seguridad alimentaria: Incremento de productividad	Sí	Kilogramos adicionales de alimentos producidos	
Agua y seguridad alimentaria: Reducción del desperdicio de alimentos	Sí	Kilogramos de alimentos ahorrados de desperdicios	ODS 7: Energía asequible y no contaminante ODS 8: Crecimiento económico sostenible	
Ahorro de tiempo	Sí	Horas humanas		
Nuevos negocios y mayor acceso al mercado	Sí	Valor monetario generado		
Reducción de la factura de importación de alimentos	Sí	Moneda fuerte o local		
Seguridad energética	No	No monetizable	ODS 4: Educación de calidad ODS 3: Salud y bienestar ODS 5: Igualdad de género ODS 3: Salud y bienestar	
Reducción de la factura de importación de combustibles fósiles	Sí	Moneda fuerte o local		
Indicadores sociales, de salud y bienestar	Educación	No	No monetizable	ODS 4: Educación de calidad ODS 3: Salud y bienestar ODS 5: Igualdad de género ODS 3: Salud y bienestar
	Salud	No	No monetizable	
	Inclusión e igualdad de género	No	No monetizable	
	Nivel de vida y calidad de vida	No	No monetizable	
Indicadores ambientales	Reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero	Sí	Kilogramos de CO ₂ equivalente o kilogramos de CO ₂ equivalente por kilogramo de producto	ODS 13: Acción por el clima

4.2 Desarrollo de tarifas de calor geotérmico

Tarifas de energía geotérmica

El desarrollo de recursos geotérmicos requiere grandes inversiones iniciales pero costos operativos relativamente bajos. El uso del calor geotérmico en el sector agroalimentario implica que los clientes deben pagar por el uso de esta energía en forma de tarifa de calor. Dada la naturaleza incipiente de las aplicaciones geotérmicas en el sector agroalimentario, los mecanismos de fijación de precios adecuados para el calor geotérmico deberían dar como resultado una tarifa que fomente la inversión en esta tecnología. El desarrollo de tarifas para la energía geotérmica generalmente da como resultado diferentes regímenes de precios que varían según la jurisdicción.

Esta fijación de precios diversa se deriva de numerosos factores que son específicos del sitio, incluida la tasa de éxito de la perforación, la producción de energía por pozo (*por ejemplo*, temperatura y tasa de flujo), la composición química de los fluidos geotérmicos (y la necesidad de tratamiento durante la utilización), el costo de capital (particularmente capital de riesgo), el estado del desarrollo del campo (*por ejemplo*, proyecto totalmente nuevo o proyecto de reacondicionamiento), e incentivos disponibles del gobierno, entre otros. Por ejemplo, los recursos geotérmicos de alta temperatura en proyectos de reacondicionamiento pueden traducirse en menores gastos de capital (CAPEX) y gastos operativos (OPEX), lo que resulta en tarifas más bajas. Por otro lado, el desarrollo de proyectos totalmente nuevos con recursos de menor temperatura puede resultar en costos de inversión más altos y, por lo tanto, tarifas más altas. Estos factores afectan a las tarifas tanto de electricidad como de calor.

Factores clave para establecer una tarifa de calor para la energía geotérmica

A continuación se presentan algunos de los factores clave a considerar al aplicar una tarifa de calor a la energía geotérmica:

- La recuperación de costos para el proveedor de energía a través de la tarifa de calor debe lograrse dentro de un marco de tiempo razonable. El desarrollo del recurso geotérmico para su uso implica una parte significativa del costo del proveedor de energía, y esto varía ampliamente según las condiciones específicas del sitio. El costo operativo, aunque mínimo, también podría variar mucho de un lugar a otro según las propiedades del fluido geotérmico y las condiciones geológicas. A pesar de estas variaciones de costos, la tarifa de calefacción debería seguir siendo asequible para los usuarios.
- En comparación con el uso de electricidad geotérmica, el producto del uso directo geotérmico es agua caliente o vapor, que se puede utilizar en una variedad de aplicaciones. La temperatura y el caudal del fluido determinan la cantidad de energía entregada por unidad de tiempo, lo que influye en las tarifas de calor.
- El valor de la energía térmica suministrada por los recursos geotérmicos es mayor para el desarrollador si la aplicación es adyacente al recurso. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de mercado y recursos, tener el recurso a distancia de la aplicación podría no ser perjudicial. Si bien hay algunos ejemplos de Islandia y otros lugares donde el agua caliente o el vapor se transportan largas distancias, en general, es mucho más costoso para la energía térmica viajar largas distancias (especialmente en comparación con el suministro de energía); por lo tanto, el valor térmico puede disminuir a medida que aumenta la distancia al lugar de aplicación, si no se realiza un aislamiento suficiente. La tarifa de calefacción podría establecerse en función de la cantidad de energía (kilovatios hora) consumida, lo que requiere el uso de medidores de energía para determinar el consumo. Alternativamente, la tarifa podría basarse en el volumen de agua caliente (metros cúbicos) entregado, que se mide con medidores de flujo. En los sistemas en cascada y los sistemas que integran el uso directo y la generación de electricidad, con el tiempo se pueden agregar nuevas aplicaciones agroalimentarias al sistema. Esto significa que, en los primeros años de operación, la demanda de calefacción podría ser baja, pero podría crecer con el tiempo a medida que se agreguen más clientes. Como resultado, los primeros años de operación experimentan costos operativos más altos por unidad de energía consumida o agua caliente entregada.
- Ciertos productos agroalimentarios, como el café y las frutas, se producen de forma estacional, por lo que las agroindustrias que procesan estos productos funcionan a plena capacidad solo en determinadas épocas del año, mientras que el procesamiento de otros productos, como las verduras, puede tener lugar durante todo el año. La naturaleza estacional de los productos influiría en el factor de capacidad de la calefacción geotérmica, lo que daría como resultado un tiempo de inactividad cuando se entrega poca o ninguna energía a los clientes.

Métodos para determinar el costo de la energía térmica para aplicaciones de uso directo

Existen dos enfoques clave de fijación de precios: costo total más un porcentaje fijo y basado en el mercado. Una estrategia de fijación de precios de costo total más un porcentaje fijo considera los costos incurridos para generar calor durante un periodo de tiempo determinado más un margen de utilidad. El enfoque basado en el mercado establece el precio sobre la base de un precio de referencia. Este punto de referencia suele ser el precio de una fuente de energía alternativa que será desplazada por la energía geotérmica.

Al determinar la tarifa del calor geotérmico para una aplicación específica de uso directo, la energía se entregará en forma de agua caliente o vapor. Por lo tanto, la cantidad de energía térmica disponible de dichos recursos se basará principalmente en el caudal de los fluidos geotérmicos y la diferencia de temperatura de este caudal (temperaturas de entrada menos las de salida).

Enfoque de costo total más un porcentaje fijo

Para entregar energía térmica de un recurso geotérmico a un cliente de manera financieramente viable, el desarrollador debe incluir todos los elementos de costo en la tarifa de calor y obtener una ganancia razonable. Dos elementos de costos principales asociados con el desarrollo de un recurso geotérmico son los costos de capital (CAPEX), en los que se incurre una sola vez, y los costos operativos (OPEX), que son recurrentes.

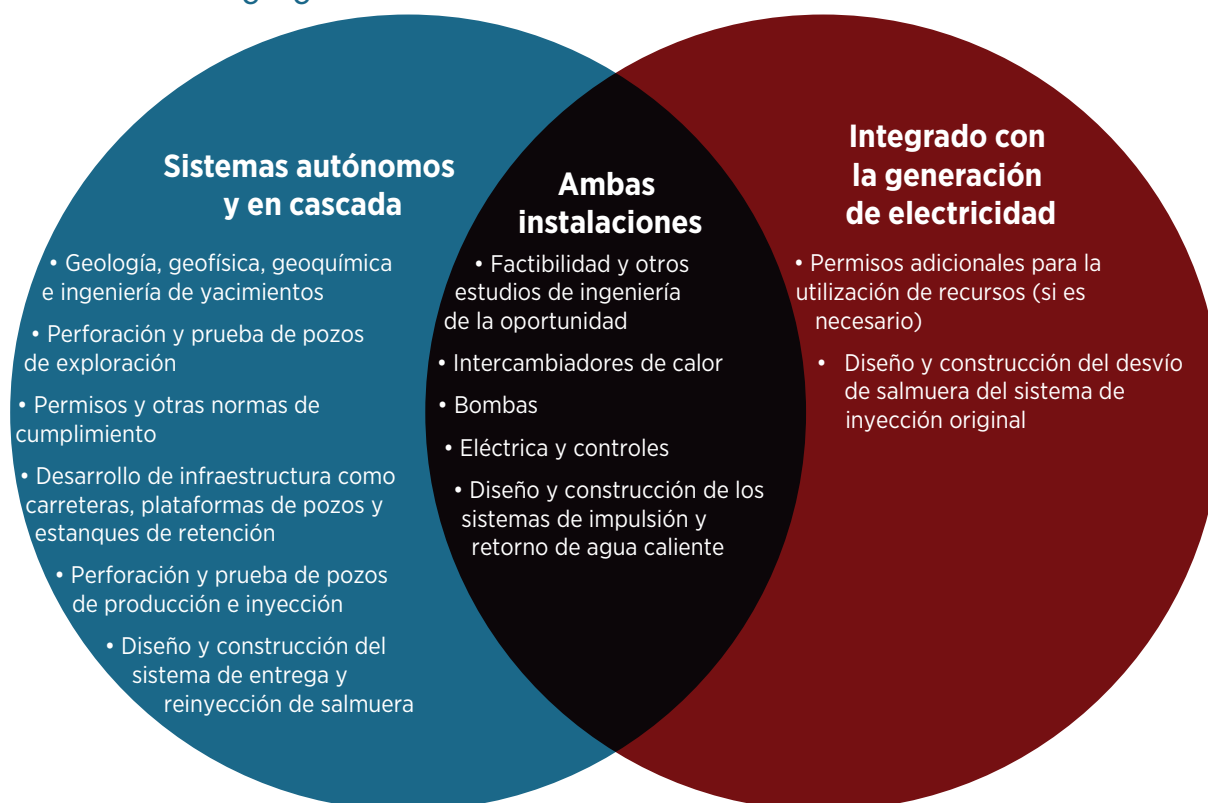
Los principales costos de capital se incurren en la realización de las siguientes actividades: estudios de exploración tales como mediciones geológicas, geoquímicas, geofísicas y de flujo de calor; estudios de viabilidad; obtención de permisos y otros requisitos legales; perforación y prueba de pozos de exploración, producción y reinyección (cuando sea necesario); desarrollo de sistemas de entrega de energía (tuberías, intercambiadores de calor, bombas, conexión al cliente, etc.); y desarrollo de infraestructura como carreteras y plataformas de pozos.

Los principales costos operativos incluyen los siguientes: pago de sueldos y salarios del personal; electricidad utilizada para hacer funcionar las bombas de agua; perforación de pozos de compensación; mantenimiento de equipo; intereses y comisiones bancarias; y depreciación de activos (gasto no monetario).

El calor geotérmico se puede suministrar a las aplicaciones agroalimentarias en un sistema independiente en cascada o a través de un sistema que integra el uso directo con la generación de electricidad. Como se describe en la sección 3.4, los sistemas autónomos y en cascada pueden incurrir en costos relacionados con estudios de exploración y perforación, mientras que los sistemas que están integrados con la generación de electricidad no lo hacen. La Figura 9 ilustra los elementos clave de CAPEX, que son únicos para cada instalación y aquellos que se superponen entre ellos. En particular, en el caso de sistemas autónomos y en cascada, los elementos de CAPEX podrían ser similares a los del sistema integrado si utilizan un pozo existente que se perforó para otros fines.

Una tarifa de calefacción sostenible debe tener en cuenta todos los costos incurridos en la generación de calor durante un periodo determinado, además de un margen de beneficio para pagar el costo de inversión dentro de un periodo razonable.

Figura 9 Elementos de CAPEX para diferentes opciones de instalación de uso directo de la energía geotérmica



Para determinar la tarifa de calefacción, primero es necesario estimar la cantidad de energía que debe entregarse a la aplicación de uso directo durante el periodo considerado. La estimación puede basarse en la demanda de energía de la aplicación de uso directo para una operación en curso, o puede estimarse a partir de la demanda basada en combustibles alternativos. Alternativamente, la energía térmica extraíble en el agua caliente podría representarse en kilovatios-hora.

El segundo paso es aproximar el costo que se espera incurrir en el suministro de energía térmica para aplicaciones de uso directo durante un periodo determinado. Esto implica amortizar los costos de capital durante la vida útil del proyecto y luego asignar un costo proporcional al periodo en consideración. También se deben determinar los costos operativos esperados para el mismo periodo.

En tercer lugar, se aproximan los ingresos que se espera generar del proyecto durante el mismo periodo. Esto implica establecer una tasa de rendimiento o margen de beneficio razonable, al mismo tiempo que se logra un equilibrio entre la asequibilidad de la energía para el cliente y la sostenibilidad de los costos para el proveedor. La suma de la ganancia esperada y los costos esperados proporciona los ingresos estimados del proyecto durante el periodo considerado.

Finalmente, la tarifa se puede determinar al dividir los ingresos esperados por la cantidad estimada de energía que se generará y entregará a los clientes durante el periodo considerado.

Un caso único con este enfoque puede surgir cuando se trata de sistemas que integran el uso directo y la generación de electricidad. En este caso, la mayor parte de la infraestructura, así como los costos de exploración y perforación, se pagaron por el propietario/operador de la central eléctrica. Por lo tanto, solo los elementos de CAPEX resaltados en la Figura 9 como "integrados con la generación de electricidad" y "ambas instalaciones" deben incurrirse para la operación de uso directo. De manera similar, durante la operación, parte del OPEX se paga por la central eléctrica. En este caso, se introduce el concepto de costos compartidos, mediante el cual todo el CAPEX y OPEX para la instalación combinada (generación de energía y la aplicación de uso directo) se comparten entre la actividad de generación de energía y la producción de energía térmica. Por lo tanto, la porción del costo compartido asignado a la operación de uso directo debe reflejarse en la tarifa de calor.

Pueden surgir problemas potenciales de una operación dividida cuando el recurso geotérmico y la instalación de uso directo no son propiedad ni están operados por una sola entidad, ya que los intereses de las partes pueden diferir. Mientras que el propietario de la instalación de uso directo está interesado en pagar lo mínimo por la energía térmica del recurso geotérmico, el propietario del recurso está más preocupado por la viabilidad a largo plazo del recurso y también podría querer asegurar un precio alto por la energía térmica vendida. Para evitar tales conflictos, es importante que las dos partes acuerden de antemano los términos y condiciones que se aplicarán durante el plazo del contrato de compra de calor (HPA) (véase la discusión a continuación: Elementos clave de un contrato de compra de calor).

Enfoque basado en el mercado

Este enfoque se basa en el costo del suministro de energía de fuentes alternativas. En el caso de las instalaciones existentes, el gas natural, la leña (con el impacto negativo adicional sobre el medio ambiente) o el gasóleo suelen ser los combustibles elegidos para la mayoría de las aplicaciones agroalimentarias en los países en desarrollo (véase Tabla 6). En este caso, la cantidad de energía térmica requerida en un periodo determinado debe calcularse en función del consumo de combustible y establecer el costo de suministro de esa energía. Luego se establece la cantidad de energía térmica de un recurso geotérmico que se requiere para reemplazar el combustible alternativo. Si la temperatura del recurso geotérmico cumple con la temperatura de entrada mínima/máxima para el cliente, se determina el caudal requerido para satisfacer las necesidades térmicas del cliente.

En los casos en los que no exista una instalación existente, pero exista la posibilidad de utilizar los recursos geotérmicos locales para aplicaciones agroalimentarias, tiene sentido realizar estudios de viabilidad para evaluar la demanda futura de calor geotérmico.

El costo de suministrar energía térmica a las instalaciones agroalimentarias que utilizan combustibles se utiliza como referencia para calcular la tarifa del calor geotérmico. Para que la energía geotérmica sea competitiva frente a los combustibles alternativos, el costo de la calefacción geotérmica no debe exceder el de los combustibles alternativos. Por lo tanto, para asegurar la sostenibilidad de la tarifa basada en el mercado y asegurar que el proyecto cubra todos sus costos de operación y mantenimiento, las metodologías relacionadas con la tarifa basada en costos pueden ser útiles para establecer el precio mínimo (piso). En caso de que el precio mínimo así determinado sea más alto que el precio de mercado, puede ser necesario considerar la introducción de subsidios para cubrir la diferencia entre los dos precios.

Se recomienda encarecidamente realizar un estudio de viabilidad completo antes de tomar cualquier decisión de inversión.

Elementos clave de un contrato de compra de calor

Dado que la industria geotérmica de uso directo en los sistemas agroalimentarios aún se encuentra en sus etapas iniciales, y la mayoría de las instalaciones existentes en la actualidad son proyectos autónomos o integrados con la generación de electricidad, generalmente por parte del propietario de la central eléctrica, un contrato de compra de calor (HPA) no es un contrato común. Sin embargo, a medida que varios clientes se conectan al recurso geotérmico para sus necesidades de calentamiento de procesos, podría ser necesario contar con un HPA para regular la operación. Los elementos clave de un HPA típico incluyen:

- **Partes y duración:** ¿Quiénes son las partes del HPA y por cuánto tiempo estará vigente el contrato? Es preferible celebrar contratos a más largo plazo para recuperar los costos de inversión, que suelen ser elevados.
- **Precio de una unidad de energía y cómo medirla:** se podría facturar a los clientes en función de la energía consumida (kilovatios-hora) o el volumen de agua caliente suministrada (metros cúbicos). Independientemente de la base de facturación adoptada, el suministro a mayor temperatura se considera más valioso (ya que es más fácil y económico extraer calor de recursos de mayor temperatura), por lo que la tarifa podría estar vinculada a la temperatura de entrada a las instalaciones de los clientes.
- **Estructura tarifaria:** la tarifa pagada por el cliente podría calcularse en función del consumo puro; capacidad y consumo; u otros mecanismos. En una estructura basada en el consumo, el cliente paga solo por la cantidad de energía/agua caliente utilizada, mientras que en la estructura de capacidad-consumo, hay un cargo fijo además del costo del consumo.

- **Temperaturas y cantidades mínimas y máximas:** en función de los requisitos energéticos del cliente, se debe establecer entre el cliente y el proveedor de energía una temperatura de entrada mínima/máxima, así como un caudal de suministro adecuado.
- **Obligaciones de las partes:** el HPA describe a qué se compromete cada parte; por ejemplo, el propietario del recurso/central eléctrica se compromete a proveer la energía en la cantidad y calidad acordadas; el receptor de la energía se compromete a pagar por ella.
- **Mecanismo para tratar la baja rentabilidad** por un lado y el impago por otro.
- **Mecanismos de resolución de controversias,** por ejemplo, arbitraje o tribunal, así como la jurisdicción y las leyes vigentes.
- **Otros términos y condiciones** que deben tomarse en consideración incluyendo aspectos legales/comerciales de la operación tales como garantías y valores, entre otros.

El enfoque basado en el mercado es, por naturaleza, un objetivo móvil. Cuando el costo de los combustibles alternativos aumenta considerablemente, existe la posibilidad de que el proveedor obtenga mayores ganancias. Por otro lado, cuando la demanda y los precios de los combustibles alternativos disminuyen, los precios de la calefacción geotérmica bajan y el proveedor de energía puede sufrir pérdidas. En el caso de una tarifa basada en costos, el costo de la energía varía principalmente con los costos asociados con el desarrollo y operación del sistema de suministro de energía.

Un beneficio clave para desarrollar la tarifa de calor es que el proveedor puede establecer contratos a largo plazo para el suministro de calor con los clientes y usarlos como base para obtener financiamiento.



REFERENCIAS

Alfaro, A.L. (2021), “Beyond (agro) industrial solutions: Approaching direct use of geothermal energy with a social and economic perspective”, *World Geothermal Congress 2020, 1 de marzo a octubre de 2021*, <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/Abstract.php?PaperID=5271>.

Ben Mohamed, M. (2015), “Geothermal energy development: The Tunisian experience”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19 a 25 de abril*, <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/28008.pdf>.

Blair, A. et al. (2018), “Beyond baseload: The future of geothermal”, *Proceedings of the 40th New Zealand Geothermal Workshop, Taupo, Nueva Zelanda, 14 a 16 de noviembre*, www.researchgate.net/publication/340267288_BEYOND_BASELOAD_THE_FUTURE_OF_GEOTHERMAL.

Boda, K. (2016), *Fostering geothermal development in Hungary: Opportunities and bottlenecks*, United Nations University Geothermal Training Programme, <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-report/UNU-GTP-2016-12.pdf>.

Boissavy, C. (2020), *Report reviewing existing insurance schemes for geothermal*, Georisk, Bruselas, www.georisk-project.eu/wp-content/uploads/2020/02/D3.1_Report-reviewing-geothermal-risk-mitigation-schemes-v2.pdf.

Boyd, L., Sifford, A. y Lund, J. (2015), “The United States of America country update 2015”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19 a 25 de abril*, www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01009.pdf.

Camargo, G. et al. (2013), “Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool”, *BioScience*, Vol. 63/4, Oxford University Press, pp. 263-273, <http://dx.doi.org/10.1525/bio.2013.63.4.6>.

Casimiro, E. y Pastrana, E. (1996), “Wood and fruit drying in the Los Azufres Geothermal Field, Mexico”, *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 20, Geothermal Resources Council, Mount Laurel, pp. 563-566.

CCER (2021), “About us”, Renewable Energy Food Community of Tuscany, www.ccer-toscana.it/en/community (consultado el 16 de diciembre de 2021).

China-NDC (2021), *China's achievements, new goals and new measures for Nationally Determined Contributions*, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/China%20First/China%E2%80%99s%20Achievements,%20New%20Goals%20and%20New%20Measures%20for%20Nationally%20Determined%20Contributions.pdf>.

CIP (2021), *IRENA for the Climate Investment Platform: Unlocking renewable energy investments through project facilitation*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi.

Climo, M. (2015), *Geothermal direct use in New Zealand: Industrial heat park opportunities*, GNS Science, Taupo, www.gns.cri.nz/content/download/11036/59104/file/Geothermal%20direct%20use%20in%20NZ%20-%20Industrial%20Heat%20Park%20Opportunities.pdf.

Climo, M. y Carey, B. (2011), *Low temperature geothermal energy roadmap: fostering increased use of New Zealand's abundant geothermal resources*, GNS Science, Taupo, www.gns.cri.nz/content/download/7569/41292/file/Low%20Temperature%20Geothermal%20Energy%20Roadmap%202011.pdf.

CTCN (2020), *Development of a national roadmap for the use of low-temperature geothermal energy for thermal conditioning in the residential, industrial and commercial services sectors in Uruguay*, Climate Technology Centre & Network, www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/ENGLISH_E2.1%20-%20Mapping%20of%20stakeholders.pdf.

Daysh, S. et al. (2020), "2015-2020 New Zealand Country Update", *Proceedings of the World Geothermal Congress 2020, Reikiavik, 26 de abril al 2 de mayo*, www.researchgate.net/publication/341220788_2020_New_Zealand_Country_Update.

Dickson, M.H. y Fanelli, M. (2004), "What is geothermal energy", *International Geothermal Association*, Bochum.

Drijver, B., Bakema, G. y Oerlemans, P. (2019), "State of the art of HT-ATES in The Netherlands", *Proceedings of the European Geothermal Congress 2019, La Haya, 11 a 14 de junio*, <https://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/289.pdf>.

Eni (2016), "Geothermal stories: What can we do with the hot water?" *Eni School Energy & Environment*, www.eniscuola.net/en/2016/12/22/geothermal-stories-what-can-we-do-with-the-hot-water (consultado el 2 de marzo de 2022).

Ephraim, J. (2020), "New Zealand and the OECS to collaborate on direct uses of geothermal energy", *Organización de Estados del Caribe Oriental*, <https://pressroom.oecs.org/new-zealand-and-the-oecs-to-collaborate-on-direct-uses-of-geothermal-energy> (consultado el 2 de marzo de 2022).

ESMAP (2019), *Gender equality in the geothermal energy sector: Road to sustainability*, World Bank Energy Sector Management Assistance Program, Washington, DC, <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31607/Gender-Equality-in-The-Geothermal-Energy-Sector-Road-to-Sustainability.pdf>.

ETAF (2021), "About ETAF", *Energy Transition Accelerator Financing Platform*, <https://etafplatform.org/About> (consultado el 17 de diciembre de 2021).

FAO (2019), *The state of food and agriculture. Moving forward on food loss and waste reduction*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf.

FAO (2018), *Investing in sustainable energy technologies in the agri-food sector*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, www.fao.org/3/i9077en/i9077EN.pdf.

FAO (2015), *Uses of geothermal energy in food and agriculture: Opportunities for developing countries*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, www.fao.org/3/i4233e/i4233E.pdf.

FAO (2012), *Review of GHG calculators in agriculture and forestry sectors: A guideline for appropriate choice and use of landscape-based tools*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/ADEME/Review_existingGHGtool_VF_UK4.pdf.

FAO y GIZ (2019), *Measuring impacts and enabling investments in energy-smart agrifood chains*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, Roma y Eschborn, www.fao.org/3/ca4064en/ca4064en.pdf.

FAO y GIZ (2018), *Costs and benefits of clean energy technologies in the milk, vegetable and rice value chains*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, Roma y Eschborn, www.fao.org/3/i8017EN/i8017en.pdf.

Fraser, S. (2013), *Report presenting proposals for improving the regulatory framework for geothermal electricity: Annex 1 overview of national rules for licensing for geothermal*, Geoelec, Bruselas, www.geoelec.eu/wp-content/uploads/2011/09/D4.1-A.1-Overview-of-National-Rules-of-Licensing.pdf.

GEA (2010), *Green jobs through geothermal energy*, Geothermal Energy Association, Washington, DC, www.geothermal.org/sites/default/files/2021-02/Green_Jobs_Through_Geothermal_Energy.pdf.

GIZ (2020a), *Estudio de Mercado: Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, Bonn, www.energia.gob.cl/sites/default/files/estudio_de_mercado.pdf.

GIZ (2020b), “Making direct use of geothermal energy in Central America”, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, www.giz.de/en/worldwide/78071.html (consultado el 2 de marzo de 2022).

GIZ (2020c), *Informe de Cierre 2016-2020: Resultados Alcanzados por el Proyecto: Fomento de la Geotermia en Centroamérica*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, Bonn y Eschborn.

GIZ y SICA (2020c), *Geothermal direct use for a crop drying centre in Guatemala*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH y Sistema de la Integración Centroamericana, Bonn, www.sica.int/download/?124297.

GNS Science (2021), “Geothermal Use Map”, *New Zealand Geothermal Use Database*, <http://data.gns.cri.nz/geothermal/wms.html> (consultado el 15 de diciembre de 2021).

González, A. et al. (2019), *Advancing gender in the environment: Gender-responsive geothermal generation – powering energy and social benefits in El Salvador*, IUCN Global Gender Office y US Agency for International Development, Washington, DC, www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1865/IUCN-USAID_LaGeo_Gender-Responsive_Geothermal_Generation_0.pdf.

Gude, V.G. (2016), “Geothermal source potential for water desalination: Current status and future perspective”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 57, Elsevier, Amsterdam, pp. 1038-1065, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.186>.

Guglielmetti, L. (2021), “Boosting the sustainability of the agri-food sector by the integration of geothermal energy: Benefits and gaps”, Webinar on Scaling-up Geothermal Direct Use for Industrial Applications in Latin America, International Renewable Energy Agency y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH.

Guglielmetti L. et al. (2020), “Map of Geothermal food – an overview of applications of geothermal energy for food production”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2020+1, Reikiavik, 24 a 27 de octubre*.

Hachicha, M. y Ben Aissa, I. (2014), “Managing salinity in Tunisian Oases”, *Journal of Life Sciences*, Vol. 8, No. 9, Elsevier, Amsterdam, pp. 775-782, <http://dx.doi.org/10.17265/1934-7391/2014.09.007>.

Haehnlein S., Bayer, P. y Blum, P. (2010), “International legal status of the use of shallow geothermal energy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 9, Elsevier, Amsterdam, pp. 2611-2625, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.069>.

Haustak Dried Fish Products (2021), “Dried fish products: Haustak”, <https://www.haustak.is/index.php/general-for-haustak/3-afurdir> (consultado el 15 de diciembre de 2021).

Hawker-Green, K., Blair, A. y McCaw, M. (2020), “Geothermal is the solution: How a small town in New Zealand (Taupō) is growing the prosperity of its people using its geothermal resources”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2020+1, Reikiavik, 26 de abril al 2 de mayo*.

Hein, T. (2012), “100 percent renewably powered Alaskan greenhouse”, Greenhouse Canada, www.greenhousecanada.com/100-per-cent-renewably-powered-geothermal-alaskan-greenhouse-again-showcased-at-energy-fair-20227 (consultado el 2 de marzo de 2022).

Hickson, C.J. et al. (2016), *Direct-use of geothermal resources in British Columbia*, Geoscience BC, Vancouver, www.geosciencebc.com/projects/2015-022.

Huttrer, G.W. (2020), “Geothermal power generation in the world 2015-2020 update report”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2020, Reikiavik, 26 de abril al 2 de mayo*, www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01017.pdf.

Cámara de Comercio de Islandia (2020), *The Icelandic economy 2020, Reikiavik*, www.government.is/library/09-Embassies/New-York-Consulate/ICEEcon2020-210920-Web_Final.pdf.

IRENA (2021a), *World energy transitions outlook: 1.5°C pathway*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf.

IRENA (2021b), *Integrating low-temperature renewables in district energy systems: Guidelines for policymakers*, Agencia Internacional de Energías Renovables y Universidad de Aalborg, Abu Dabi y Copenhague, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/March/IRENA_District_Energy_Systems_2021.pdf.

IRENA (2020), *Geothermal development in Eastern Africa*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Geothermal_Eastern_Africa_2020.pdf.

IRENA (2019), *Accelerating geothermal heat adoption in the agri-food sector: Key lessons and recommendations*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Geothermal_agri-food_2019.pdf.

IRENA (2018), *Global energy transformation: A roadmap to 2050*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf.

IRENA (2016a), *Solar pumping for irrigation: Improving livelihoods and sustainability*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Solar_Pumping_for_Irrigation_2016.pdf.

IRENA (2016b), *Renewable energy benefits: Decentralised solutions in the agri-food chain*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Decentralised_solutions_for_agrifood_chain_2016.pdf.

IRENA (2015), *Renewable energy in the water, energy and food nexus*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Water_Energy_Food_Nexus_2015.pdf.

IRENA y FAO (2021), *Renewable energy for agri-food systems – towards the Sustainable Development Goals and the Paris Agreement*, Agencia Internacional de Energías Renovables y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Abu Dabi y Roma, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Nov/IRENA_FAO_Renewables_Agrifood_2021.pdf.

IRENA y OIT (2021), *Renewable energy and jobs – annual review 2021*, Agencia Internacional de Energías Renovables y Organización Internacional del Trabajo, Abu Dabi y Ginebra, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA_RE_Jobs_2021.pdf.

IRENA, IEA y REN21 (2020), *Renewable energy policies in a time of transition: Heating and cooling*, Agencia Internacional de Energías Renovables, International Energy Agency y Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Abu Dabi y París, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_IEA_REN21_Policies_Heating_Cooling_2020.pdf.

Kenya Geothermal Development Company (2020), “GDC, Nakuru Country sign Collaboration Framework Agreement”, www.gdc.co.ke/blog/gdc-nakuru-county-sign-collaboration-framework-agreement (consultado el 23 de abril de 2021).

Kenyan Tribune (2020), “KenGen’s Olkaria Geothermal Power Plant lower evacuation costs causes competitor to lower electricity tariff”, www.kenyantribune.com/kengens-olkaria-geothermal-plant-lower-evacuation-costs-causes-competitor-to-lower-electricity-tariff (consultado el 23 de abril de 2021).

Kerecis (2021), “Fish skin technology”, www.kerecis.com (consultado el 15 de diciembre de 2021).

Kinyanjui, S. (2013), *Direct use of geothermal energy in Menengai, Kenya: Proposed geothermal spa and crop drying*, Programa de Capacitación en Geotermia de la Universidad de las Naciones Unidas, <https://rafladan.is/bitstream/handle/10802/7392/UNU-GTP-2013-09.pdf>.

Kojima, M. (2017), *Energy subsidies: Identifying and quantifying energy subsidies*, Banco Mundial, Washington, DC, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28926>.

Limberger, J. et al. (2018), “Geothermal energy in deep aquifers: A global assessment of the resource base for direct heat utilization”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, No. 1, Elsevier, Amsterdam, pp. 965-981, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.084>.

Lund, J. (1997), “Milk pasteurization with geothermal energy”, *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Vol. 18, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, <https://oregontechsfstatic.azureedge.net/sitefinity-production/docs/default-source/geoheat-center-documents/quarterly-bulletin/vol-18/art44e96ee4362a663989f6fff0000ea57bb.pdf>.

Lund, J. y Toth, A. (2020), “Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2020*, Reikiavik, 26 de abril al 2 de mayo, www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01018.pdf.

Mannvit (2020), “Algaenovation: Vaxa Impact Nutrition”, www.mannvit.com/projects/algaenovation (consultado el 7 de diciembre de 2022).

Masum, M. y Akbar, A. (2020), “The Pacific Ring of Fire is working as a home country of geothermal resources in the world”, *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, Vol. 249, No. 1, IOP Publishing, Bristol, p. 012020, <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/249/1/012020>.

McDonagh, V. (2019), “Iceland’s largest aquaculture centre opens”, *Fish Farmer*, www.fishfarmermagazine.com/news/icelands-largest-aquaculture-centre-opens (consultado el 23 de abril de 2021).

Merida, L. (1999), “Curing blocks and drying fruit in Guatemala”, *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, diciembre, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.535.3232&rep=rep1&type=pdf>.

Ndetei, C. (2020), *Environmental & social impact assessment report for the proposed Energy Research & Development Centre and corporate archive building in Murang’a South Sub-county, Murang’a County, Kenya* Electricity Generating Company, PLC, Nairobi, www.nema.go.ke/images/Docs/EIA_1820-1829/ESIA_1825%20R%20%20D%20Lab%20and%20Corporate%20Archive%20-%20Tana_SR%202073-min.pdf.

Ndetei, C. (2016), “Opportunities for direct utilization of geothermal energy in Eburru Area, Nakuru County in Kenya”, *Proceedings of the 6th African Rift Geothermal Conference Addis Ababa, noviembre*, <http://theargeo.org/fullpapers/OPPORTUNITIES%20FOR%20DIRECT%20UTILIZATION%20OF%20GEOTHERMAL%20%20ENERGY%20IN%20EBURRU%20AREA.pdf>.

NREL (2014), *US Department of Energy Geothermal Technologies Program: Direct Use*, National Renewable Energy Laboratory, US Department of Energy, Washington, DC, www.nrel.gov/docs/fy04osti/36316.pdf.

NZGA (2017), *Geoheat strategy for Aotearoa New Zealand: 2017-2030*, New Zealand Geothermal Association, www.nzgeothermal.org.nz/geothermal-in-nz/geoheat.

Paiz, C. (2021), “Proyecto Geotérmico San Michkael, Guatemala”, Webinar on Scaling-up Geothermal Direct Use for Industrial Applications in Latin America, Agencia Internacional de Energías Renovables y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH.

Peerdeman, C. (2017), *An environmental and economical case study of local beer production in Tuscany – a scenario approach*, Tesis de maestría en ciencias, Universidad de Zaragoza, España.

Oficina de Inversiones de la Presidencia de la República de Turquía (2020), *Guide to state incentives for investments in Turkey*, Ankara, investturkey.or.jp/wp-content/uploads/2021/01/guide-to-state-incentives-for-investments-in-turkey.pdf.

Oficina de Inversiones de la Presidencia de la República de Turquía (2019), *Guide to investing in the Turkish renewable energy sector*, Ankara, <https://www.invest.gov.tr/en/library/publications/lists/investpublications/guide-to-investing-in-turkish-renewables-energy-sector.pdf>.

Ramsak, P. (2020), “Geothermal energy in the Netherlands”, Webinar Energy Solutions for Cities of the Future, Agencia Internacional de Energías Renovables, 14 de mayo, <https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2020/May/Developing-enabling-frameworks-for-geothermal-heating---The-case-of-The-Netherlands.pdf>.

Rangel, M.E. (1998), “Mushroom growing project at the Los Humeros, Mexico Geothermal Field”, *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Vol. 19, No. 4, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, <https://oregontechsfcdn.azureedge.net/oregontech/docs/default-source/geoheat-center-documents/quarterly-bulletin/vol-19/art4.pdf>.

Richter, A. (2020a), “ThinkGeoEnergy Global Geothermal Power Plant Map”, *ThinkGeoEnergy*, www.thinkgeoenergy.com/map (consultado el 23 de abril de 2021).

Richter, A. (2020b), “Geothermal allowing growth of tomatoes in greenhouses in coldest part of Turkey”, *ThinkGeoEnergy*, www.thinkgeoenergy.com/geothermal-allowing-growth-of-tomatoes-in-greenhouses-in-coldest-part-of-turkey (consultado el 23 de abril de 2021).

Richter, A. (2019a), “Geothermal heat key element of new aquaculture facilities in the West Fjords of Iceland”, *ThinkGeoEnergy*, www.thinkgeoenergy.com/geothermal-heat-key-element-of-new-aquaculture-facilities-in-the-west-fjords-of-iceland (consultado el 7 de diciembre de 2021).

Richter, A. (2019b), “New loan product announced for greenhouse development in Turkey”, *ThinkGeoEnergy*, www.thinkgeoenergy.com/new-loan-product-announced-for-greenhouse-development-in-turkey (consultado el 23 de abril de 2021).

Richter, A. (2017), “Successful Maori-owned dairy operations utilising geothermal, New Zealand”, *ThinkGeoEnergy*, www.thinkgeoenergy.com/successful-maori-owned-dairy-operations-utilising-geothermal-new-zealand (consultado el 7 de diciembre de 2021).

Rodríguez, J.A. y Herrera, A. (2005), “El Salvador country update”, *Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turquía, 24 a 29 de abril de 2005*, pp. 24-29, www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2005/0108.pdf.

Royal Society of Chemistry (2018), “New protein from geothermal microorganism could aid fight against antimicrobial resistance”, www.rsc.org/news-events/journals-highlights/2018/sep/geothermal-antimicrobial-protein (consultado el 7 de diciembre de 2021).

SENER y CeMIE-Geo (2018), *Mapa de Ruta Tecnológica: Usos Directos del Calor Geotérmico*, Secretaría de Energía y Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, Ciudad de México, www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416191/MRT_UDCG_Final.pdf.

Shirley, R. et al. (2021), “Identifying high-priority impact areas for electricity service to farmlands in Uganda through geospatial mapping”, *Journal of Agriculture and Food Research*, Vol. 5, Elsevier, Amsterdam, p. 100172 <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100172>.

Sims, R., Flammini, M., Puri, M. y Bracco, S. (2015), *Opportunities for agri-food chains to become energy-smart*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development (PAEGC), Roma.

Sommaruga, A., Eichenberger, U. y Marillier, F. (2012), *Seismic atlas of the Swiss Molasse Basin*, editado por Swiss Geophysical Commission, Matér. Géol. Suisse, *Géophys*, Vol. 44, www.geologieportal.ch/en/themes/fundamentals-of-geology/geophysics/seismic-atlas.html.

SSEK (2020, 2 de diciembre), “Indonesia’s Omnibus Law puts focus on direct use of geothermal resources”, Soewito Suhardiman Eddymurthy Kardono, www.conventuslaw.com/report/indonesias-omnibus-law-puts-focus-on-direct-use-of.

Stichting Platform Geothermie (2018), *Master plan geothermal energy in the Netherlands: A broad foundation for sustainable heat supply*, Gobierno de los Países Bajos, Ministerio de Asuntos Económicos y Política Climática, Ámsterdam, https://geothermie.nl/images/bestanden/Masterplan_Aardwarmte_in_Nederland_ENG.pdf.

Surana, T. et al. (2010), “Development of geothermal energy direct use in Indonesia”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, 25 a 29 de abril*, www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/2824.pdf.

Thorarinsdottir, R. et al. (2020), “Geothermal energy for circular food production – GEOFOOD”, *Forschung and Entwicklung*, <https://geofoodproject.eu/wp-content/uploads/2020/09/Geothermal-energy-for-circular-food-production---GEOFOOD.pdf>.

UN DESA (2021), *World social report 2021: Reconsidering rural development*, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Nueva York, www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2021/05/World-Social-Report-2021_web_FINAL.pdf.

USAID y GDC (2014), *Direct-use guidebook – a case study from Kenya*, US Agency for International Development and Kenya Geothermal Development Company, Washington, DC y Nairobi.

Uwera, J. et al. (2015), “Design of a cooling system using geothermal energy for storage of agricultural products with emphasis on Irish potatoes in Rwanda, Africa”, *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 39, Geothermal Resources Council, Mount Laurel, <https://publications.mygeoenergynow.org/grc/1032145.pdf>.

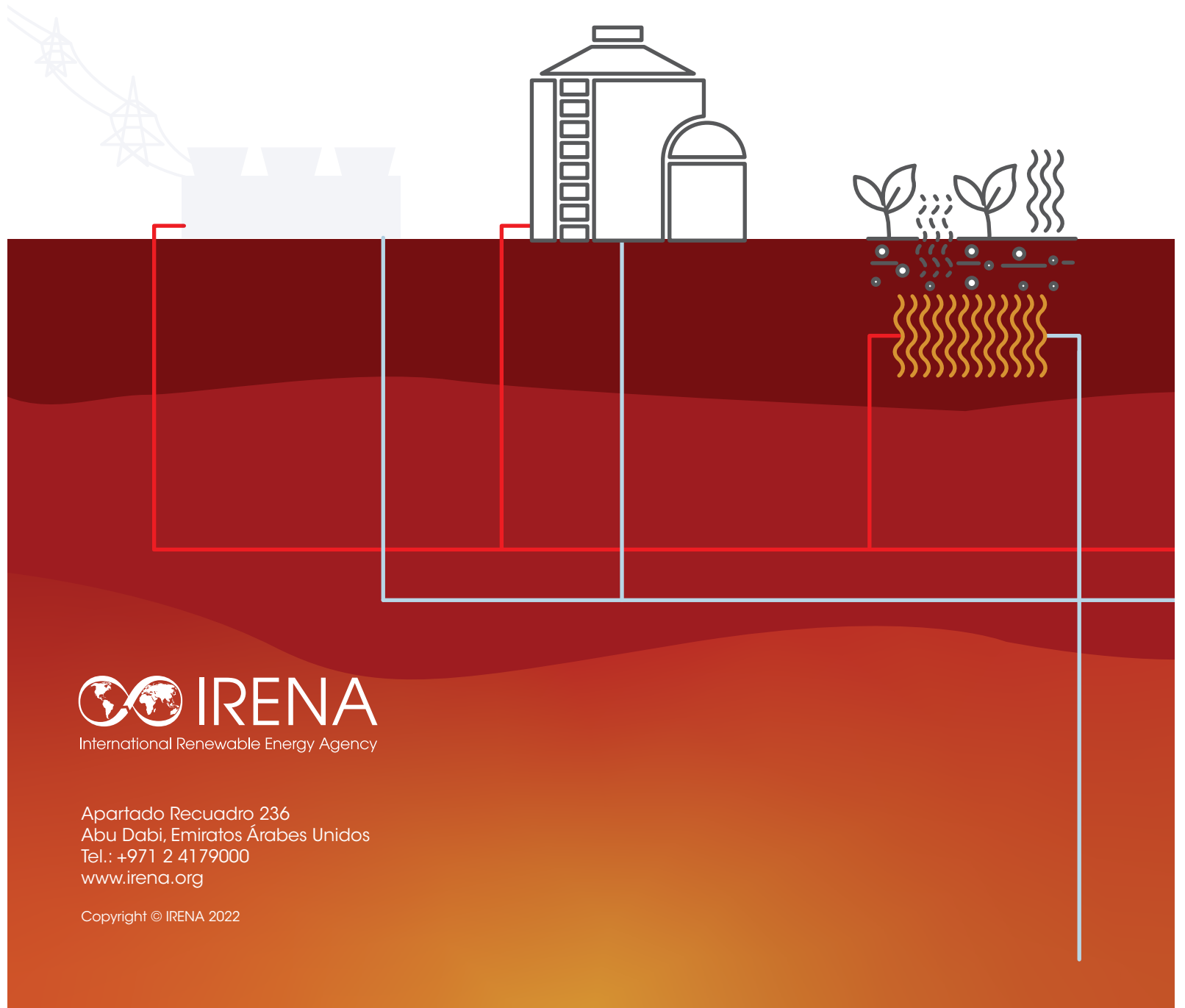
Vrijlandt, M. et al. (2019), “ThermoGIS update: A renewed view on geothermal potential in the Netherlands”, *Proceedings of the European Geothermal Congress 2019, La Haya, 11 a 14 de junio*, www.thermogis.nl/sites/default/files/2019-09/Vrijlandt_etal_ThermoGIS_Paper-EGC-2019.pdf.

Wairakei Research Centre (2020), *Renewable geothermal energy used in milk processing*, Wairakei, www.gns.cri.nz/gns/content/download/12757/67970/file/Milk-Processing%20-Miraka.pdf.

Williams, C.F., Reed, M.J. y Anderson, A.F. (2011), “Updating the classification of geothermal systems”, *Proceedings of the Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford*, 31 de enero al 2 de febrero, <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2011/williams.pdf>.

Banco Mundial (2021), “CL Technical Assistance for Geothermal Development in Chile”, World Bank Project ID P152820, <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P152820> (consultado el 2 de marzo de 2022).

Banco Mundial (2018), *Opportunities and challenges for scaling up geothermal development in Latin America and the Caribbean*, Washington, DC, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30895> Licencia: CC BY 3.0 IGO.



 **IRENA**
International Renewable Energy Agency

Apartado Recuadro 236
Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos
Tel.: +971 2 4179000
www.irena.org

Copyright © IRENA 2022