



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Centro de Políticas Públicas UC

Competencia y coexistencia de campos solares y eólicos con campos agrícolas en el contexto chileno

PILAR M. GIL

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC

FLAVIA MALDINI

Investigadora externa

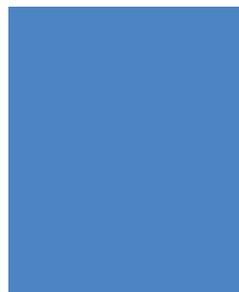
LILIANA GODOY

ALONSO PÉREZ-DONOSO

MARLENE AYALA

TANIA ZAVIEZO

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC



TEMAS DE LA AGENDA PÚBLICA

Año 17 / N° 158 / Agosto 2022

ISSN 0718-9745

Competencia y coexistencia de campos solares y eólicos con campos agrícolas en el contexto chileno

PILAR M. GIL

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC

FLAVIA MALDINI

Investigadora externa

LILIANA GODOY

ALONSO PÉREZ-DONOSO

MARLENE AYALA

TANIA ZAVIEZO

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC

1. Introducción

El país enfrenta cambios importantes en pro del desarrollo sustentable. Uno de ellos es la creciente demanda de energía, generada a partir de fuentes renovables no convencionales (ERNC). Sin embargo, a diferencia de aquellas provenientes de fuentes fósiles, que son depósitos de energía concentrada bajo tierra, las ERNC necesitan gran cantidad de superficie para producir la misma energía (Van de Ven et al., 2021)¹. Desde este punto de vista, el aumento de los campos de ERNC podría convertirse en una amenaza, tanto por sustitución de uso del suelo como por los posibles efectos ambientales que estas instalaciones puedan generar en los terrenos donde se disponen.

Sargentis et al. (2021) señalan que —a nivel mundial— el principal conflicto de las ERNC ha sido la ocupación de tierras agrícolas. En Chile, la actual sequía podría inclinar la balanza del uso del suelo hacia la generación de ERNC en desmedro de la producción agrícola, más allá de lo conveniente en varias regiones con aptitud agrícola. Farja y Maciejczak (2021) analizan las implicancias económicas de esta conversión y concluyen que la intervención política es crucial para un desarrollo equilibrado, dada la compleja situación del cambio climático, la disminución de suelos agrícolas y la seguridad alimentaria. Para ello, nuevos modelos de desarrollo deben ser propuestos.

El presente estudio tiene como objetivo analizar las consecuencias y oportunidades de la instalación de campos fotovoltaicos y eólicos en suelos agrícolas de Chile. Con este fin se analizó la información nacional relevante (normas legales, estadísticas, estudios y artículos de prensa) y se realizaron entrevistas a diversos representantes del sector agrícola y del sector energético, públicos y privados. A partir de ello se identificó una serie de elementos cuya gestión permitiría avanzar hacia una coexistencia equilibrada de ambas actividades².

La primera parte de este artículo dimensiona y caracteriza la situación actual, identificando las razones que explican la instalación de campos ERNC en terrenos tradicionalmente agrícolas, las normas existentes que regulan este proceso y sus implicancias en el modelo de negocio imperante. Además, se analizan las motivaciones económicas de los agricultores para el arriendo de sus terrenos a las empresas generadoras. Posteriormente, se identifican los *drivers* que impulsarán la conversión de terrenos agrícolas en parques ERNC, analizando los efectos económicos, sociales, ambientales y los potenciales conflictos que esta conversión puede traer al sector agrícola en el mediano plazo. Recurriendo a la literatura extranjera, se presentan dos alternativas que permitirían una mejor coexistencia: los modelos agrovoltáicos y el ordenamiento territorial. Por último, se analiza la situación

1 Van de Ven et al. (2021) señalan que el cambio a energía solar en la matriz energética de 25% a 80% proyecta una ocupación del suelo de 0,5% a 2,8% en la Unión Europea y de 1,2% a 5,2% en Japón y Corea del Sur.

2 Se realizaron 13 entrevistas: ocho al sector agrícola (cuatro profesionales de reparticiones públicas del Ministerio de Agricultura y cuatro empresarios agrícolas) y cinco al sector energético (dos profesionales de reparticiones del Ministerio de Energía y tres de empresas privadas).

proyectada y se entregan recomendaciones para avanzar hacia un desarrollo simultáneo de agricultura y generación eléctrica sustentable.

2. Descripción de la situación actual y su proyección

2.1 La demanda energética y la oferta de ERNC en Chile

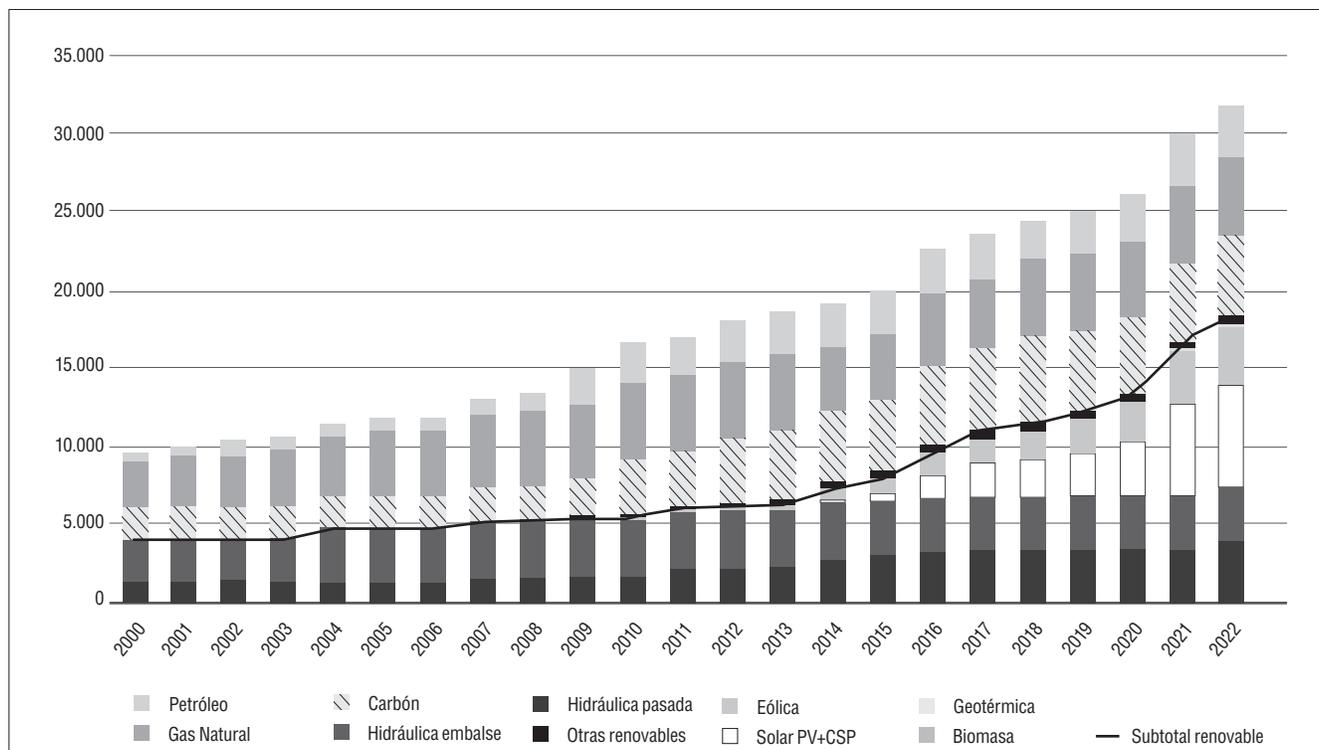
En 2014, Chile instauró su Agenda de Energía, impulsando las ERNC. En ella estableció una hoja de ruta, en la que para 2030 un 80% de la generación eléctrica provendrá de fuentes renovables. Para 2040, la meta es que se retiren o conviertan la totalidad de las centrales a carbón, mientras que para 2050 la matriz energética deberá ser en un 100% cero emisiones³. Por otra parte, la Ley de Generación Distribuida N° 20.571 impulsa proyectos particulares de ERNC para la autogeneración y venta de energía.

Por su lado, la Comisión Nacional de Energía (CNE) proyectó un crecimiento de la demanda del 75% a nivel

nacional para el periodo 2020-2039 (CNE, 2020a). En opinión de los profesionales del sector energético, este incremento de demanda será generado principalmente por fuentes solares y eólicas (no se esperan nuevos proyectos hidroeléctricos dada la difícil aprobación de estas centrales y la escasez hídrica actual).

Al año 2021, solo el 50% de la capacidad instalada para la generación de energía proviene de fuentes renovables (Figura 1), quedando aproximadamente 13.300 megawatts (MW) por convertirse a energías limpias. Si se asume que la capacidad instalada debe crecer en igual proporción a la demanda para el mismo periodo, entonces las instalaciones de ERNC deberán incrementarse para generar 33.300 MW desde el presente a 2039 (principalmente energías solares y eólicas)⁴. Este crecimiento será más importante en las regiones más pobladas, donde se ubican principalmente los clientes regulados, para quienes se proyecta un aumento de demanda del 90% para el mismo periodo⁵.

Figura 1. Evolución de la capacidad instalada para la generación eléctrica (MW) según fuente, entre 2000 y 2021



Fuente: Generadoras de Chile, 2021

3 Publicado en La Tercera (12/11/2021). Disponible en: <https://www.latercera.com/pulso-pm/noticia/enap-define-ubicacion-del-mayor-parque-fotovoltaico-en-la-rm-lo-levantara-en-maipu>.
 4 A lo estimado se podrían sumar otras demandas energéticas, como proyectos de desalinización de agua, que toman importancia dada la escasez hídrica, los cuales también mencionan abastecerse de ERNC.
 5 Para los clientes no regulados (25% de la demanda), ubicados mayormente en regiones mineras, se proyecta una demanda más estable dentro de este periodo.

Actualmente, las fuentes solares son el 65% de los MW que generan los sistemas de ERNC en Chile (Generadoras de Chile, 2021); sin embargo, se espera que su crecimiento sea mayor al de las fuentes eólicas en los próximos años, ya que presentan mayores facilidades para ser instaladas, como se explica más adelante. Por lo tanto, es esperable que se instalen al menos 25.000 MW (75%) en campos fotovoltaicos (FV), lo cual, traducido a superficie, representa aproximadamente 65.000 hectáreas nuevas destinadas a energía solar. Considerando la eficiencia de la tecnología actual, en promedio se estima 1 MW FV = 2,6 hectáreas (Aravena, 2021; Sargentis et al., 2021). Este coeficiente es similar al aportado por los agricultores entrevistados.

Aunque parte importante de estas instalaciones se están llevando a cabo en la zona norte y centro norte del país,

sin mayor consecuencia para el sector agrícola, existe un creciente número de proyectos en la zona central en suelos con vocación agrícola entre las regiones de Valparaíso y de la Araucanía. La Tabla 1 muestra los proyectos FV que se encuentran operativos y en diferentes etapas de desarrollo para estas regiones. Se puede observar que los proyectos en construcción representan el 50% de lo actualmente instalado, y los proyectos aprobados para estas zonas duplican lo que existe actualmente. El alto número de proyectos en etapa de calificación se explica, en parte, por el hecho de que el Decreto Supremo N° 88 del Ministerio de Energía, que otorga la posibilidad de acceder a precio estabilizado, será revocado para aquellos proyectos autorizados con posterioridad a mayo de 2022. Por esta razón, los titulares se han apresurado a presentar proyectos, pero esto no significa necesariamente que todos ellos serán construidos⁶.

Tabla 1. **Capacidad en MW de los proyectos FV según su etapa para las regiones seleccionadas, ordenadas de norte a sur, y una estimación de su equivalente en superficie aproximada (hectáreas), diciembre 2020**

Región	Operativos	En prueba	En construcción	Aprobados	En calificación	Total
Valparaíso	160		19	485	263	928
Metropolitana	349	23	124	165	528	1.188
O'Higgins	215	11	39	351	138	754
Maule	93	36	111	555	152	947
Ñuble	21	9	63	142	150	385
Biobío	3		32	100	106	240
Araucanía			3	9	36	48
Total (MW)	840	79	392	1.807	1.373	4.490
Equivalente en superficie (ha)	2.183	206	1.018	4.697	3.570	11.674

Fuente: elaboración propia en base a datos entregados en Compendio Cartográfico Proyectos e Instalaciones de Generación Eléctrica en Chile (Ministerio de Energía, 2020a).

Para conocer el posible grado de sustitución de la actividad agrícola por campos FV es importante saber dónde están los emplazamientos de los nuevos proyectos. En el Compendio Cartográfico Proyectos e Instalaciones de Generación Eléctrica en Chile, del Ministerio de Energía, se observa que la mayor parte de ellos se encuentra en las zonas agrícolas del Valle Central (Figura 2), debido a que estas cumplen plenamente los criterios utilizados por las empresas generadoras para localizarlos. Estos

criterios concuerdan con los mencionados por Sargentis et al. (2021) para Grecia, quienes además señalan que estas condiciones coinciden con los suelos agrícolas de mayor producción. Estos se resumen en:

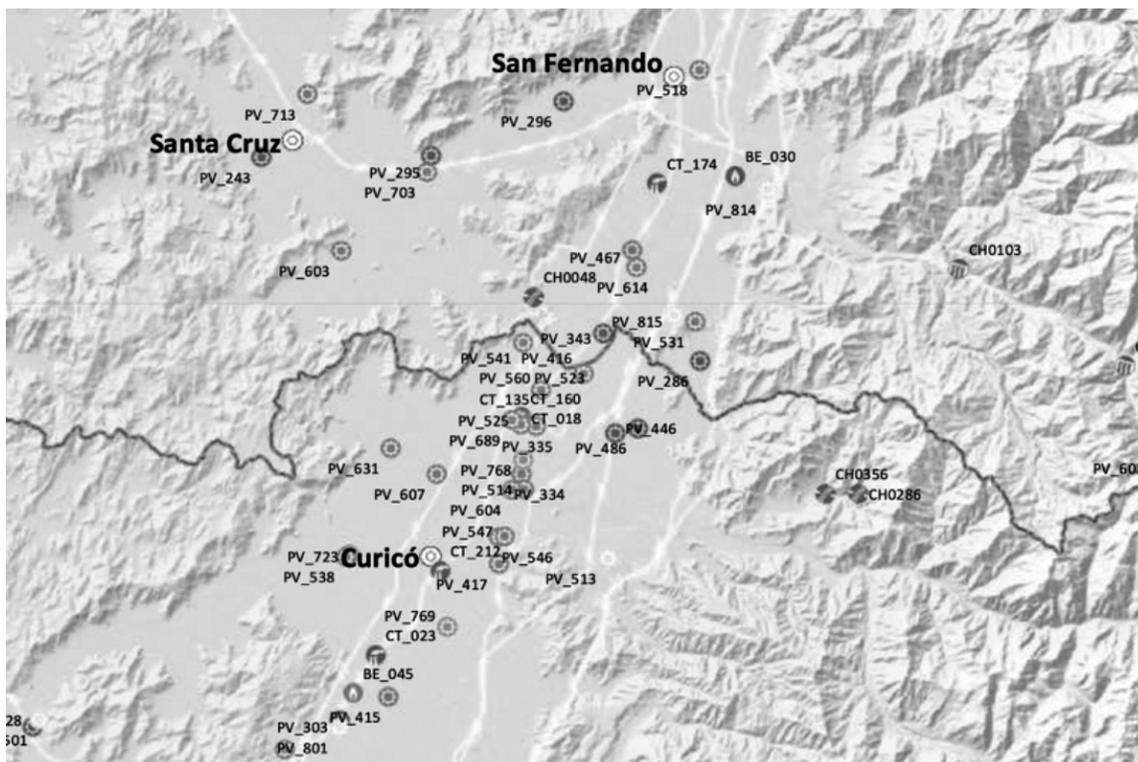
- El emplazamiento debe estar en zonas de alta radiación, condición que se da en todo el valle central.
- Ubicación no cercana a cerros que proyecten sombra a ciertas horas del día.

⁶ En agosto de 2021, Sergio Guzmán, gerente de Interconexión de la empresa Solek, señaló: "A fines de 2022 queremos tener 300 MW instalados y 500 MW listos para construir bajo el régimen actual de precio estabilizado" (Ministerio de Energía, 2021).

- Instalación en lugares relativamente planos, ya que disminuye el costo y aumenta la eficiencia de los paneles.
- Emplazamiento a una distancia no mayor a 10 o 15 km de las líneas de transmisión o distribución, en el caso de los proyectos que corresponden a “Pe-

queños Medios de Generación Distribuida” (PMGD), ya que tendidos mayores lo encarecen significativamente. Los PMGD son proyectos menores a 9 MW (equivalentes a parques de 25-30 hectáreas) y son los más frecuentes en esta zona.

Figura 2. Emplazamiento de generación eléctrica del valle central de la zona sur de la Región de O’Higgins y zona norte de la Región de Maule (diciembre, 2020)



Fuente: Compendio Cartográfico Proyectos e Instalaciones de Generación Eléctrica en Chile (Ministerio de Energía, 2020a).

Nota: En blanco línea de transmisión. Los símbolos de sol representan el número de proyectos FV operativos, en construcción, aprobados y en etapa de calificación.

En el caso de los proyectos eólicos, el criterio principal para elegir la ubicación es la condición de zona ventosa; en segundo lugar, la posibilidad de transmitir la energía generada (que exista capacidad ociosa en las líneas de transmisión cercanas hasta los centros urbanos). Estos proyectos se ubican principalmente en zonas costeras, compiten menos con la agricultura y, al ser más espaciadas las torres, permiten un uso mixto. Sin embargo, no siempre es así. En opinión de profesionales del Ministerio de Energía de la Región del Biobío, las zonas con potencial de viento en esta región se encuentran en áreas agrícolas de alto potencial, además cerca de la carretera y líneas de transmisión, como las localidades

de Cabrero, Negrete, Mulchén y Los Ángeles. A pesar de su gran potencia de generación, los proyectos eólicos son más complejos de instalar. Tienen un alto costo de inversión, su instalación requiere contar con vías de acceso factibles para transportar los enormes equipos y, como se mencionó, deben estar cercanos a redes de transmisión con capacidad ociosa. Además, en opinión de los profesionales, son poco aceptados por las comunidades cercanas, especialmente por el ruido, sombra, impacto visual o razones culturales. En la Tabla 2, se presentan los proyectos eólicos en sus distintas etapas para las regiones seleccionadas.

Tabla 2. Capacidad en MW de los proyectos eólicos, según su etapa para las regiones seleccionadas

Región	Operativos	En prueba	En construcción	Aprobados	En calificación	Total
Valparaíso				69	63	132
Metropolitana						
O'Higgins	18		50	109	245	422
Maule						
Ñuble						
Biobío	157	9	373	843	1.227	2.608
Araucanía	387		417	1.143	293	2.240
Total (MW)	562	9	840	2.164	1.828	5.402

Fuente: elaboración propia en base a datos entregados en Compendio Cartográfico Proyectos e Instalaciones de Generación Eléctrica en Chile, datos a diciembre 2020 (Ministerio de Energía, 2020a).

2.2 Normativa y categorías de proyectos

El Estado de Chile ha impuesto al sector energético transformar parte de su matriz en ERNC a través de la Ley N° 20.257, promulgada el año 2008⁷. Además, ha incentivado a otros sectores de la economía a invertir en ERNC a través de la Ley de Net Billing⁸. Las regulaciones de estos proyectos dependen en parte de su tamaño. Dentro de los proyectos de menor escala están los PMGD que, como se mencionó, son los más relevantes para las zonas agrícolas. Los PMGD tienen dos ventajas: pueden conectarse a la red de media tensión de las empresas distribuidoras y tienen derecho a vender la energía que evacuen al sistema a costo marginal instantáneo, pudiendo acceder al mecanismo de estabilización de precios, lo que es una ventaja para los generadores⁹.

Por otra parte, todo proyecto mayor a 3 MW debe someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), sistema en el que el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) tiene dentro de sus competencias evaluar los impactos de dichos proyectos sobre el componente ambiental suelo y pronunciarse respecto del Permiso Ambiental Sectorial (PAS) 160, que corresponde a un permiso sectorial mixto¹⁰.

Adicionalmente, el SAG debe autorizar el cambio de uso

del suelo cuando se trata de zonas rurales a través del permiso IFC (Informe de Factibilidad de Construcciones ajenas a la agricultura). Se destaca que el permiso IFC aplica a todos los proyectos fotovoltaicos, independientemente de su tamaño. Los criterios para aplicar esta norma se encuentran contenidos en la Circular 296/2019 del SAG, la que establece criterios técnicos y otros complementarios a considerar, tales como: vocación agrícola en suelos no priorizados por el SAG y criterio de interés nacional (ejes estratégicos de desarrollo nacional, políticas públicas, y razones de bien común). Atendiendo a ellos, el director regional respectivo podrá acoger o denegar la solicitud de IFC (SAG, 2021).

Por su parte, el SEIA elaboró la Guía trámite PAS 160¹¹, herramienta que tiene por finalidad dar coherencia a las exigencias del PAS160 y los requisitos del trámite IFC (otorga coherencia entre lo ambiental y lo sectorial). En opinión de los profesionales del SAG consultados, esta guía permite que el informe de descripción de atributos del recurso suelo para su evaluación en el ámbito ambiental (PAS 160) contenga los mismos elementos necesarios para la evaluación técnica del permiso sectorial (IFC), además de dar el debido conocimiento a los titulares de proyectos

7 La Ley N° 20.257, ampliada en 2013 a través de la Ley N° 20.698, establece que cada empresa eléctrica con capacidad sobre 200 MW deberá acreditar que un porcentaje de su inyección al sistema proviene de ERNC, dependiendo del año de entrada en operación. Este porcentaje va aumentando gradualmente cada año, alcanzando el 20% en 2025.

8 La Ley de Net Billing (Ley N° 21.118), promulgada en 2018, que impulsa la generación distribuida, ha incentivado la participación de particulares no pertenecientes al sector energético en la autogeneración eléctrica a menor escala y la entrega al sistema de sus excedentes.

9 Proyectos mayores a 9 MW venden su generación al precio *spot* (equivalente al costo marginal de producción de cada momento proveniente del ajuste de la oferta a la dinámica de la demanda).

10 Es necesario aclarar que los PAS corresponden a aquellos permisos o autorizaciones sectoriales que otorgan los órganos de la administración del Estado con competencias ambiental (OAECA) y que tienen un objetivo de protección ambiental. Al ser el PAS 160 un permiso mixto, presenta contenidos ambientales y no ambientales (contenidos sectoriales). Los primeros deben ser evaluados en el marco SEIA y los contenidos no ambientales se evalúan sectorialmente, siendo requisito para su aprobación la notificación de la Resolución de Calificación ambiental favorable.

11 Guía trámite PAS 160 del SEA. Disponible en: https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/03/13/guia_sea_pas_160_web.pdf.

sometidos al permiso ambiental de los lineamientos en la tramitación sectorial, como por ejemplo, otros criterios no ambientales a tener presente por el Director Regional del SAG para resolver de mejor manera las solicitudes de IFC. Este es el caso de los Compromisos Ambientales voluntarios (CAV) para proyectos sometidos al SEIA que generan impacto no significativo desde el punto de vista ambiental, pero que conllevan pérdida temporal de uso agrícola de suelos productivos, como son los proyectos fotovoltaicos o actividades de instalación de faenas, entre otros¹².

Dentro de los criterios en el marco del SEIA que determinan la no significancia de impactos es que las obras sean temporales, que no consideren en su estándar constructivo escarpe de terreno y que no afecten las propiedades físicas y químicas del suelo. Solo en estos casos aplica el concepto de Compromiso Ambiental Voluntario (CAV), el cual obedece a medidas que se hacen cargo de impactos no significativos.

Cabe destacar que la circular 296/2019 del SAG hace especial mención a los proyectos FV o de instalación de faenas evaluados en el marco del SEIA, los que deben cumplir con las siguientes características (SAG, 2019):

- No alteren la profundidad efectiva ni la estratificación original del suelo.
- Presenten compromisos voluntarios por pérdida temporal de uso, cuyas medidas tengan por objeto mejorar de forma efectiva y permanente las características productivas de otros suelos que se encuentren imposibilitados de ser utilizados productivamente o con limitaciones que restrinjan su uso a períodos acotados en el año, y que esta mejora sea al menos en igual cantidad de superficie que la involucrada por el proyecto.
- Contemplan, además, como parte del compromiso, incorporar los suelos en los que se emplace el proyecto a la actividad agropecuaria una vez terminado el plazo de operación.

Los proyectos eólicos -como son los proyectos fotovoltaicos o actividades de instalación de faenas- no generan pérdida temporal de uso agrícola de suelos productivos, por lo cual no deben presentar CAV. Solo en el caso de aquellos que se encuentren ubicados en superficie de prioridad para el Servicio y que causen impacto significativo por pérdida de suelo o pérdida de su capacidad para mantener biodiversidad, se debe presentar compensación de suelo.

2.3 El modelo de negocio para los agricultores y sus motivaciones

Las empresas generadoras o empresas desarrolladoras de proyectos identifican predios agrícolas que cumplen con los criterios mencionados y ofrecen a los dueños un arriendo por 25 a 30 años (equivalente a la vida útil de los paneles) por una tarifa fija anual. Al final del contrato, los suelos deben ser devueltos en las mismas condiciones productivas iniciales¹³.

Hasta la fecha, la mayor parte de estos arriendos se ha realizado en predios donde ha ocurrido una disminución significativa de la producción debido a la escasez hídrica. Los montos acordados van desde 1,2 a 2,5 MM\$/ha anuales dependiendo de los méritos del predio, su entorno y el costo alternativo del agricultor (cifras aportadas por agricultores entrevistados). En opinión de profesionales del Ministerio de Agricultura de la Región de Valparaíso, estos montos resultan muy atractivos para muchos agricultores, ya que superan la rentabilidad de muchos cultivos y son significativamente superiores a un arriendo normal por terrenos agrícolas.

Al ser consultados, los agricultores señalan que sus motivos para arrendar parte de su tierra en vez de producir son:

- El arriendo es un ingreso seguro por varios años.
- Debido a la crisis hídrica, conviene concentrar el agua en otras partes del predio.
- Existen dificultades para encontrar mano de obra para las labores agrícolas.

12 Proyectos <3 MW en suelos prioritarios podrán ser rechazados por el SAG al no otorgarles el permiso IFC. En proyectos de mayor tamaño “el pronunciamiento del SAG en el SEIA, referido al PAS 160, ... pese a que el titular cuente con RCA favorable (y no obstante de haberse pronunciado negativamente el SAG, en lo que respecta al PAS 160), el órgano sectorial (SAG) conserva sus competencias sectoriales y podrá emitir un IFC favorable o desfavorable fundado en razones no ambientales de carácter sectorial” (Ahumada, 2021).

13 Un creciente número de agricultores está incorporando paneles solares en sus instalaciones agropecuarias para satisfacer sus necesidades productivas. Pequeños agricultores son ayudados por INDAP y la Comisión Nacional de Riego (CNR) para mejorar sus instalaciones de riego (Velasco, 2017). Los sistemas FV son una solución muy atractiva para las actividades agrícolas, ya que la mayor demanda eléctrica está dada por el riego, que se aplica justo en las estaciones de primavera y verano cuando hay mayor radiación solar. La inversión inicial es el único costo importante, ya que su funcionamiento representa costos mínimos (Induambiente, 2020). La participación del sector agrícola en el sistema de Net Billing también ha aumentado en forma muy importante en los últimos años, desde 6% en 2015 a 28% en 2020 (CNE, 2020b). En estos casos no existe un trade off entre producción agrícola y generación eléctrica, por lo que no son materia de preocupación y no forman parte de este análisis.

- El cambio climático hace más riesgosa la actividad agrícola.
- No requiere trabajar ni preocuparse, solo se cobra.
- Existe un cambio generacional de los titulares de los predios, las personas más jóvenes no quieren ser agricultores.
- Algunos rubros han disminuido su rentabilidad, haciendo los arriendos más atractivos.

3. Drivers de la conversión de suelos agrícolas a ERNC

A partir de los antecedentes señalados, se identificaron seis factores cuyas tendencias impulsarían nuevas inversiones en ERNC en zonas agrícolas:

1. El aumento significativo de la demanda por energía eléctrica para los próximos años, sumado a las metas de conversión de generadoras a energías fósiles.
2. La escasez hídrica disminuye la participación de las hidroeléctricas en la generación (tanto las de embalse como las de pasada). Las generadoras deberán compensar esta menor oferta con nuevas alternativas ERNC, donde los FV y eólicos son las más factibles.
3. Mayor oferta de predios agrícolas disponibles a la conversión frente a la riesgosa situación de escasez hídrica. Mientras más se dificulta la producción agrícola, más atractivo será el arriendo de tierras, mejorando la rentabilidad de los ERNC. Sin embargo, la creciente parcelación de suelos agrícolas podría afectar la oferta de tierras en ciertas localidades¹⁴.
4. El menor costo de los equipos FV hará la inversión más rentable (Induambiente, 2020). En opinión de Velasco (2017) el costo de los paneles se ha reducido en un 60%, pudiendo aumentar su rentabilidad en comparación a hidroeléctricas de pasada. Farja y Maciejczak (2021) señalan que el costo ha disminuido en un 82% si se considera la mayor eficiencia. El costo de almacenamiento de la energía también ha caído, permitiendo que los FV compitan

con las generadoras tradicionales. Este menor costo posibilitará que el negocio siga siendo atractivo a pesar del menor monto de las licitaciones, en opinión de profesionales de las empresas generadoras.

5. La industria de hidrógeno verde en el país es otro factor que fomentará el desarrollo de ERNC, ya que se producirá con generación eólica y solar, y será un gran impulsor para nuevas inversiones, en opinión de los profesionales del sector energético¹⁵.
6. La Ley de Generación Distribuida ha tenido mucha aceptación y es un factor que incentiva mayores instalaciones. La capacidad instalada bajo este concepto aumentó en forma exponencial en los últimos años de 1.042 MW (2015) a 42.026 MW (2019) y, posteriormente, a 73.506 MW (2020)¹⁶.

Por otra parte, también se detectan dos hechos que podrían disminuir el ritmo de crecimiento. El primero es que en mayo de 2022 finaliza el DS88/2020 que ha incentivado los proyectos PMGD al otorgarles una tarifa estabilizada; al concluir podría ralentizar solo en parte nuevos desarrollos, en opinión de los profesionales del sector energético privado. El segundo es que los valores de las concesiones licitadas han ido disminuyendo en forma importante en los últimos años. La planificación a largo plazo indica que los precios deberían seguir bajando.

Un último factor —que puede actuar como impulsor o bien como obstaculizador para el crecimiento y la distribución geográfica de los ERNC— es la construcción de nuevas líneas de transmisión. Hoy son una condicionante para la generación, en opinión de profesionales de las empresas del sector. Por ejemplo, los profesionales de la Seremi de Energía del Biobío entrevistados opinan que el crecimiento de parques eólicos en la zona de Arauco se ha visto limitado, porque las líneas de transmisión presentes no tienen mayor capacidad para conducir la energía generada. Estas líneas, además de tener un alto costo de inversión, deben atravesar una vasta zona rural, con baja aceptación de los vecinos; ambas consideraciones dificultan su expansión.

Se puede apreciar que aquellos factores que motivan el

14 Publicado en La Discusión (5/6/2021). Disponible en: <https://www.ladiscusion.cl/parques-solares-comienzan-a-disputar-suelo-agricola-en-nuble/>

15 Entre 2025 y 2030 el país espera activar la industria y desarrollar la exportación de hidrógeno verde (Ministerio de Economía, 2020b). Actualmente se están evaluando más de 40 proyectos pilotos de hidrógeno verde en Chile. Se ha señalado que “a partir de energías renovables, como la eólica y la solar, algunos proyectos producirán hidrógeno verde para ser usado como energético y otros para generar derivados como el amoníaco, metanol y otros combustibles verdes”. Publicado en Revista Electricidad (19/03/21). Disponible en: <https://www.revistaei.cl/2021/03/19/hidrogeno-verde-los-avances-del-grupo-de-18-embajadores-para-impulsar-proyectos>.

16 El sector agrícola incrementó su participación en este tipo de desarrollo de un 6% en 2015 a 28% en 2020 (CNE, 2020b).

crecimiento de los parques de ERNC tienen un mayor peso que aquellos que podrían estar trabando su avance. Funcionarios del Ministerio de Energía señalan que estos son proyectos muy rentables y hay gran interés de los privados nacionales y extranjeros. El Ministerio promueve el desarrollo de las ERNC, apoyando y agilizando los procesos para que se desarrollen dentro de las normativas ambientales y sectoriales.

4. Efectos económicos, sociales, ambientales y potenciales conflictos

4.1 Efectos socioeconómicos

En la medida que crece el interés por invertir en proyectos ERNC, estos han ido avanzando desde el desierto del norte hacia los valles agrícolas de la Zona Central. En este contexto, los proyectos PMGD son los que tienen mayor penetración, ya que por su menor tamaño se pueden localizar más fácilmente. Hasta la fecha, esta ocupación no manifiesta conflictos económicos o sociales en el sector agropecuario. De hecho, los agricultores entrevistados de las regiones de Valparaíso y Metropolitana opinaron que el interés de las generadoras por establecerse en zonas rurales ha sido una solución económica a los problemas que están viviendo por la falta de agua. Muchos de estos predios apenas generaban ingresos y otros estaban por ser abandonados. Incluso, a algunos agricultores les preocupa que se impongan restricciones que dificulten el acceso a estos arriendos¹⁷.

Son puntuales los testimonios que manifiestan una sustitución de producción agrícola por generación eléctrica, en zonas con potencial. Por ejemplo, en la Región de Ñuble, si bien la mayoría de los parques solares se están emplazando en terrenos con poco potencial agrícola, ya se han comenzado a observar algunos proyectos que “sacrificarán” suelo con aptitud agrícola. El vicepresidente de la Asociación de Agricultores de Ñuble sostuvo que “la rentabilidad de los proyectos solares es mayor que la de una forestal o de una situación de rulo, pero no es mucho mejor que de un buen suelo agrícola, entonces, me parecería muy raro que se estén usando terrenos de buena calidad agrícola para estos proyectos. Hasta ahora he visto pocos. Parece más preocupante la

transformación en parcelas de agrado, porque eso está floreciendo por todos lados”¹⁸.

Para los profesionales entrevistados de la Secretaría Regional Ministerial (Seremi) de Agricultura de la Región de Valparaíso de la anterior administración es importante comprender el contexto de lo que está sucediendo en su región. Señalaron que “hoy hay 60.000 hectáreas de secano, las cuales hace ya casi 10 años no son productivas por falta de agua. Mientras no se pueda dar seguridad de riego a los agricultores, no es posible defender los suelos agrícolas. En esta región se solicita que las CAV consideren medidas que permitan mejorar la seguridad de riego o aumenten la superficie regada con sistemas eficientes”. En este caso, la autoridad regional busca que los titulares de los proyectos FV colaboren con el problema hídrico de la Región de Valparaíso. La visión es que mientras la región no solucione sus problemas hídricos, a través de proyectos de desalinización o embalses, no se les puede negar a los dueños de los predios una rentabilidad económica. Los profesionales mencionan que el cambio de agricultura a campos FV no ha producido ningún impacto en el empleo agrícola, ya que ello se produjo antes debido a la sequía. Sin embargo, si los campos FV siguen aumentando, las CAV deberán ser realizadas dentro de la misma comuna para no producir efectos de desempleo¹⁹.

Cuando se hace un proyecto FV en un suelo de alto valor, en opinión de profesionales del SAG, suceden dos cosas: el dueño del predio recibe un arriendo y otros agricultores de la zona reciben el beneficio de mejorar sus suelos o condiciones productivas, principalmente a través de proyectos de seguridad de riego. Añaden que a los desarrolladores les ha costado visualizar al suelo con una mirada productiva y no tan solo como una superficie; sin embargo, esto no ha sido una limitante²⁰. Lo que puede resultar más complejo es encontrar suelos para compensar dentro de la misma región y esto podría, en el futuro, tener un efecto de autorregulación.

Por su parte, profesionales vinculados a la generación eólica señalaron que a veces se producen conflictos con la comunidad, porque la relación que establece la “desarrolladora” es distinta a la que entablaría una “generado-

17 Algunos agricultores comentaron que la obtención de los permisos en el SAG fue difícil, por ser suelos de alta capacidad; sin considerar adecuadamente las malas condiciones productivas en que se encuentran hace más de 10 años, obligándolos a realizar compensaciones. En cambio, otros mencionan un entendimiento de las condiciones de parte de la autoridad.

18 Publicado en La Discusión (5/6/2021). Disponible en: <https://www.ladiscusion.cl/parques-solares-comienzan-a-disputar-suelo-agricola-en-nuble/>

19 Publicado en La Discusión (5/6/2021). Disponible en: <https://www.ladiscusion.cl/parques-solares-comienzan-a-disputar-suelo-agricola-en-nuble/>

20 Es necesario considerar al suelo como un ecosistema que provee múltiples servicios, entre ellos la captura de carbono, lo que no sucede con campos FV, aclaran los entrevistados.

ra²¹. La primera podría no ver los efectos posteriores que puede causar en sus vecinos; en cambio, las generadoras buscan relacionarse con sus vecinos desde el inicio (con municipios o juntas vecinales) y de estas conversaciones tempranas puede surgir la necesidad de rediseñar parte del proyecto²¹.

La mayoría de los entrevistados coincide en señalar que los conflictos se producen por la falta de un ordenamiento territorial. De acuerdo al académico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Dr. Raúl Cerda, si hubiese un ordenamiento territorial los paneles FV no deberían estar en suelos agrícolas. Si bien es más rentable instalarlos cerca de las líneas de transmisión y los centros de consumo, esto tiene un costo social, que las empresas de generación no internalizan. Se impone solo el criterio económico y no se obliga al inversionista a que internalice esta externalidad (Induambiente, 2020). Cabe mencionar que no existen estadísticas del tipo de suelo agrícola que se ha convertido a ERNC cada año; esto impide un monitoreo de la situación. Actualmente la única fuente disponible es la información presentada al SEIA.

4.2 Efectos ambientales en los ecosistemas

Los estudios relacionados con los efectos del desarrollo de la energía solar sobre los ecosistemas y la biodiversidad dan cuenta de que la pérdida y cambio de hábitats se vinculan con proyectos de grandes superficies. Estos modifican y fragmentan los hábitats en el proceso. Asimismo, se ha reportado que la infraestructura de apoyo, como carreteras de acceso, así como el requisito de espacio de los paneles pueden hacer que el área real requerida para las instalaciones de energía solar sea hasta 2,5 veces el área de los propios paneles (Turney et al., 2011), convirtiéndose en una barrera para el movimiento de especies y la disponibilidad de alimentos (Turney et al., 2011; Hernández et al., 2014; Northrup et al., 2012). Adicionalmente, se ha reportado mortalidad directa de aves por colisiones con los espejos solares y quemaduras por rayos solares (McCrary et al., 1986). Por otro lado, Horváth et al. (2009; 2010) observaron que la luz polarizada que se encuentra en instalaciones puede confundir a insectos y hacer que pongan sus huevos en

el panel, afectando sus posibilidades de reproducción.

En el caso de la energía eólica, la puesta en marcha e instalación de la infraestructura puede causar una pérdida de área en el hábitat que puede ser directa, ya sea por el uso de suelo al instalar las torres, o indirecta, porque especies de aves y murciélagos evitarían las áreas alrededor de las instalaciones (Tabassum et al., 2014; Schuster et al., 2015). Sin embargo, estudios realizados por Devereux et al. (2008) en Inglaterra no han encontrado un efecto significativo en la ocurrencia/avistamientos de varias especies, incluidas las aves invernantes en tierras de cultivo en parques eólicos. Resultados similares han sido reportados por Villegas-Patracca et al. (2012) para aves donde se han instalado parques eólicos en tierras de cultivo y bosques en el sur de México. Por otra parte, Agha et al. (2015) reportaron que para animales terrestres la existencia de estas instalaciones puede influir positivamente en su sobrevivencia, dada la mayor disponibilidad de recursos y la disminución de las poblaciones de depredadores que se ha observado en las instalaciones de energía eólica.

Algunos entrevistados opinan que los campos FV de menor tamaño producen menos efectos ambientales que la producción agrícola, que usa plásticos y plaguicidas. Sargentis et al. (2021) coinciden que la producción agrícola está asociada a mayores efectos de degradación de suelos, erosión, pérdida de biodiversidad y contaminación. Por su parte, el SAG está tratando de comprometer a los titulares que realicen un seguimiento de las condiciones del suelo que se encuentra bajo un panel solar, ya que no hay mayor conocimiento de qué va a suceder con este luego de varios años al descubierto y bajo un panel solar.

5. La coexistencia

5.1 Los sistemas agrovoltaicos (AV)

Los sistemas AV combinan el uso simultáneo de áreas de tierra tanto para la generación de energía FV como para la agricultura. Esta combinación implica que tanto el diseño tecnológico de los paneles FV como los métodos de producción agrícola deben ser adaptados. Los

21 Los conflictos varían según la localidad, una parcelación urbana o comunidades indígenas tienen distintos requisitos. Por ejemplo, si se establece un condominio en una zona rural, la empresa generadora eólica debe cumplir con la norma de ruido y apagar las turbinas a ciertas horas. A los problemas más habituales, ruidos y sombra, se pueden sumar los de tipo cultural (impacto en el paisaje o cosmovisión de las comunidades vecinas). Estos conflictos sociales terminan siendo más relevantes porque son más difíciles de subsanar que los ambientales, que resultan ser más objetivos. En estos casos la Seremi de Energía busca actuar como garante del diálogo entre vecinos. Las líneas de transmisión molestan mucho a los vecinos, más que los propios parques.

sistemas AV están altamente alineados con el concepto WEF (Water Energy Food) y el desarrollo sustentable (Zainol et al., 2021). Estas iniciativas han demostrado ser factibles en cultivos que toleran sombra y ser beneficiosos para la eficiencia de los FV²². A pesar de que los resultados reportados son alentadores, Sargentis et al. (2021) señalan que estos esquemas sinérgicos son económicamente efectivos bajo ciertas condiciones climáticas (zonas áridas y semiáridas) o en lugares con alta competencia por la tierra.

Zainol et al. (2021) exponen el concepto de Razón de Tierra Equivalente o LER (Land Equivalent Ratio) como método para medir la eficiencia en el uso simultáneo de cultivo y generación eléctrica, donde:

$$\text{LER} = (\text{BFAV} / \text{BFC}) + (\text{EAV} / \text{EFV})$$

BFAV es la biomasa fresca en un sistema AV

BFC es la biomasa del control (agricultura tradicional)

EAV es la energía producida bajo el sistema AV

EFV es la energía producida bajo FV tradicional

Si LER es >1 indica que la combinación AV es más eficiente que tener ambas producciones (agricultura y energía) por separado. Utilizando este concepto concluyen que incorporar la agricultura y la energía en la misma superficie puede ser adecuado en suelos de menor productividad, haciendo ajustes no menores. Farja y Maciejczak (2021) coinciden con estos resultados. Campos de pastoreo y suelos de labranza reportan varios efectos sinérgicos como rentabilidad económica, producción de energía para autoconsumo y beneficio para la vida silvestre; en cambio, otros estudios han demostrado que instalaciones AV cambian el paisaje, potencialmente provocan disrupción del ecosistema y reducen la producción agrícola (Chiabrando et al., 2009; Pascaris et al., 2020; y Chel y Kaushik, 2011; citados por Farja y Maciejczak, 2021).

De acuerdo a las experiencias reportadas por Enel Green Power (2019), existen una serie de beneficios en los campos AV: la sombra de los paneles solares permite un uso más eficiente del agua, además de proteger las plantas del sol durante las horas de más calor. Los investigadores creen que, en el futuro, los sistemas AV pueden ayudar a compensar el impacto de las condicio-

nes climáticas extremas al reducir el uso de agua, aumentar la producción de alimentos y limitar los efectos negativos del calor en los paneles solares. Además, para los agricultores, la combinación de la generación solar y el cultivo podría proporcionar una fuente de ingresos constante y representar una relación positiva a largo plazo con todas las partes interesadas. Zainol et al. (2021) reportan los siguientes beneficios utilizando las tecnologías AV en distintos países de Europa, América y Asia:

- Aumenta el retorno económico total.
- Los cultivos que rodean la estructura solar ayudan a reducir la temperatura del ambiente, creando un microclima donde la temperatura se reduce de 1 a 2 °C, mejorando la eficiencia de los paneles FV.
- Los paneles FV deben ser lavados regularmente para mantener su eficiencia. Esta agua es aprovechada como riego para los cultivos.
- Las emisiones de CO₂ son absorbidas por los cultivos, mejorando la reducción de este gas.
- Los paneles solares entregan un buen efecto sombra a plantas que no toleran bien el sol directo.
- Los sistemas AV son una mayor fuente de trabajo.
- Los sistemas AV aumenta la recaudación de impuestos.

Según Zainol et al. (2021), la producción solar podría compensar la demanda mundial de energía si menos del 1% de las tierras de cultivo se convirtieran a un sistema AV. Actualmente hay avances en FV bifaciales, semitransparente y *solar tracking*, que hacen más fácil su convivencia con la producción agrícola. Dada la importancia del agua en la agricultura, los futuros avances tecnológicos deben considerarla de manera balanceada, sin que afecte las estructuras solares.

Por una parte, el hecho de convertir parte de la tierra del agricultor a producción FV disminuye el riesgo propio de la agricultura, lo que hace esta opción preferible a varios cultivos (Farja y Maciejczak, 2021). Sin embargo, esta opción no es fácil, ya que su retorno económico es de largo plazo y dependerá de la capacidad de inversión y aversión al riesgo de los agricultores. Los desarrolladores de sistemas AV, investigadores y autoridades deben comprender el nexo WEF y considerar los sistemas AV para su éxito, así como también la aceptación de la ciudadanía.

²² Thompson et al. (2020) analizaron distintos niveles de tintes en los paneles FV en sistemas mixtos con especies tolerantes a la sombra (albahaca y espinaca) y concluyeron que los AV pueden incrementar el portafolio productivo de los agricultores, mitigar los riesgos asociados al clima y producir electricidad sin afectar mayormente la producción agrícola.

En Chile, el estudio de los sistemas AV es incipiente. No obstante, los profesionales de las empresas generadoras entrevistadas señalaron tener gran interés en darle un doble propósito al suelo. En su opinión, la adopción va a depender de las tecnologías que aparezcan en los próximos años, investigación, financiamiento y visibilización del tema. Actualmente están utilizando paneles bifaciales, pero desconocen qué cultivos pueden asociarse a ellos. Consultados los profesionales de los ministerios de Energía y de Agricultura sobre la existencia de una política para el fomento de sistemas AV, ambas carteras señalan que hasta la fecha no existe y que hay poca experiencia a nivel nacional.

5.2 El Ordenamiento Territorial (OT) en el contexto de este estudio

Todos los entrevistados coinciden en señalar la necesidad de contar con un instrumento de OT que permita un desarrollo equilibrado y evite conflictos. El OT es una herramienta que da certeza y crea un piso de confianza, opinan los profesionales vinculados a las empresas de generación. Un proyecto puede ser instalado en una situación y cinco años más tarde esta situación cambia y comienzan los conflictos. El OT debiera determinar dónde está el potencial energético, dónde está el potencial agrícola y dónde estará la expansión urbana. Este debe ser articulado, en un plan integrado que in-

cluya los intereses locales. Por ejemplo, si una comuna tiene vocación turística, no deben instalarse turbinas ni paneles FV que alteren el paisaje. En esta materia también deben incluirse las líneas de transmisión.

Un ejemplo de uso de OT es la metodología seguida por Dias et al. (2019) en el municipio Évora en Portugal. Ahí se definieron las zonas donde pueden establecerse proyectos FV, considerando la necesidad de resguardar la producción agrícola y lo que ella representa. En primer lugar, utilizando información geográfica y satelital (pendiente y exposición solar), se establecieron las áreas donde hay factibilidad técnica para cuatro tamaños de proyectos FV (1, 10, 20 y 30 MW) y dos tipos de tecnología (FV-track y CPV). A esta información cartográfica le sumaron una capa geográfica con los terrenos que tienen alguna regulación restrictiva y la de escenarios competitivos (zonas de cultivos y forestales). Como el sector agroforestal juega un rol importante en la economía y cultura comunal, se definieron categorías de explotaciones, basada en su importancia estratégica para la economía local y nacional; y según esto, se clasificaron como área factible para FV o no factible para FV. El valor socioeconómico del uso, así como los porcentajes de la tierra otorgados para cada uno fueron criterios para priorizar. Entonces se establecieron tres escenarios: (1) Pro FV, (2) Equilibrado y (3) Pro rural. La Tabla 3 muestra la decisión tomada para cada caso.

Tabla 3. **Criterio utilizado para permitir el cambio de uso de suelo de rural a FV en el municipio de Évora**

Terrenos silvoagropecuarios	Escenarios para cambio de uso		
	Pro FV	Equilibrado	Pro rural
Viñedos	No susceptible de cambio		
Bosque de alcornoques			
Mezcla de cultivos y bosque de alcornoques			
Pradera pobre de pastoreo	Susceptible de cambio	Susceptible de cambio	Susceptible de cambio
Monte			
Pradera xerófila			
Suelo sin cubierta vegetal			
Cereales de secano y de riego			
Mezcla de arbustos mediterráneos			
Cultivos con ocupación de tierra menor al 50%			
Cultivos con ocupación de tierra mayor al 50%			

Fuente: elaboración propia en base a Dias et al., 2019.

El resultado es una cartografía donde quedan bien definidos los lugares en que es permitido ejecutar proyectos de mayor o de menor tamaño para cada una de las tecnologías analizadas. Cada área además se identifica con el tipo de desarrollo permitido (Pro-FV, Equilibrado o Pro-rural). El resultado en este caso fue que los parques de menor tamaño presentan una superficie mucho mayor en la cual pueden instalarse y operar; en cambio, las instalaciones mayores, a pesar de que producen una gran cantidad de energía, presentaron muchas limitaciones para su ubicación.

Los resultados de este estudio entregan valiosa información para los diferentes *stakeholders* –planificadores municipales, empresas privadas e inversionistas–, permitiendo localizar los sitios para la inversión en energías limpias. Los autores señalan que estudios futuros deben considerar las externalidades de los diferentes cultivos, así como también los beneficios financieros de los FV en esos suelos.

En Chile los planes de ordenamiento territorial hasta la fecha no incluyen zonas para desarrollo energético. Los profesionales entrevistados de las diferentes Seremi de Energía concuerdan con la necesidad de establecer polos de desarrollo para la generación eléctrica.

6. Análisis de la situación proyectada

Hasta la fecha, el cambio de uso de tierras agrícolas a ERNC ha sido por conveniencia económica para los agricultores chilenos. Una hectárea en arriendo a ERNC entrega mayor renta y seguridad bajo las condiciones áridas y semiáridas imperantes actualmente en muchas zonas agrícolas. Dada la alta demanda por ERNC, su expansión podría seguir avanzando en los valles hasta zonas donde la renta de ambos usos se equipare, lo que estará mayormente determinado por las condiciones hídricas²³. En distintos países se ha observado que bajo condición semiárida la producción de las ERNC supera en retorno económico a la mayor parte de los cultivos presentes²⁴.

Sin embargo, es importante considerar que la **actividad agrícola tiene un valor social** por sobre el precio de mercado de sus productos. Es una fuente de trabajo en el campo, agroindustrias y toda la cadena de valor; es la base que mantiene a las localidades rurales, evita el abandono de las tierras y la concentración poblacional en las ciudades, mantiene el sentido de pertenencia y la cultura de los habitantes rurales, presta servicios ambientales y, lo que es más importante, ofrece seguridad alimentaria y desarrollo productivo. Si bien la energía es esencial para el desarrollo, esta no es comestible; por tanto, la seguridad alimentaria deberá ir primero (Sargentis et al., 2021; Farja y Maciejczak, 2021). Por su parte, los servicios que brinda la energía también son cada vez más relevantes y de alto impacto social (seguridad, operación de los sistemas digitales, comunicación y muchos otros). Nuestra sociedad moderna se ha desarrollado en torno a la energía y gran parte de la ciudadanía es dependiente de ella. En ambos casos, los valores sociales de estas actividades sobrepasan su valor de mercado y, por lo tanto, no debiese ser el mercado el único elemento en la asignación de tierras. No obstante, los sistemas productivos deben estar ajustados a su realidad hidroclimática, pues de lo contrario resultan dañinos e insustentables (Sargentis et al., 2021).

El presente estudio permite identificar dos factores clave que tienen alta incidencia en este cambio de uso y sobre los cuales el Estado puede actuar. En primer lugar, mejorar la seguridad de riego a los agricultores, permitiéndoles recuperar una rentabilidad que les posibilite vivir de esta actividad, dejando exclusivamente aquellas tierras que no tienen ninguna posibilidad agrícola para el cambio de uso. Existen una serie de acciones que han sido estudiadas, pero no se han ejecutado con la velocidad que se requiere (por ejemplo, recarga gestionada de acuíferos, uso de aguas grises, carreteras de agua, etc.).

Un segundo elemento es la localización de las líneas de transmisión. El alto costo de inversión para la transmisión predispone en gran medida la ubicación de los próximos parques ERNC. Si estas líneas fueran traza-

23 La optimización económica privada entre energía y agricultura, sujetas a la restricción de tierra disponible, se obtiene cuando el valor del producto marginal de la última hectárea destinada a la agricultura se iguala al valor del producto marginal de la última hectárea destinada a la producción de energía (Farja y Maciejczak, 2021).

24 Esto cambia en presencia de agua, donde cultivos de alta demanda hídrica y precio (como el kiwi) resultan más rentables que la producción de energía (Sargentis et al., 2021). Los análisis empíricos realizados en campos solares en Israel mostraron que los terratenientes elegirán la producción energética en sus tierras a menos que la producción agrícola muestre un inesperado mayor ingreso neto. Si a esto se le suma los servicios ambientales que la agricultura ofrece, el resultado sigue siendo el mismo. Al incorporar los beneficios producto de la disminución de gases invernadero por generación solar, aumenta aún más el bienestar social de los campos solares (Farja y Maciejczak, 2021).

das bajo una planificación de OT (con una visión de desarrollo económico social de largo plazo), permitiría aprovechar tierras que no tienen mayores alternativas productivas y evitaría otros conflictos. Además, al crear polos de desarrollo las generadoras y las empresas distribuidoras podrían alcanzar economías de escala, pudiendo cofinanciar de mejor manera estos nuevos trazados con ayuda del Estado.

El Ministerio de Energía ha generado una política para impulsar las ERNC, con normativas e incentivos claros, que ha resultado muy atractiva para los inversionistas. En contraste, el Ministerio de Agricultura, a través del SAG, posee dos herramientas normativas para la defensa de los suelos; aquellos con vocación agrícola a través del trámite IFC y defensa ambiental a través de los requisitos PAS160. Si bien estas normativas estarían cumpliendo su función, no queda claro si en el mediano plazo resultará suficiente respuesta frente a una política ministerial como es el caso de las ERNC. En este sentido, se espera de parte del Ministerio de Agricultura una política más global y de fomento a la actividad agrícola. Por ejemplo, la literatura extranjera reporta una situación win-win para los sistemas AV en zonas semiáridas. En Chile, a pesar de que la situación de aridez es creciente, no hay una política clara de fomento a la actividad agropecuaria, aparte del subsidio que otorga la

Ley de Fomento al Riego y al Drenaje (Ley N° 18.450) y que se encuentra administrada por la Comisión Nacional de Riego. El desarrollo de sistemas AV se ve como una alternativa de crecimiento de ambas actividades estratégicas, pero requiere de un empuje robusto desde el Estado, que considere fomentar la innovación, investigación, financiamiento, modelos de negocios y un cuidadoso análisis económico. Bajo un esquema de ordenamiento territorial, se podría definir aquellas comunas o sectores donde los sistemas AV sean parte importante de la respuesta a la crisis hídrica.

Consultados, a través de un taller, sobre un potencial conflicto con las ERNC, seis académicos e investigadores de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile determinaron que la actual situación agrícola debe analizarse desde una perspectiva más amplia, incluyendo otros factores relevantes (en la Tabla 4 se presenta el análisis FODA realizado). De este análisis se desprende que a pesar de que este sector cuenta con importantes fortalezas, la actividad agrícola está enfrentando una serie de dificultades que se suman y amenazan su permanencia. No obstante, también identificaron una serie de medidas para hacer frente a estos cambios, que se pueden agrupar en dos ejes principales: avances tecnológicos y una potente política proagro.

Tabla 4. Análisis FODA de la situación actual del sector agrícola en el contexto del desarrollo de ERNC

FORTALEZA (elementos positivos internos)	OPORTUNIDADES (elementos positivos externos)
<ul style="list-style-type: none"> • Actividad agroalimentaria y mercados internacionales bien desarrollados por su alta calidad. • SAG competente y validado internacionalmente. • IFC, CAV y PAS160 (operan para resguardar uso agrícola y biodiversidad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptaciones tecnológicas y genéticas del agro al cambio climático; especialmente sequía y mayor mecanización. • Desarrollo de sistemas AV (técnico y financiero). • Ordenamiento territorial. • Constante conquista de nuevos mercados.
DEBILIDADES (elementos negativos internos)	AMENAZAS (elementos negativos externos)
<ul style="list-style-type: none"> • Altamente dependiente del recurso hídrico y condiciones climáticas. • Exposición a los precios internacionales y tipo de cambio. • Bajo margen de rentabilidad en relación a otras actividades productivas. • Insuficientes políticas e infraestructura proagro. • Falta visión a escala de cuenca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio climático y creciente inseguridad de riego. • Baja disponibilidad de mano de obra por una baja valoración en el entorno rural. • Cambio de uso hacia parcelas de agrado. • Mejor rentabilidad de generación FV. • Robusta política pro ERNC por demanda creciente de energía. • Líneas de transmisión establecidas en valles agrícolas. • Falta de conocimiento de la actividad genera una imagen negativa de los impactos del agro.

Fuente: elaboración propia basado en taller realizado con académicos del Departamento de Fruticultura de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Por último, respecto de los efectos ambientales que se puedan producir, no parecen preocupantes en una primera instancia, dado que los parques FV presentes en las zonas agrícolas son de menor tamaño; sin embargo, los efectos de largo plazo sobre las características productivas del suelo todavía se desconocen. Debido a la larga vida de los proyectos, debiera realizarse un seguimiento de las condiciones productivas de estos suelos.

7. Recomendaciones

Dado que la agricultura posee una importancia estratégica nacional, es necesario contar con políticas al más alto nivel que la fomente y proteja, permitiendo además la descentralización y seguridad alimentaria del país. En primer lugar, resulta indispensable llevar a cabo, con prontitud, las acciones que otorguen la mayor seguridad hídrica posible en cada región de Chile.

En esta misma línea, existe consenso en las ventajas de contar con un ordenamiento territorial, que considere la situación hídrica mejorada de cada territorio y considere el progreso de las ERNC. Este ordenamiento permitirá polos de desarrollo, donde las empresas generadoras y distribuidoras alcancen economías de escala que compensen la lejanía a los centros de consumo, orienten y otorguen seguridad a los inversionistas y eviten conflictos futuros con los vecinos. Como las líneas de transmisión son un elemento gravitante para la ubicación de las ERNC, es importante además revisar su normativa y financiamiento; y cómo este elemento puede ayudar a un mejor desarrollo. De esta manera la sustitución de uso del suelo sería mínima.

Por su parte, los proyectos AV pueden convertirse en una solución relevante en las nuevas zonas semiáridas de las regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana. Este desarrollo requiere de apoyo a nivel interministerial, tanto del sector energía como del sector agrícola, ya que ambos sistemas deben ser modificados uno en relación con el otro para tener éxito. Se necesita financiamiento e investigación adaptada a cada zona. También será necesario orientar la participación de agricultores y generadores dentro de este proceso.

Hasta la fecha no se cuenta con suficiente información para evaluar si la normativa actual resulta suficiente para hacer contrapeso a la política de fomento a las ERNC. No obstante, se sugiere realizar un seguimiento de los suelos con ERNC ya instalados e investigar la evolución de los parámetros productivos (características físicas, fertilidad de suelo y biodiversidad local).

Por último, es necesario contar con una plataforma que actualice permanentemente la superficie agrícola convertida o aprobada para ERNC u otro uso (parcelas de agrado, por ejemplo) por tipo de suelo, que permita monitorear de mejor manera los equilibrios que se puedan plantear.

8. Comentarios finales

El cambio hacia una matriz energética renovable, menos contaminante y menos dependiente del recurso agua, es aceptado y valorado por la ciudadanía, que es mayoritariamente urbana en Chile. Mientras no existan cambios tecnológicos importantes, todo parece indicar que gran parte de este cambio será abastecido por fuentes solares y eólicas. En ese escenario, las ERNC sustituirán una proporción de suelo agrícola, especialmente en las zonas semiáridas. Por su parte, los agricultores no ven un conflicto en este momento; al contrario, parece ser un salvavidas económico, por ahora, en aquellas regiones más afectadas con la sequía y un seguro financiero para aquellas regiones con un poco más de disponibilidad hídrica. Su mayor temor es que, producto de regulaciones, ellos no puedan acceder a la posibilidad de arrendar parte de sus tierras y obtener los beneficios económicos.

Los conflictos reportados son más bien un problema entre vecinos, los cuales podrían ser evitados con un ordenamiento territorial adecuado y regulado. Esto además podría impulsar polos de desarrollo donde se podrían alcanzar economías de escala y otras facilidades para las nuevas instalaciones energéticas. En este mismo sentido, este trabajo concluye que es posible buscar alternativas de desarrollo, en las cuales se potencien ambas actividades, sin renunciar ni sustituir parte del crecimiento de ambos sectores, buscando las sinergias que hasta el momento no se han desarrollado en el país y que requieren del apoyo de una política pública que respalde a ambos sectores.

Referencias

- Agha, M., Lovich, J.E., Ennen, J.R., Augustine, B., Arundel, T.R., Murphy, M.O., et al.**, 2015. Turbines and terrestrial vertebrates: variation in tortoise survivorship between a wind energy facility and an adjacent undisturbed wildland area in the desert southwest (USA). *Environmental Management*, 56(2), pp. 332-41.
- Ahumada, M.**, 2021. Taller virtual. Compromiso Voluntario por pérdida temporal de suelo de alto valor agropecuario, en el marco PAS160, para proyectos FV. Disponible en: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/taller-virtual-compromisos-voluntarios-por-perdida-temporal-de-uso-de-suelos-de-alto-valor-agropecuario-en-el-marco-del-pas-160-para-proyectos-fotovoltaicos-1>.

- Comisión Nacional de Energía, CNE**, 2020a. Proyección de demanda 2019-2039.
- Comisión Nacional de Energía, CNE**, 2020b. Anuario Estadístico de Energía 2020, pp. 75-76.
- Devereux, C.L., Denny, M.J.H., Whittingham, M.J.**, 2008. Minimal effects of wind turbines on the distribution of wintering farmland birds. *Journal of Applied Ecology*, 45, pp. 1689-94.
- Dias, L., Gouveia, J.P., Lourenço, P. y Seixas, J.**, 2019. Interplay between the potential of photovoltaic systems and agricultural land use. *Land use policy*, 81, pp. 725-735.
- Enel Green Power**, 2019. Energía solar, un nuevo modelo de uso del suelo – Enel Green Power. Agrovoltaje: un nuevo uso del suelo a la sombra de los paneles fotovoltaicos, 30 abril 2019. Disponible en: <https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articulos/2019/04/energia-solar-nuevo-modelo-uso-suelo>
- Farja y Maciejczak**, 2021. Economic Implications of Agricultural Land Conversion to Solar Power Production. *Energies*, 14(19), p. 6063.
- Generadoras de Chile**, 2021. Disponible en: <http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile> (visitado 4 enero 2022).
- Hernández, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., et al.**, 2014. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, pp. 766-779.
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, Á., Kriska, G., Seres, I., Robertson, B.**, 2010. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology*, 24, pp. 1644–53.
- Horváth, G., Kriska, G., Malik, P., Robertson, B.**, 2009. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, pp. 317-25.
- Induambiente**, 2020. La siembra ERNC. InduAmbiente N° 166 (septiembre-octubre 2020), pp. 18-20.
- McCrary, M.D., McKernan, R.L., Schreiber, R.L., Wagner, W.D., Sciarrotta, T.C.**, 1986. Avian mortality at a solar energy power plant. *Journal of Field Ornithology*, 57(2), pp. 135-41.
- Ministerio de Energía**, 2020a. Compendio cartográfico Proyectos e Instalaciones de generación eléctrica en Chile. Datos a diciembre 2020.
- Ministerio de Energía**, 2020b. Estrategia nacional del hidrógeno verde. Noviembre 2020. Disponible en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf.
- Ministerio de Energía**, 2021. Delegado Presidencial Regional y Seremi de Energía inauguran Parques Solares Fotovoltaicos en Chimbarongo y San Vicente TT. Disponible en: <https://energia.gob.cl/noticias/libertador-general-bernardo-ohiggins/delegado-presidencial-regional-y-seremi-de-energia-inauguran-parques-solares-fotovoltaicos-en-chimbarongo-y-san-vicente-tt>.
- Northrup, J.M., Wittemyer, G.**, 2012. Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. *Ecology Letters*, 16(1), pp. 1-14.
- SAG**, 2021. Informe de factibilidad para construcciones ajenas a la agricultura en área rural (IFC). Disponible en: <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/informe-de-factibilidad-para-construcciones-ajenas-la-agricultura-en-area-rural-ifc>.
- SAG**, 2019. Circular N° 296/2019 del Director de Servicio Agrícola y Ganadero, pp. 10-11.
- Sargentis, G. F., Siamparina, P., Sakki, G.K., Efstratiadis, A., Chiotinis, M., Koutsoyiannis**, 2021. D. Agricultural Land or Photovoltaic Parks? The Water–Energy–Food Nexus and Land Development Perspectives in the Thessaly Plain, Greece. *Sustainability*, 13 (16), p. 8935.
- Schuster, E., Bulling, L., Köppel, J.**, 2015. Consolidating the state of knowledge: a synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental Management*, 56, pp. 300-131.
- Tabassum, A., Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, S.A.**, 2014. Wind energy: increasing deployment, rising environmental concerns. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, pp. 270-288.
- Thompson, E. et al.**, 2020. Tinted semi-transparent solar panels allow concurrent production of crops and electricity on the same crop. *Advanced energy material*, 10(35).
- Turney, D., Fthenakis, V.**, 2011. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 3261–70.
- Velasco, J.**, 2017. Cosecha de energía fotovoltaica para uso en riego. *Redagrica Chile*, 22 febrero 2017.
- Van de Ven, D.J., Capellan-Peréz, I., Arto, I. et al**, 2021. The potential land requirements and related land use change emissions of solar energy. *Scientific Reports*, 11(2907).
- Villegas-Patracca, R., MacGregor-Fors, I., Ortiz-Martínez, T., Pérez-Sánchez, C.E., Herrera-Alsina, L., Muñoz-Robles, C.**, 2012. Bird-community shifts in relation to wind farms: a case study comparing a wind farm. Croplands, and Secondary Forests in Southern Mexico. *The Condor* 114(4), pp. 711-719.
- Zainol Abidin, M.A., Mahyuddin, M.N., Mohd Zainuri, M.A.A.**, 2021. Solar Photovoltaic Architecture and Agronomic Management in Agrivoltaic System: A Review. *Sustainability*, 13(14), p. 7846.

CÓMO CITAR ESTA PUBLICACIÓN:

Gil, P., Maldini, F., Godoy, L., Pérez-Donoso, A., Ayala, M., Zaviezo, T., 2022. Competencia y coexistencia de campos solares y eólicos con campos agrícolas en el contexto chileno. *Temas de la Agenda Pública*, 17(158), 1-15. Centro de Políticas Públicas UC.



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Centro UC

Políticas Públicas



www.politicaspUBLICAS.uc.cl
politicaspUBLICAS@uc.cl



SEDE CASA CENTRAL

Av. Libertador Bernardo O'Higgins 340, piso 3, Santiago.
Teléfono (56) 2 2354 6637.



SEDE EDIFICIO PATIO ALAMEDA

Av. Libertador Bernardo O'Higgins 440, piso 12, Santiago.
Teléfono (56) 2 2354 5658.