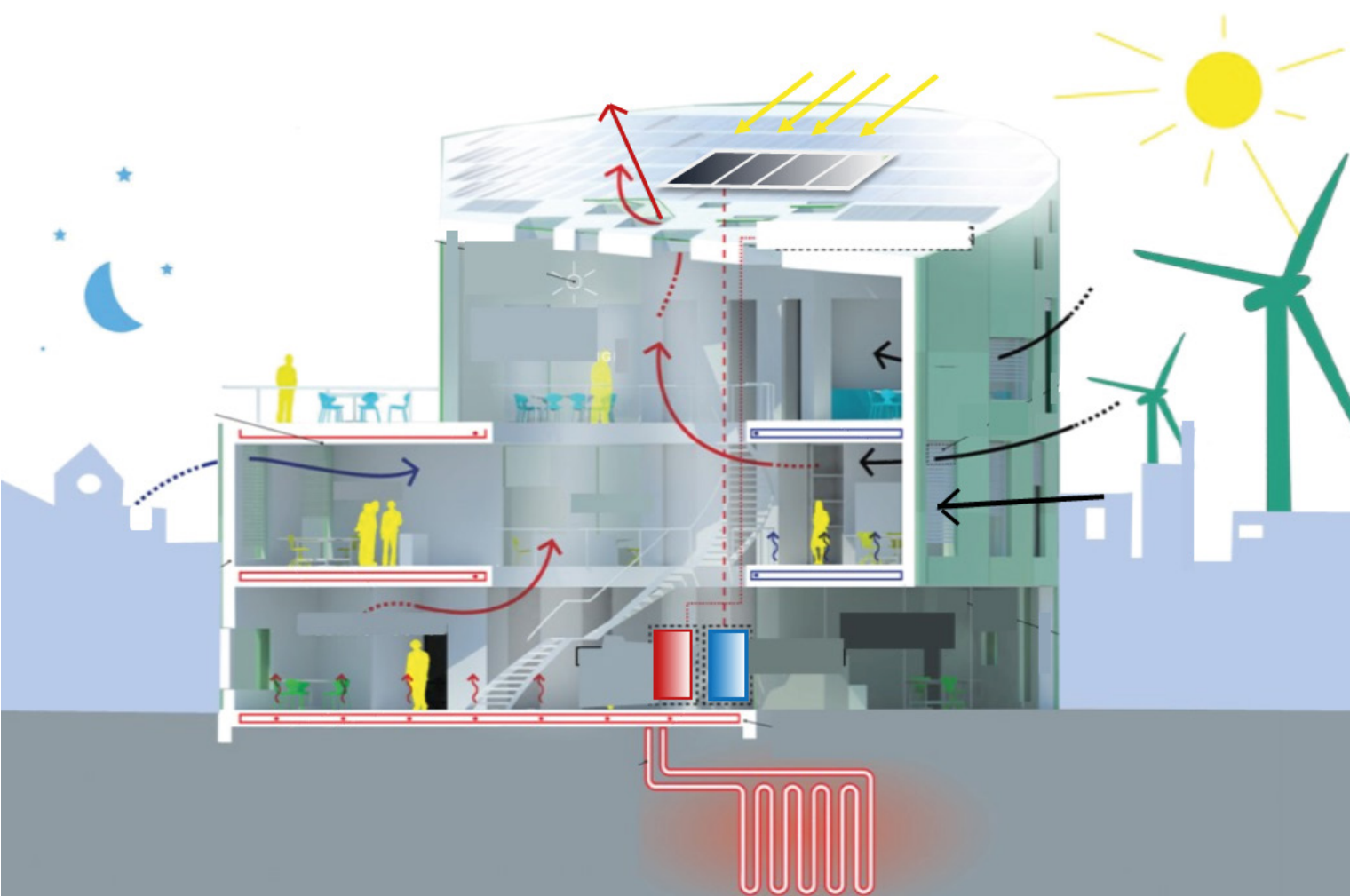


Ciencia e Investigación

Primera revista argentina de información científica / Fundada en enero de 1945



EJEMPLOS DE ARQUITECTURA
BIOCLIMÁTICA QUE CONTRIBUYEN A LA
SALUD DEL HABITANTE Y DEL PLANETA

■ Celina Filippín y Silvana Flores Larsen

ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA ARGENTINA

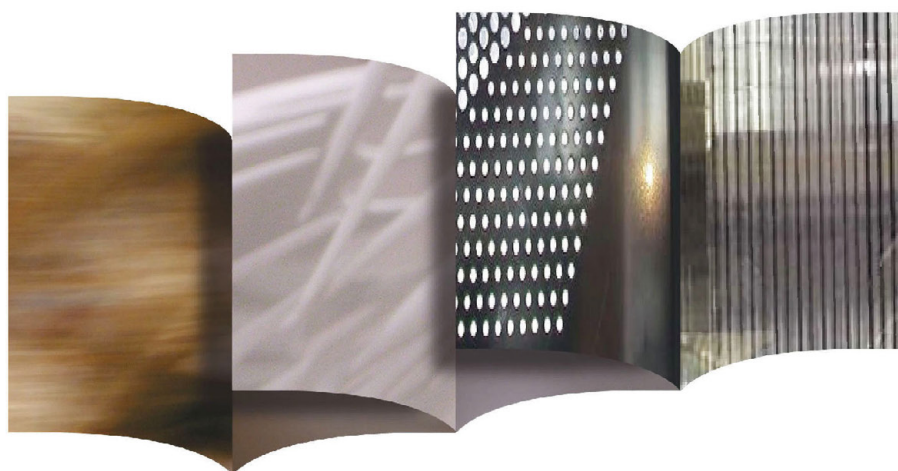
■ Cristian Picighelli

ESTADO ACTUAL DEL DESARROLLO
DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA
DISTRIBUIDA EN ARGENTINA

■ M. Videla, A. Krautner, I. Eyra, J.C. Durán, J. Plá

ACTUALIDAD DE LA ENERGÍA EÓLICA
EN ARGENTINA

■ Roberto Daniel Jones



Desarrollo y gestión de proyectos científicos y tecnológicos innovadores

FUNINTEC es una organización sin fines de lucro creada por la Universidad de San Martín cuyo objetivo es promover y alentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de conocimientos a los sectores público y privado, sus empresas y en particular a las PyMES.

Dentro de los alcances previstos por la Ley de Innovación Tecnológica, funciona como vínculo entre el sistema científico tecnológico y el sector productivo.

CONTACTO:
www.funintec.org.ar

Fundación
Innovación
y Tecnología

FUNINTEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN



EDITOR RESPONSABLE

Asociación Argentina para el
Progreso de las Ciencias (AAPC)

COMITÉ EDITORIAL

Editor: Luis A. Quesada Allué

Editora Adjunta: Paula Regina
Alonso

Editores asociados

Dr. Gerardo Castro

Dra. Lidia Herrera

Dr. Roberto Mercader

Dra. Alicia Sarce

Dr. Juan R. de Xammar Oro

Dr. Norberto Zwirner

**CIENCIA E
INVESTIGACIÓN**

Primera Revista Argentina

de información científica.

Fundada en Enero de 1945.

Es el órgano oficial de difusión de
La Asociación Argentina para el
Progreso de las Ciencias.

A partir de 2012 se publica en dos
series, Ciencia e Investigación
y Ciencia e Investigación Reseñas.

Av. Alvear 1711, 4° piso,
(C1014AAE) Ciudad Autónoma
de Buenos Aires, Argentina.
Teléfono: (+54) (11) 4811-2998
Registro Nacional de la
Propiedad Intelectual
N° 82.657. ISSN-0009-6733.

Lo expresado por los autores o
anunciantes, en los artículos o
en los avisos publicados es de
exclusiva responsabilidad de los
mismos.

Ciencia e Investigación se
edita on line en la página web
de la Asociación Argentina
para el Progreso de las
Ciencias (AAPC)
www.aargentinapciencias.org

Sección esquemática de una
vivienda urbana que aplica
estrategias bioclimáticas y que
integra energías renovables,
como energía solar fotovoltaica
y geotermia somera o de baja
entalpía. También se representa
la aplicación de la energía
eólica, aunque fuera del ámbito
urbano.



SUMARIO

EDITORIAL

Energías renovables en la transición climática Argentina

Roque Pedace 3

ARTÍCULOS

Ejemplos de arquitectura bioclimática que contribuyen
a la salud del habitante y del planeta

Celina Filippín y Silvana Flores Larsen7

Energía Geotérmica en la Argentina

Cristian Picighelli 25

Actualidad de la energía eólica en Argentina

Roberto Daniel Jones 44

Estado actual del desarrollo de la generación fotovoltaica
distribuida en Argentina

M. Videla, A. Krautner, I. Eyra, J.C. Durán, J. Plá 54

INSTRUCCIONES PARA AUTORES 72

*... La revista aspira a ser un vínculo de unión entre
los trabajadores científicos que cultivan disciplinas
diversas y órgano de expresión de todos aquellos que
sientan la inquietud del progreso científico y de su
aplicación para el bien.*

Bernardo A. Houssay

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias

COLEGIADO DIRECTIVO

Presidente

Dra. Ester Susana Hernández

Vicepresidente

Dr. César Belinco

Secretaria

Dra. Alicia María Sarce

Tesorero

Dr. Alberto Antonio Pochettino

Protesorero

Dra. Graciela Noemí Balerio

Miembros Titulares

Dr. Miguel Ángel Blesa

Dra. María Lidia Herrera

Dra. Alicia Fernández Cirelli

Dr. Mario A.J. Mariscotti

Dr. Jaime B.A. Moragues

Dr. Luis Alberto Quesada-Allué

Dra. Paula Alonso

Dra. Ana María Puyó

Dr. Fernando Stefani

Dra. Ursula Molter

Miembros Institucionales:

Sociedad Argentina de Genética (SAG):

Dra. Ángela Rosaría Solano

Asociación Argentina de Astronomía:

Dra. Gabriela Castelleti

Asociación Argentina de Investigación Físicoquímica.:

Dra. Florencia Fagalde

Miembros Fundadores

Dr. Bernardo A. Houssay – Dr. Juan Bacigalupo – Ing. Enrique Butty

Dr. Horacio Damianovich – Dr. Venancio Deulofeu – Dr. Pedro I. Elizalde

Ing. Lorenzo Parodi – Sr. Carlos A. Silva – Dr. Alfredo Sordelli – Dr. Juan C. Vignaux –

Dr. Adolfo T. Williams – Dr. Enrique V. Zappi

de las Ciencias

AAPC

Avenida Alvear 1711 – 4° Piso

(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina

www.aargentinapciencias.org

ENERGÍAS RENOVABLES EN LA TRANSICIÓN CLIMÁTICA ARGENTINA

■ **Roque Pedace¹**

1 Investigador y docente de posgrado –
Universidad de Buenos Aires
Editor revisor del 6° Informe de evaluación del GIECC
E-mail: roque.pedace@gmail.com

La edición del presente tomo fue iniciada por **Jaime Moragues** y finalizada, luego de su lamentable fallecimiento, por **Juan Pla²** y por **Julio Durán³**, quienes desean recomendar como homenaje la nota publicada en Reseñas Tomo 7 Nro. 2 (2019).

2 Investigador Principal - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
E-mail: jpla@tandar.cnea.gov.ar

3 Investigador Superior - Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)
Profesor Asociado - Universidad Nacional de San Martín (UNSAM)
E-mails: duran@tandar.cnea.gov.ar - jduran@unsam.edu.ar

El 20 de marzo de 2023 se aprobó la síntesis del extenso y detallado sexto informe de evaluaciones del GIECC (Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). El mensaje del mayor colectivo científico mundial que coproduce la política climática en las Naciones Unidas no podía ser más claro: transitamos la década clave en la transición hacia un sistema energético totalmente descarbonizado hacia mediados de este siglo. Esta transformación radical tiene como eje la sustitución de los combustibles fósiles por fuentes renovables y la eficiencia en el uso final de materia y energía.

Este es el contexto reconocido por los autores de estos 4 artículos, en los cuales soluciones particulares se enfrentan a preguntas clave comunes a todas ellas. ¿Cuál es su potencial y relevancia como satisfactor de necesidades y su rol en la matriz energética? ¿Cómo es su historia global y local? ¿Cuál es la evolución esperada de la trayectoria tecnológica? ¿Que proponen las políticas sectoriales? ¿Qué cambios suponen en los comportamientos sociales?

En el artículo que trata la *Energía Geotérmica en la Argentina*, el autor nos introduce en detalle a este recurso renovable y a las tecnologías que permiten su uso. Dado que se repone naturalmente en una escala de tiempo humana no se ve afectado por el agotamiento global de sí mismo, como ocurre con los combustibles fósiles que también se obtienen de la litósfera. Contribuye no solo a la mitigación del cambio climático global, sino también a la prevención de los riesgos locales asociados a la salud pública y al ambiente. Tiene costos de funcionamiento relativamente menores, con suministro de energía eléctrica de base y un alto factor de capacidad.

Argentina tiene un potencial estimado de generación eléctrica geotérmica de entre 490 y 1.010 MWe que podría aumentar hasta los 2.010 MWe en condiciones de desarrollo tecnológico más avanzado y mucho más aún con tecnologías que se encuentran todavía en estadios de menor madurez. A pesar del potencial de los recursos geotérmicos, el mismo solo era utilizado hasta 2020 para uso directo en balneología (52,7 %), uso doméstico (24,6 %), uso industrial (6,7 %), derretimiento de nieve (5,4 %), calefacción doméstica (4,6 %), invernaderos (4,5 %) y acuicultura (1,5%).

En la década de los años 70 del siglo pasado el objetivo estuvo estrictamente orientado a la generación de energía eléctrica, realizándose los primeros trabajos de reconocimiento geológico y geoquímico con el fin de seleccionar áreas para futuros estudios de detalle en diferentes provincias del país. Luego se continuó con estudios de prefactibilidad, llegando a la factibilidad en algunos campos geotérmicos. Sin embargo, el aprovechamiento de esta energía para generación eléctrica continúa siendo nulo.

Respecto del marco legal, Argentina no tiene instrumentos legislativos específicos para la exploración y explotación del recurso geotérmico, aunque la actividad geotérmica está contemplada en el Código de Minería y regulada también por los Códigos de Agua provinciales.

Un capítulo de especial relevancia para la prospectiva es el referido a la transferencia tecnológica de la industria petrolera a la geotermia. Existen tecnologías en desarrollo como los sistemas geotérmicos mejorados (*EGS, Enhanced Geothermal Systems*) que utilizan técnicas de fractura hidráulica, y otros sistemas geotérmicos avanzados que proponen el intercambio de calor con el fluido en un circuito cerrado mediante la perforación de uno o más pozos en la roca caliente.

Las tecnologías de exploración, perforación, reservorios, producción y el personal calificado son muy similares a la industria petrolera. Esto significa que no se necesita de tecnologías nuevas ni formación de profesionales ya que dicha industria dispone de todo esto. Se propone apuntar a recursos coproducidos y aprovechamiento de pozos petroleros abandonados.

El artículo concluye señalando que las incertidumbres y riesgos se reducen significativamente con el conocimiento integral de la geología y propiedades del subsuelo. Por tal motivo, resulta fundamental continuar con la investigación y el estudio de los recursos geotérmicos, como así también disponer de todos los datos e información geológica y de subsuelo. En este sentido, es necesario contar con políticas de estado contundentes que incluyan en el largo plazo a la energía geotérmica en la agenda nacional de desarrollo energético procurando una estrecha y dinámica interrelación entre el estado, las universidades, los centros de investigación, las empresas privadas, y los organismos de financiamiento.

El artículo referido a la *Actualidad de la energía eólica en Argentina*, propone una síntesis del panorama general de la energía eólica en el país, especialmente en lo referido a la generación eléctrica de gran escala (por medio de centrales eólicas multi megavatios) y al peso relativo de las distintas provincias en la matriz de generación con esta fuente.

La tesis principal del autor es que la posibilidad de aprovechamiento energético encuentra actualmente sus límites en la capacidad de transportar energía (infraestructura eléctrica de transporte) más que en la existencia de vientos y otras condiciones ambientales o en el desarrollo tecnológico de la propia actividad eólica.

Comienza con la descripción de los “principales antecedentes del aprovechamiento eólico para la producción de energía eléctrica en Argentina”, enfocándose luego en “el pasado cercano y la actualidad” al evaluar el impacto del programa GENREN y de su sucesor RenovAr. Se exponen claras diferencias entre ambos programas en cuanto al origen y fabricantes de las tecnologías a diciembre de 2021, que juzga relevantes para la posibilidad de desarrollo de la industria eólica y no solo de la generación de energía de esa fuente en el país. El análisis del origen de las tecnologías instaladas en las nueve provincias productoras de energía eólica de Argentina, muestra que la participación de los fabricantes nacionales de turbinas, uno de los pilares del Plan Estratégico Nacional de Energía Eólica del cual también fue parte el programa GENREN, es muy marginal.

El autor pide definición de políticas públicas orientadas hacia el sector que acompañen la concreción de las obras de infraestructura eléctrica imprescindibles.

Se recuerda también el rol impulsor de estas políticas sectoriales para el fomento de las economías regionales y el acceso a la energía de calidad para miles de personas.

Para ello, plantea la necesidad de: la articulación por parte de los gobiernos nacional y provinciales en lo que a políticas de energías renovables se refiere, la construcción de la infraestructura eléctrica, el establecimiento de planes estratégicos de desarrollo territorial que incluyan e integren a la actividad eólica y todas sus posibilidades de compatibilidad en los usos del suelo, así como la enseñanza y el aprendizaje en todas las escalas posibles.

En el artículo referido a la *Arquitectura Bioclimática*, las autoras parten de principios muy generales válidos para toda construcción. Comienzan a abordar la introducción teórica en la sección *Edificio y Confort*, afirmando que “Las tecnologías empleadas en proyectos de arquitectura y su ejecución tienen consecuencias inmediatas respecto al consumo de energía.”

Las interacciones en el proceso “implican un proceso de diseño que no es lineal: involucra un ida y vuelta, discusión y acuerdos entre los diferentes actores que lleva a obtener un modelo más acotado del *objeto arquitectónico* con su morfología, su tecnología y sus indicadores que pueden ser perfectamente cuantificados, y la física del ambiente con sus condiciones climáticas y el contexto geográfico.”

Entrando más aún en el problema teórico se presenta en *Edificio y Cambio Climático* la abstracción de considerar “al edificio como un intermediario o interfase sólida entre las condiciones climáticas interiores y las condiciones climáticas o meteorológicas exteriores”. “El cambio climático es probablemente el mayor desafío ambiental y social que debe enfrentar la humanidad, y que fue generado por los seres humanos”.

“Específicamente, los paradigmas de diseño de edificios existentes deben ser reemplazados por nuevos enfoques que tengan en cuenta el clima futuro” por cuanto se prevé que el calentamiento global afecte al rendimiento térmico de edificios.

A continuación, se dedican a reseñar los antecedentes internacionales de la *Arquitectura Bioclimática*, mientras que en la sección *Antecedentes de Distintos Grupos de Investigación en Argentina* se presenta un panorama muy completo de los mismos.

El artículo trata extensamente los casos de estudio en *Edificios Bioclimáticos en la Provincia de La Pampa*, dado que las autoras del presente trabajo han estado involucradas en el diseño, la simulación y el monitoreo térmico-energético, cuyos resultados permiten mostrar los beneficios estos edificios bioclimáticos.

En las conclusiones aparece la importancia del cambio de comportamiento social: el objeto arquitectónico puede y debe contribuir al ahorro de energía en el camino de la transición energética y en la mitigación de los efectos del cambio climático.

Estiman así que “Una amplia difusión de mejores prácticas en la arquitectura que hagan uso de tecnologías existentes y ya rentables contribuiría a alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero”.

El artículo *Estado Actual del Desarrollo de la Generación Fotovoltaica Distribuida en Argentina* comienza por precisar que el Cambio Climático generado por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) implica un enorme desafío en múltiples aspectos, entre ellos el económico, el geopolítico y el tecnológico.

Ante la urgencia de la descarbonización planteada por los escenarios climáticos es esperable que la opción solar fotovoltaica (FV) represente la principal fuente de energía eléctrica en todas las proyecciones y para todas las

regiones del planeta, dando cuenta de más del 40 % del suministro a nivel global a 2050 aún en el escenario más conservador. Explica también el ingreso de la generación FV en la matriz eléctrica argentina.

Tras esta introducción, los autores presentan en secciones consecutivas qué se entiende por generación distribuida (GD) considerando particularmente: la tecnología solar FV, los casos de las provincias más importantes en este segmento de aplicación en cuanto a su desarrollo, y los antecedentes legislativos así como los modelos tarifarios vigentes.

Su conclusión es que los modelos de medición neta y de facturación neta no contemplan ni retribuyen las externalidades positivas de la generación distribuida con fuentes renovables a saber: la disminución de pérdidas en el sistema eléctrico al acercar la generación al consumo, la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por reemplazo del quemado de combustibles fósiles, y la generación de empleo local, entre otras. Asimismo, tales esquemas no resultan apropiados para promover la instalación de sistemas de generación distribuida en mercados eléctricos donde las tarifas de la energía eléctrica convencional se encuentran subsidiadas, como es el caso de la Argentina.

También se analiza el rol del almacenamiento en la transición para aportar servicios que contribuyen a: facilitar la inserción de energías renovables, reducir picos de demanda trasladando consumos a horas de menor demanda, disminuir pérdidas de transporte, moderar la necesidad de inversión en infraestructura de transporte o ampliación de redes, y reducir los requerimientos de sistemas de reserva (*back-up*) basados en combustibles fósiles. Se puntualiza que si bien el almacenamiento de energía eléctrica puede estar conectado en las áreas de transporte o en las de distribución, el almacenamiento ubicado cerca del consumo es el que más servicios puede ofrecer al sistema eléctrico en general. El uso de sistemas de almacenamiento resulta particularmente importante para usuarios residenciales también en Argentina donde, típicamente, menos del 50 % de la energía generada se autoconsume debido al desfase entre la generación y el consumo.

En la reseña histórica reciente del marco regulatorio, se muestra que en las experiencias provinciales la GD permite la generación comunitaria, el fortalecimiento de la red eléctrica, las pequeñas centrales asociadas a la oferta de cooperativas eléctricas, instalaciones domiciliarias, bombeo de agua para aplicaciones agrícolas, etc. Cada una de estas opciones requiere un tratamiento económico, legal y regulatorio tal que haga posible su desarrollo.

Entre las numerosas ventajas de las energías renovables destacan: el aumento de la seguridad energética, la disminución de costos de generación, el ahorro de divisas, el desarrollo de industria nacional, la generación de empleo y la mitigación del cambio climático, lo cual señala la necesidad de profundizar políticas de estado que impulsen el desarrollo y la utilización en la Argentina de este tipo de fuentes de generación eléctrica. Se apunta que son tecnologías que aportan al desarrollo social y pueden constituir una herramienta para fomentar un orden económico comunitario, en línea con la idea de soberanía energética en el sentido más amplio: no solo nacional sino también ciudadana. La generación de energía por parte de los propios usuarios resulta un cambio de paradigma respecto de la propiedad de las fuentes de generación de energía, dejando de ser la comunidad, las cooperativas o asociaciones y los ciudadanos meros usuarios para transformarse en productores de la energía que consumen.

Concluyen así que para optimizar este proceso transformacional de adopción tecnológica resulta fundamental implementar un marco regulatorio técnico, comercial, económico, fiscal y administrativo eficiente.

Esperamos que el lector encuentre en estos cuatro trabajos suficiente material para reflexionar sobre las preguntas formuladas en el inicio, así como herramientas para armar el rompecabezas de la transición energética nacional.

EJEMPLOS DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA QUE CONTRIBUYEN A LA SALUD DEL HABITANTE Y DEL PLANETA

Palabras clave: edificio bioclimático- acondicionamiento térmico natural- ahorro de energía.

Key words: bioclimatic building- natural thermal conditioning- energy saving.

La Arquitectura Bioclimática es aquella en la cual la calidad ambiental y la eficiencia energética se obtienen mediante el aprovechamiento racional de los recursos naturales, de modo que contribuya al equilibrio del ecosistema en el cual se inserta. Gauzin-Müller (2002) reivindica en su texto el papel fundamental del enfoque medioambiental en el proceso de toma de decisiones, desde la gestión hasta la socialización, pasando por el diseño, la producción o la participación de todos los agentes involucrados en la cultura arquitectónica y urbanística. Se describen obras ubicadas en diferentes países con situaciones socioeconómicas y desarrollos tecnológicos diversos que muestran sus características bioclimáticas y el ahorro de energía en su acondicionamiento térmico-luminico. Se exponen experiencias y trabajos de investigación en Argentina. Con mayor detalle, se reseñan los edificios bioclimáticos diseñados y construidos en la región árida, semiárida y sub-húmeda de La Pampa. Ellos han demostrado buenos resultados de ahorro energético. Se destacan dos escuelas, que además integraron el monitoreo del propio edificio a sus actividades de enseñanza. La experiencia desarrollada permitió evaluar diferentes tecnologías de envolventes (paredes, techos y ventanas) y capitalizar errores y aciertos para optimizar futuros proyectos en la región en estudio. Los resultados obtenidos afirman que es factible implementar estrategias de diseño ambientalmente conscientes para disminuir el consumo de energía, lograr confort, mitigar los efectos del cambio climático y contribuir a la transición energética.



Celina Filippín^{1*} y Silvana Flores Larsen²

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

² Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional
Universidad Nacional de Salta – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

*E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

EXAMPLES OF BIOCLIMATIC ARCHITECTURE THAT CONTRIBUTE TO HEALTH OF THE INHABITANT AND THE PLANET

Bioclimatic architecture is that field in which environmental quality and energy efficiency are obtained through rational use of natural resources, contributing in this way to the balance of the ecosystem where such architecture is located. In his paper, Gauzin-Müller (2002) claims that the environmental approach plays a fundamental role in the decision-making process, from the management to the socialization phase, passing through design, production, and even participation of all the agents involved in the architectural and urban cultures. This paper describes works located in different countries, showing diverse social and economic situations and technology developments, with their bioclimatic characteristics and energy savings related to thermal and lighting conditioning. It also presents experiences and research works carried out in Argentina. In detail, the work carried out in bioclimatic buildings designed and constructed in the arid, semiarid, and sub-humid regions of the province of La Pampa is reviewed. These cases have shown promising results in terms of energy savings. The particular case of schools is highlighted since they also incorporated the building monitoring stage to the teaching activities of the institutions. The experience developed allowed us to assess different envelope technologies (walls, roofs and windows) and to learn from wise decisions but also from wrong ones to optimize future projects in the region under study. The results suggest that it is feasible to implement environmentally friendly design strategies to reduce energy consumption, reach comfort levels, mitigate climatic change effects, and contribute to energy transition processes.

■ INTRODUCCIÓN

La obra edilicia permite estudiar la relación entre la arquitectura como

arte y la arquitectura como protección del medio ambiente. La ocupación actual surge a raíz de la situación precaria en que se en-

cuentra el Planeta. La arquitectura nace cuando, después de una *deliberación intelectual* entre diferentes actores -propietario, arquitecto,

ingeniero, constructor, inversor, entre otros- se alcanza el equilibrio adecuado entre clima, tecnología, cultura y ubicación, y se crea con ellos una entidad física. Esta debe ser *algo inherente al proceso creativo*. El 80 % del tiempo de la vida del ser humano transcurre en espacios interiores. La disponibilidad de espacios confortables y de un ambiente saludable no sólo se asocia a un estándar de vida, sino también al consumo de energía y a la polución ambiental. Siempre se debe tener en cuenta que el principal objetivo de cualquier edificio, después del de ofrecer refugio y seguridad, es ofrecer bienestar. El término bienestar involucra el concepto de salud, que la Organización Mundial de la Salud define como ‘un estado de bienestar total, físico como mental y social’.

■ EDIFICIO Y CONFORT

Los edificios son manifestaciones de las innovaciones técnicas, dan cobijo adaptándose a las necesidades de vida y trabajo del hombre, expresan deseos y representan una cultura. *Las tecnologías empleadas en proyectos de arquitectura y su ejecución tienen consecuencias inmediatas respecto al consumo de energía*. Este consumo es hoy, mayormente, a costa de fuentes no renovables, expresando simbólicamente la relación problemática entre arquitectura y tecnología que surgió durante la era industrial. Ambas se desarrollaron en forma dependiente y los avances arquitectónicos siempre han estado supeditados a los desarrollos técnicos y de ingeniería, que involucran un mayor consumo de insumos energéticos, tanto para la obra en construcción como para su organización. *El consumo de energía depende en gran medida de las tecnologías usadas durante el proyecto, ejecución y mantenimiento del edificio*. La decisión de emplear una u otra tecnología se basa en tres aspectos: cuánta energía se necesita

para el mantenimiento del edificio, de qué tipo y cómo ésta se genera o se capta.

Los edificios consumen energía para proporcionar bienestar y comodidad a las personas que los habitan. Aunque el confort humano está parcialmente influenciado por una variedad de factores contextuales, culturales y de comportamiento, los edificios y su equipamiento determinan el nivel aceptable de confort para la temperatura del aire interior, la temperatura radiante, la humedad y la velocidad del aire. El sector de la construcción involucra una serie de actores públicos y privados no coordinados, a menudo con intereses en conflicto, que incluye autoridades energéticas y de construcción a nivel nacional y local, propietarios, usuarios, inversores, desarrolladores, diseñadores, ingenieros, proveedores de energía, materiales y

equipos, y otros contratistas (Figura 1). El interés y el conocimiento de los temas energéticos varían considerablemente entre estos actores. Además, el sector de la construcción normalmente sufre de una falta de liderazgo en las mejoras de este tipo de eficiencia. En una recomposición o fusión de esa fragmentación, podemos obtener un modelo más acotado del *objeto arquitectónico*¹ con su morfología, su tecnología y sus indicadores que pueden ser perfectamente cuantificados, y la física del ambiente con sus condiciones climáticas y el contexto geográfico (Figura 2)². En esta recomposición, la concreción del edificio según las reglas del arte y del buen construir, en una determinada localización geográfica y en un contexto cultural determinado, hay un proceso de diseño que no es lineal: involucra un ida y vuelta, discusión y acuerdos entre los diferentes actores.



Figura 1: Fragmentación en el sector edilicio.

Clima y contexto geográfico	Arquitectura Indicadores dimensionales y morfológicos	Tecnología de la envolvente Indicadores termo-físicos
• Temperatura (°C) • Amplitud térmica (°C) • Humedad relativa (%) • Radiación solar (MJ/m²) • Velocidad de viento (km/h) • Grado-días de calefacción y enfriamiento (°C)	• Perímetro (m) • Índice de compacidad: relación entre el perímetro del círculo y el perímetro del proyecto (Ic) • Área de uso (m²) • Volumen (m³) • Área de envolvente (m²) • Área efectiva de vidrio (m²) • Factor de forma • FAEP	• Transmitancia térmica (W/m²K) • Masa térmica • Capacidad calorífica (J/K) • Absortancia • Coeficiente volumétrico G de Pérdida de Calor (W/m³K) • Fracción solar • Consumo de energía en el acondicionamiento de los espacios (kWh/m²)

Figura 2: Indicadores del objeto arquitectónico.

■ EDIFICIO Y CAMBIO CLIMÁTICO

Sufrategui (1994) propone la abstracción de considerar *al edificio como un intermediario o interfase sólida entre las condiciones climáticas interiores y las condiciones climáticas o meteorológicas exteriores*. El cambio climático es probablemente el mayor desafío ambiental y social que debe enfrentar la humanidad, y que fue generado por los seres humanos. En el actual contexto de cambio climático, es sabido que está aumentando significativamente la frecuencia de los eventos extremos denominados “olas de calor” en diversas regiones del mundo (20 % de aumento en EEUU; PSR, 2018). En la ola de calor europea del año 2018 se registraron las mayores temperaturas de los últimos 260 años, con 40 °C en la Siberia y más de 30 °C en el Círculo Polar Ártico, causando una importante crisis de salud pública (BBC, 2018). Menos publicitada aunque no mejor es la situación del Norte argentino, que ha sido detectado como uno de los lugares del planeta en donde más se sentirá el incremento de la temperatura media y de eventos extremos de

altas temperaturas. Existen zonas en donde las temperaturas que superan ampliamente los 40 °C durante varios días (SMN, 2018). Por ejemplo, la ola de calor en Argentina de diciembre de 2013 que se produjo en la zona norte y centro del país, así como también en el norte de la Patagonia, fue la más prolongada vivida en Argentina desde que se iniciaron los registros en 1906, afectando como mínimo 52 ciudades en todo el país (Giambartolomei, 2013). Estos eventos, además de producir disconfort térmico y aumentar significativamente el consumo de energía para refrigerar los ambientes, tienen efectos muy serios en la salud humana y pueden inclusive conducir a la muerte, en particular en niños, adultos mayores de 65 años y personas saludables que no tienen acceso al aire acondicionado, como ya lo ha expresado con mucha preocupación la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2014) y la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2012), entre otros.

El arquitecto y los profesionales de la construcción deberán prestar atención a estos aspectos y estar alertas a las proyecciones de los es-

cenarios del cambio climático. El sector edilicio, residencial y comercial es responsable de entre el 30% y 40% de la demanda total de energía mundial y emite un tercio de las emisiones mundiales de gases efecto invernadero (Bhamare et al., 2019).

En este contexto, los edificios representan una pieza crítica para un futuro con bajo nivel de emisiones y un desafío global para la integración con el desarrollo sostenible (Flores Larsen et al., 2019). De acuerdo con la información mencionada anteriormente, el cambio climático obligará a los diseñadores a dar un salto conceptual en la construcción. *Específicamente, los paradigmas de diseño de edificios existentes deben ser reemplazados por nuevos enfoques que tengan en cuenta el clima futuro* (Pajek y Košir, 2017). Se prevé que el calentamiento global afecte notablemente al rendimiento térmico de edificios. Por lo tanto, es responsabilidad de nuestra generación **mitigar impactos del cambio climático**, y contrarrestar sus implicaciones relativamente amargas proyectadas en el entorno construido.

Ya ha sido demostrado por muchos autores que, debido al cambio climático, habrá disminución continua de las necesidades energéticas para calefacción y se espera un aumento de la necesidad de energía para la refrigeración de los edificios (Pajek et al., 2022). Los países del sur global son los que afrontan los mayores riesgos frente al cambio climático, aunque ellos tengan la menor responsabilidad histórica en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero y dispongan de escasos recursos para mitigar los riesgos climáticos. Estas naciones deben considerar nuevas políticas y estrategias de desarrollo, e invertir en capacidades y activos con el fin de superar el desafío que constituye desarrollarse en un clima más adverso (Camilloni, 2018). La misma autora expresa ¿Será posible adaptarse al cambio climático? ¿De qué forma habrá que actuar para hacerlo? Esa adaptación es importante porque permitiría reducir sus consecuencias desfavorables, tanto para los sistemas naturales como sociales. Medidas como la promoción del uso eficiente de la energía y su ahorro y/o la exclusión de su derroche, el mejor uso del territorio y las prácticas sostenibles de explotación agropecuaria y forestal pueden limitar la magnitud del cambio climático y de sus consecuencias (Camilloni, 2008).

El desafío para nuestro país es múltiple: se requiere afrontar el crecimiento de la demanda energética y la vez reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso del sector edilicio, esto se puede lograr, como ya es ampliamente reconocido a nivel global, a través de la aplicación de estrategias bioclimáticas de diseño (orientación del edificio, aislación térmica, materiales utilizados, ganancia directa, etc.), rehabilitación energética edilicia y uso de sistemas pasivos o híbridos

de acondicionamiento que involucren energías renovables. La arquitectura bioclimática puede y debe contribuir a mitigar los impactos del cambio climático y a la transición energética.

■ ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA INTERNACIONAL Y NACIONAL

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Entre los proyectos piloto de arquitectura bioclimática europeos se destacan el Cepheus (del programa Themic) aprobado por la Comisión Europea para reducir las emisiones de CO₂ de origen doméstico. Este abarcó 250 viviendas unifamiliares o colectivas construidas entre 1999 y 2001 en cinco países europeos, todas con características de casa pasiva³ y utilizando solamente energías renovables para su calefacción. Por otra parte, el proyecto Salvatierra en Rennes (Francia) está compuesto por 40 viviendas pasivas construidas con muros de tierra, madera y cáñamo. También cabe nombrar en Avax (Atenas) el proyecto de Energía y Confort 2000 y en Helsinki el programa Sunh de viviendas colectivas en el barrio Viikki, proyectado para ahorrar energía empleando construcción ecológica junto con energía solar. Varios proyectos piloto de vivienda solar han sido subvencionados en el marco del grupo de trabajo europeo sobre energías renovables Read. El barrio de Regensburg (Alemania) abarcó 500 viviendas y en Linz (Austria) 1.500; hacen hincapié en la elección de materiales ecológicos, estructura de madera, reducción de las pérdidas térmicas o en instalaciones que utilizan pasiva y activamente la energía solar (*Dominique Gauzin-Müller - Arquitectura Bioclimática*).

Helder Gonçalves, coordinador de la Red CYTED “Red Ibero

Americana para el Uso de Energías Renovables y Diseño Bioclimático en Viviendas y Edificios de Interés Social”, compila en 2005, diversos proyectos y edificios construidos. Entre ellos, el Hospital Sarah (Brasil), inaugurado en marzo de 1994 que tiene sus galerías de mantenimiento que se utilizan como conductos de ventilación y distribución de aire fresco a la mayoría de sus ambientes hospitalarios. Con una ubicación privilegiada, en lo alto de una típica loma del relieve de Salvador, privilegia los factores climáticos. Su diseño horizontal permite la integración con las zonas de terrazas y jardines, y facilita el desplazamiento y paseo de los pacientes. La arquitectura aprovecha los elementos de la naturaleza, como el viento, el agua y la vegetación, haciendo el ambiente más agradable climáticamente, más aireado y con pocas tasas de infección hospitalaria, además de necesitar menos recursos energéticos convencionales. La iluminación natural sirve de apoyo para la iluminación artificial, así como el sistema de ventilación y humidificación del aire.

ANTECEDENTES DE DISTINTOS GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ARGENTINA

En Argentina, el INENCO (Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional) de la Universidad Nacional de Salta y CONICET ha participado de experiencias exitosas de edificios bioclimáticos en distintas zonas geográficas del Noroeste de Argentina, entre los que se cuentan construcciones de distinto tipo y uso, como viviendas, edificios de salud, educativos, etc. Desde 1981, se trabajó en el diseño y la evaluación térmica y económica de alternativas tecnológicas de envolventes energéticamente eficientes y de bajo mantenimiento, en función de los materiales y la calidad de mano de obra,

para edificios sociales y educativos, edificios en altura, y construcciones para la producción de plantas en colaboración con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA Catamarca, Argentina). Entre las construcciones de los años 80 cuyo diseño térmico energético estuvo a cargo de investigadores del Instituto se encuentran el barrio solar de 15 viviendas en Cachi (Ibarra y Lesino, 2007) y la vivienda solar en Abra Pampa, de la Estación Experimental del INTA. La vivienda se localiza en la puna jujeña en una planicie a 3.500 m sobre el nivel del mar. Esta zona se encuentra entre las que mayor radiación solar recibe en la Argentina, con muy escasas lluvias estivales, grandes amplitudes térmicas diarias y necesidad permanente de calefacción de los edificios. Es una región clasificada como muy fría y son frecuentes en el invierno temperaturas mínimas de -10 °C. Tanto en la instancia del diseño como el de las de selección de los materiales y construcción de la casa, se tuvo en cuenta el uso de materiales autóctonos, por la distancia a los centros de producción y la adopción de estrategias bioclimáticas por la dureza del clima. Este proyecto se fundamentó sobre criterios constructivos orientados a la conservación de la energía y la aplicación de sistemas solares pasivos. La vivienda tiene una superficie total de 270 m² incluyendo el espacio invernadero ubicado en su cara Este y el garaje. Está construida con gruesos muros dobles de piedra con aislamiento térmico en el medio y toda su extensa cara norte es un muro Trombe Michel⁴ que incluye ventanas para ganancia directa. La cubierta es liviana, con terminación exterior de chapa de acero y fuertemente aislada en lo térmico. Toda la construcción es antisísmica mediante una rígida estructura de hormigón armado. La vivienda se proyectó con el criterio de vivienda experimental, lo que limitó un tanto la aplicación

de un mayor despliegue de recursos arquitectónicos formales. Fue durante un tiempo objeto de estudio por parte de los especialistas locales y es un interesante ejemplo de adaptación al riguroso clima de la Puna (Lesino et al., 1988).

Entre los desarrollos actuales más relevantes en el Noroeste se encuentra el primer hospital bioclimático del país, ubicado en Susques (Puna Jujeña, 2008), y el edificio de oficinas Palermo (con doble piel de vidrio y fachada verde), en el centro de la ciudad de Salta. Hernandez y Lesino (2007) describen las estrategias de diseño del Hospital Materno Infantil de la localidad de Susques, en la Puna Jujeña, primer hospital bioclimático construido en la Argentina. Tiene una superficie de 750 m² y fue financiado conjuntamente por los Gobiernos Nacional y de la Provincia de Jujuy. A fin de calefaccionar el edificio durante el invierno, se incluyeron muros Trombe, ventanas para ganancia directa y colectores solares calentadores de aire. Para el calentamiento del agua de uso sanitario se instalaron, además colectores solares planos con una capacidad de 2.000 litros.

El Edificio Palermo en la Ciudad de Salta, es un edificio comercial con orientación Oeste. Tiene una superficie cubierta de 5.500 m², una altura de 18 m, tres subsuelos que funcionan como estacionamiento, planta baja y cinco pisos de oficina. Las estrategias utilizadas teniendo en cuenta la orientación Oeste, fue la doble fachada vidriada, utilizando vidrios con reducción del ingreso de radiación solar y el uso de fachada verde al Este (Flores Larsen y Filippín, 2015).

Desde sus orígenes en 1975, el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV), actual Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)

del Centro Científico Tecnológico CONICET, Mendoza, ha desarrollado investigaciones interdisciplinarias dirigidas a mejorar el hábitat humano regional. El grupo de investigación ha crecido sostenidamente hasta el presente, con la profundización de los estudios, la ampliación de las líneas de investigación y la transferencia. Las investigaciones están estrechamente relacionadas con el aprovechamiento energético y los aspectos ambientales, con el objetivo de alcanzar el bienestar térmico y lumínico de edificios públicos y privados a través del uso de recursos renovables. Mitchell y Basso (2005) describen algunas de las investigaciones en la provincia de Mendoza. Una de ellas, el diseño y la construcción del primer prototipo experimental argentino de vivienda con aprovechamiento de energía solar "Enrico Tedeschi", dentro del Programa Especial de Investigación y Desarrollo de Vivienda Popular de la Organización de los Estados Americanos (OEA), programa iniciado en 1977 con el apoyo de la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECYT), la Secretaría de Estado de Desarrollo Urbano y Vivienda (SE- DUV) y el Instituto Provincial de la Vivienda del Gobierno de Mendoza (IPV). Con la inauguración de este prototipo, el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV) dirigido por el Arq. Carlos de Rosa, abre el camino hacia nuevos objetivos en el campo de la construcción y el ahorro energético.

En 1990, el Gobierno de la Provincia de Mendoza, puso en marcha un programa de proyectos de investigación y desarrollo sobre problemas de interés provincial, con resultados de transferencia inmediata. El objetivo fue el desarrollo de edificios escolares rurales energéticamente eficientes, incluyendo medidas de conservación, calefacción solar pasiva, iluminación natural, calenta-

miento solar de agua y sistema fotovoltaico minimizando consumos de energía convencional, dentro de criterios de racionalidad en el uso de los recursos. Entre ellos fueron diseñados y construidos: Escuela 1-374 Petroleros del Sur en Malmargüe, Escuela Técnica Agraria Moisés Chade, Escuela Nº 4-041 Alicia Moreau de Justo, el Albergue Escuela Nº 8-597 Pedro Scalabrini y la Escuela Nº 4-110 Presidente Nicolás Avellaneda. Para más detalles ver: Esteves y Fernández Llano (2000); de Rosa et al. (1998); Mitchell et al (1999); de Rosa et al. (1993).

Integrantes del Grupo de Investigación del Instituto de Estudios del Hábitat (IDEHAB), de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) exponen trabajos que ejemplifican de alguna manera el desarrollo de una trayectoria de 25 años de la temática del diseño arquitectónico a partir de la experiencia desde la investigación científica, mediado por una conciencia ambiental. Rosenfeld et al. (2005) detallan, entre esos trabajos el conjunto habitacional CESAD compuesto por 30 viviendas solares localizado en la ciudad de La Plata (Provincia de Buenos Aires), que contempló la conservación de energía, calefacción solar, refrescamiento pasivo y calentamiento solar de agua. Se construyó como unidad demostrativa una de las viviendas que fue premiada con Medalla de Plata y certificado del Distrito de Columbia (EUA), en la Segunda Bienal Internacional de Arquitectura de la UIA, INTERARCH-83 de Bulgaria.

Investigadores del Centro de Investigación Hábitat y Energía de la FADU-UBA en el marco del Programa de Asistencia Técnica en Arquitectura Bioambiental, muestran la factibilidad de realizar proyectos de bajo impacto ambiental y alta efi-

ciencia energética, condiciones de confort por medios naturales, implementar estrategias de diseño bioclimático e incorporar sistemas solares en arquitectura. Entre los casos de estudio de Schiller et al. (2002), describen la Estación de Biósfera Yabotí, centro de estudios en biodiversidad en la Selva Misionera para el PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo). La Estación se localiza en una zona caracterizada como climáticamente "muy cálida".

Di Bernardo et al. (1978, 1979) describen la Casa Sol 55. Una organización lineal de los cuerpos principales apoya según los autores la búsqueda de una idea vigorosa reforzando el énfasis de la orientación norte que permite el acondicionamiento natural de todos los lugares de la vivienda y el aprovechamiento pasivo del recurso solar.

En el Instituto de Acondicionamiento Ambiental - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán, el trabajo 'Sustentabilidad en escuelas de Tucumán. Evaluación ambiental y propuestas de optimización' de Ledesma et al. (2016) tiene como objetivo establecer las condiciones ambientales en los espacios de enseñanza, mediante la evaluación de los aspectos higrotérmicos y lumínicos de aulas de escuelas en situaciones climáticas diferentes, a fin de realizar propuestas para mejorar las condiciones de confort ambiental interior a través de un diseño sustentable. Se determinó, además, la valoración subjetiva de los usuarios sobre las mencionadas condiciones ambientales, a partir de encuestas y entrevistas, con el objetivo de reconocer el grado de aceptación y satisfacción que los alumnos y maestros, tienen sobre las condiciones ambientales de las aulas. A partir de los resultados alcanzados los autores propusieron y evaluaron solu-

ciones de diseño particulares para cada escuela que permitirían optimizar las condiciones ambientales interiores, a la vez de disminuir los consumos energéticos. A través de la implementación de las soluciones planteadas, las cuales son de resolución constructiva simple y económicamente viables, pretenden aportar a la sustentabilidad de los edificios escolares analizados, mejorando la calidad de vida de docentes y alumnos y disminuyendo el consumo energético para el acondicionamiento artificial.

El Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Plata, entre sus líneas de investigación prioritaria detalla al estudio de los aspectos ambientales, energéticos, políticos y de gestión, en el marco de la sustentabilidad ambiental y social; el uso eficiente de la energía, su modelización, y la problemática del aprovechamiento de las energías renovables; los estudios territoriales, ambientales y de transporte, Los problemas referentes al cambio climático, al mejoramiento de la calidad de vida urbana y su impacto ambiental y la relación entre el crecimiento urbano regional, el ambiente y el paisaje. El valor del suelo en los procesos de crecimiento urbano. Andersen et al. (2017) en su trabajo "Monitoreo energético y estrategias de *retrofit* para viviendas sociales en clima frío", abordan la aplicación de tecnologías y pautas para el reciclado masivo de viviendas urbanas representativas. Evalúan el comportamiento energético actual en una vivienda social "tipo" con un alto nivel de replicabilidad y cuantifican el potencial ahorro energético al aplicar diversas estrategias de mejoramiento de la envolvente edilicia que permitan arribar a valores admisibles de pérdidas térmicas, de acuerdo con la normativa argen-

tina. Describe la tecnología, el comportamiento térmico y energético de una vivienda perteneciente al barrio “645 Viviendas” (desarrollado por El Instituto de Planificación y Promoción de la Vivienda), ubicada en la ciudad de S. C. de Bariloche, en la zona bioambiental IV, muy fría. El barrio presenta una emergencia energética de gran magnitud, ya que no se encuentra conectado a la red de gas natural. Los autores analizan 24 estrategias de mejoramiento de la envolvente térmica, posibilitando la identificación de las estrategias de mayor impacto en la reducción de la demanda energética.

En el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan., Argentina, Blasco Lucas (2017) en su trabajo “Rehabilitación termoenergética de envolvente en vivienda barrial masiva, localizada en clima semi-árido de Argentina”, y con el fin de proponer variantes que mejoren el comportamiento termoenergético de la envolvente de las viviendas construidas en el Gran San Juan, ciudad oasis, estudia las estrategias de diseño más apropiadas para la región; realiza un diagnóstico y la caracterización higrotérmica y energética de las viviendas, y de sus usuarios y una evaluación microeconómica en el ciclo de vida de las diferentes alternativas seleccionadas para contribuir a una mayor eficiencia termo- energética de la vivienda.

En el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAYHS), Facultad de Arquitectura y Urbanismo de Universidad Nacional de La Plata, Jorge Daniel Czajkowski en el trabajo: “Gestión sustentable de proyectos edilicios y su construcción” (Czajkowski, 2016) detalla: “en la Argentina, la gestión del proyecto y construcción de edificios se ha realizado en gran parte sin tener

en cuenta el clima del sitio, el uso racional y eficiente de la energía, el uso de energías renovables o el contenido energético de los materiales en el cuerpo del edificio. El trabajo trata esta situación que aqueja al país desde la arquitectura y la construcción del hábitat. A modo de conclusión dice el autor, entre otros argumentos, se necesita un programa nacional activo y continuo sobre construcciones sustentables y se debería incorporar el cumplimiento de las Normas IRAM en todos los Códigos de Edificación y reformar el Pliego de bases y condiciones para la obra pública. Es contundente: NO se puede hablar de SUSTENTABILIDAD sin Eficiencia Energética. En el mismo laboratorio, Gómez (2003) evalúa el comportamiento higrotérmico en áreas de reserva y conservación de bienes culturales del Museo Nacional del Grabado. Las condiciones ambientales de la zona templada-húmeda argentina no son favorables para la conservación de bienes culturales. En los establecimientos medidos en los últimos años se registra una permanente situación ambiental que pone en serio riesgo de deterioro del patrimonio cultural. Los responsables de los establecimientos perciben el problema, pero no cuentan con los conocimientos, capacidad de gestión y presupuesto para introducir mejoras. Las soluciones en nuestro medio deben tender a los sistemas pasivos, de bajo mantenimiento, ideales para estas situaciones donde los presupuestos son escasos. Esto debe ser acompañado con un minucioso plan de conservación basado en el trabajo con los profesionales a cargo de las instituciones.

EDIFICIOS BIOCLIMÁTICOS EN LA PROVINCIA LA PAMPA.

Se plantea una reseña más detallada de los estudios en la Pampa dado que las autoras del presente trabajo

han estado involucradas en el diseño, la simulación y el monitoreo térmico-energético cuyos resultados permiten mostrar los beneficios de los edificios bioclimáticos. En la provincia los edificios son convencionales⁵ por lo tanto no responde a pautas que tiendan a minimizar el consumo de energía fósil. Poseen Coeficiente Volumétrico de Pérdidas (G) que superan los valores establecidos por la Norma IRAM⁶ 11604. Dentro del total de energía consumida anualmente por los edificios escolares el consumo de gas natural, de alta variabilidad estacional, absorbe un porcentaje de alrededor del 90 %, y su destino final es la calefacción de los espacios.

En este marco, a partir de 1993 se inicia la construcción de edificios bioclimáticos promovidos por instituciones públicas, principalmente por la Universidad Nacional de La Pampa, el Ministerio de Educación de la provincia de La Pampa y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. En la Tabla 1 se observan las coordenadas geográficas y algunos datos climáticos de cada localidad donde fueron emplazados. Los objetivos tenidos en cuenta al diseñar fueron: minimizar el consumo de energía convencional en el acondicionamiento térmico y lumínico, optimizar las condiciones de confort de sus usuarios, usar tecnología tradicional y minimizar el sobre costo de inversión de los recursos bioclimáticos de diseño. Las estrategias de diseño: solarización y una envolvente energéticamente eficiente, ventilación e iluminación natural. La correcta solarización se obtuvo a partir de la ubicación de las áreas transparentes al norte con aleros y/o protecciones exteriores para sombrear en verano. El diseño arquitectónico se caracteriza por la compacidad y un valor de FAEP menor a 2 (Esteves et al., 1997). Desde el punto de vista tecnológico cada

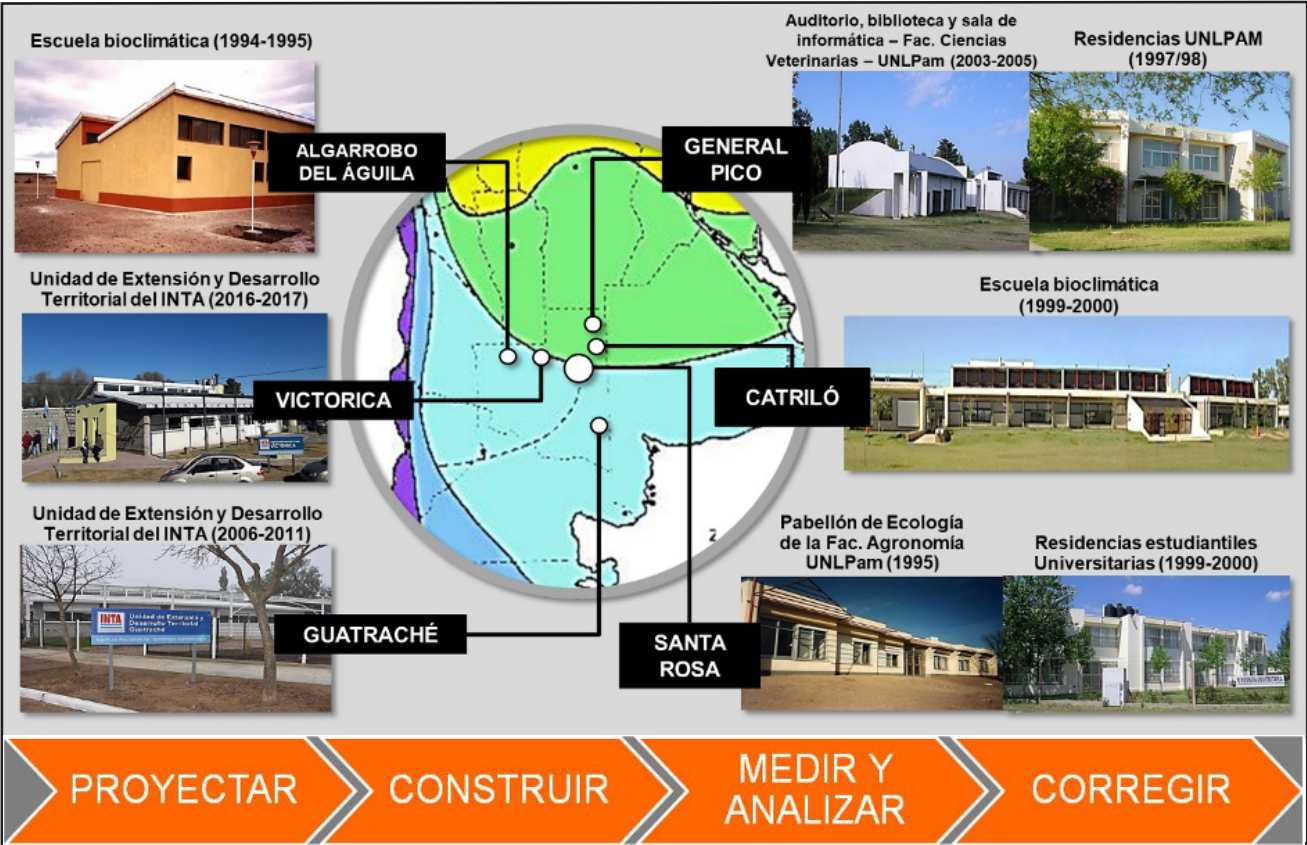


Figura 3: Edificios construidos y monitoreados entre 1994 y 2018 en la provincia de La Pampa.

Tabla 1: Coordenadas geográficas y algunos datos climáticos.

LOCALIDAD	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)	TEMPERATURA MEDIA (°C)			GRADOS-DÍA ANUAL (base 18°C)	RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL (MJ/m²)	PRECIPITACIÓN (mm)
				ANUAL	MÍNIMA (Julio)	MÁXIMA (Enero)			
ALGARROBO DEL ÁGUILA	36.2	66.1	320	15.6	-0.6	33.3	1646	18.8	340
GUATRACHÉ	37.4	63.3	175	14.6	1.1	31.5	1505	18.8	620
VICTORICA	36.2	65.4	312		1.8	31.5	1396	23.4	380
SANTA ROSA	36.6	191	189	15.5	1.4	30.5	1545	16.3	726
CATRILÓ	36.2	66.5	320	15.1	0.5	30.5	1620	16.3	800
GENERAL PICO	35.7	63.8	145	15.8	1.8	30.3	1187	16.4	900

edificio tiene su particularidad, pero en general tienen sus paredes exteriores con de tres capas: 1- una pared maciza de ladrillo que le otorga la masa térmica que almacena la energía solar que ingresa por las ventanas, 2- una capa de aislante térmico y 3- una última capa hacia el exterior, que protege a la anterior y otorga la impronta al edificio. La cubierta está formada por una estructura resistente, la aislación térmica y la impermeabilización hidrófuga, común a cualquier techo. Las áreas transparentes son de doble vidrioado hermético. Los cimientos están aislados para disminuir las pérdidas energéticas hacia el suelo de fundación. La tecnología permite alcanzar valores de un Coeficiente Volumétrico de Pérdidas (G) que satisfacen los requerimientos de la Norma IRAM 11604 (2001).

■ EDIFICIOS NO RESIDENCIALES:

ESCUELA EN ALGARROBO DEL ÁGUILA

Las escuelas son casos particulares puesto que su período de uso diario concuerda con la mayor disponibilidad del recurso solar y además son edificios con altas cargas internas de energía. La escuela fue la primera experiencia de un edificio bioclimático construido en el ámbito oficial de la provincia, ubicada en el oeste de La Pampa en un ambiente típicamente desértico. La región acusa una densidad poblacional de 0,06 a 0,1 hab/km², con el mayor índice de analfabetismo y el mayor porcentaje de necesidades básicas insatisfechas. El proyecto se desarrolló en una tira de ocho módulos lo que abarcó una superficie total de 357 m². Mediante un quiebre en la cubierta, además de las aulas, también poseen ganancia solar directa al Norte la zona de la administración y los servicios, ubicadas al Sur



(Filippín et al., 1993). Las paredes y los techos tienen aislación térmica de acuerdo con la descripción de párrafos anteriores en Edificios Bioclimáticos en la Provincia de La Pampa y según muestra la Figura 4. Durante 1995 las experiencias realizadas con las maestras y los alumnos mostraron temperaturas exteriores de -10 °C en el mes de julio, y en las aulas 14 °C al mediodía sin calor auxiliar (Ver Filippín y de La Mata, 1995). La encuesta socio-ambiental realizada indicó que, si bien suelen considerarse para el diseño temperaturas mínimas de confort alrededor

de los 18 °C, en este caso particular los alumnos y docentes encuestados dijeron encontrarse en situación de confort térmico con 17 °C. Aún con la posibilidad de poner en funcionamiento los calefactores, éstos permanecieron apagados la mayor parte del tiempo por considerarse innecesarios. El consumo anual de energía en calefacción en 2003 corresponde a un 90 % de ahorro respecto a una escuela de diseño y tecnología convencional para la región en estudio, con lo cual se alcanzó exitosamente el objetivo primordial de diseñar un edificio energética-

mente eficiente cuyo costo no superara al de una obra convencional. Una conducta acorde con los principios del uso racional de la energía se mantiene desde la inauguración del edificio en el año 1995 (Filippín et al., 2005).

PABELLÓN DE ECOLOGÍA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA (UNLPAM)

En año 1993 docentes e investigadores de la cátedra de Ecología de la Facultad de Agronomía de la UNLPam solicitan la construcción de un edificio bioclimático. El diseño tuvo desde el inicio un fuerte condicionamiento, su costo, que no debía superar al de un edificio de tecnología convencional. Es de tipología compacta con sus seis oficinas orientadas al norte. Los laboratorios se ubican al sur pero con captación solar a través de ventanas altas al norte. Las distintas áreas funcionales ocupan una superficie de 315 m² y un volumen de 631,5 m³. El sistema de refrescamiento está integrado por intercambiadores de calor aire - tierra y aspiradores estáticos en la cubierta. El sistema refuerza la ventilación cruzada a través de ventanas.

Su construcción finalizó y se habilitó en julio de 1995. Se inicia en forma inmediata un plan de monitoreo en condiciones reales de ocupación con el objeto de evaluar el comportamiento térmico. Según un informe de los usuarios no hubo calefacción auxiliar y las cortinas de enrollar se levantan totalmente y se bajan, a las 8 y 18h. Amplitudes térmicas de 6 y 19 °C, interior y exterior respectivamente son el resultado de las mediciones realizadas en el período señalado. El consumo anual promedio de energía en calefacción significó un ahorro del 76.5% para un edificio de bajo consumo de acuerdo con Sartori y Hestnes

(2007). El mayor consumo de gas se registró en junio, julio y agosto para el período 1998-1999. En el mes de febrero de 1996 se registran temperaturas interiores, sin acondicionamiento artificial, de 27,4 y 26,6 °C máxima y mínima respectivamente, valores que se ubican en el límite del área de confort sin ningún tipo de acondicionamiento artificial. La incorporación de la ventilación como parte del sistema de refrescamiento favorece la situación de bienestar. En función de los resultados obtenidos el nivel de confort alcanzado, sin acondicionamiento artificial en verano y con ahorro de energía en calefacción resultó superior a cualquier edificio construido tradicionalmente (Filippín et al., 1996; Filippín et al., 1998). Luego de 22 años de uso del edificio se realizó un análisis termográfico sobre el sector sudoeste de la envolvente. Los resultados mostraron que no hay patologías constructivas relevantes, esto permite inferir que el sistema constructivo utilizado en muros y techos fue adecuado y que soporta adecuadamente el paso del tiempo, a diferencia de otros sistemas constructivos aislados como el descrito en Nardi et al. (2016), que en menos de 7 años ya evidenció considerables deficiencias. Se considera que fue crucial la inspección meticulosa en obra al momento de la instalación de las aislaciones, lo cual aseguró la correcta instalación de las mismas (Filippín y Flores Larsen, 2017).

AUDITORIO PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

El proyecto del edificio cubre un área de más de 600 m². La región corresponde a un clima templado frío. En marzo de 2000 fue inaugurado el auditorio con capacidad para 200 personas. Por la función

específica del edificio y por tratarse de una construcción de uso intermitente y de alta densidad de ocupación, las pautas de diseño fueron: edificio energéticamente eficiente, lumínicamente controlable y rápida respuesta del ambiente interior al sistema de climatización artificial. En el mes de Junio del 2000 se inició el monitoreo para analizar el comportamiento térmico del auditorio sin usuarios pero con climatización artificial concentrada en tres días. Para el período comprendido entre el 19 y el 30 de Junio de 2000 los registros mostraron una respuesta inmediata del edificio al encendido de la calefacción. (Filippín et al., 2000).

ESCUELA EN CATRILO

Se localiza en un entorno de viviendas de baja densidad de una sola planta. El acceso principal se plantea hacia el SE. Un espacio abierto al norte permite el desarrollo de actividades lúdicas y deportivas. Todas las áreas destinadas a las actividades de enseñanza - aprendizaje tienen ganancia solar directa. El área de recursos pedagógicos combina ganancia solar directa e indirecta (colectores de aire). Se adosa al laboratorio un invernadero concebido como espacio destinado a actividades pedagógicas y de compensación térmica. Entre la circulación y las áreas pedagógicas se incorporan ventanas, como estrategia de diseño para integrar visualmente los espacios, y como estrategia de climatización para minimizar la zonificación térmica. La tecnología empleada en la envolvente persiguió dos aspectos: almacenar en el interior la energía captada y minimizar las pérdidas. El edificio posee un coeficiente volumétrico de pérdidas (G) de 0.94 W/°Cm³. La cifra ofrece una reducción de más del 50 % respecto al valor promedio de edificios escolares en la región en estudio. El uso de ventanas entre zonas pasivas (áreas peda-

gógicas) y zonas no pasivas (circulación), permitió un intercambio de calor que favorece la climatización natural de la circulación y la atenuación del sobrecalentamiento en las áreas asoleadas. El consumo anual de energía en calefacción corresponde a un ahorro del 49 % respecto a una escuela convencional, para alcanzar una temperatura promedio interior adecuada. En una segunda etapa del monitoreo, y como parte de un proyecto educativo institucional, participaron brigadas de alumnos en la toma de datos en medidores de gas. Se mantuvieron temperaturas que en ciertos momentos superaron los 27 °C. El ahorro se podría optimizar sin perturbar el confort de los usuarios (Filippín, 2005). El análisis de los resultados del monitoreo permitió hacer sugerencias al personal directivo y de maestranza de la escuela solar para eficientizar el sistema de calefacción sin perturbar el bienestar.

AUDITORIO CON ACONDICIONAMIENTO SOLAR CONSTRUIDO EN LA LOCALIDAD DE GENERAL PICO PARA LA UNLPAM

El edificio fue inaugurado en junio de 2005. La superficie de la sala para 200 personas es de 252 m². El edificio fue monitoreado y debido a que el edificio es de uso intermitente, interesan las temperaturas promedio durante el periodo de ocupación (8:00 a 19:00): la media exterior fue de alrededor de 9 °C, mientras que la media en el Auditorio fue de 15°C. El análisis para este periodo indica que, debido al termostato automático, la temperatura interior nunca descendió de los 20 °C, siendo prácticamente independiente de las condiciones climáticas exteriores. Durante el verano el Auditorio se comportó satisfactoriamente: para días con máximas exteriores de hasta 30 °C, los valores máximos en el

interior raramente alcanzaron los 27 °C, por lo que el edificio se encontró siempre dentro de la zona de confort aún con el aporte metabólico de 200 alumnos. Este logro es muy importante debido a que las condiciones climáticas de la localidad preveían un sobrecalentamiento del edificio si no se aplicaban técnicas de acondicionamiento adecuadas. La situación se vio favorecida con la incorporación de los toldos de sombreado sobre los colectores solares. Solamente para días con temperaturas exteriores más altas (mayores a 35 °C), sería necesario el uso de un equipo de aire acondicionado si se quiere mantener la temperatura in-

terior por debajo de los 28 °C (ver Flores Larsen et al., 2008).

UNIDAD DE EXTENSIÓN Y DESARROLLO TERRITORIAL DEL INTA EN GUATRACHÉ (LA PAMPA)

El edificio se terminó de construir en marzo de 2011. La localidad de Guatraché se ubica en el extremo SE de la provincia. Perteneció a una región sub-húmeda seca, de mesetas, valles, colinas y planicies con cultivos, pastizales bajos y bosques abiertos. El diseño priorizó además de la climatización natural de los espacios, la flexibilidad, su bajo costo de operación y mantenimiento, y

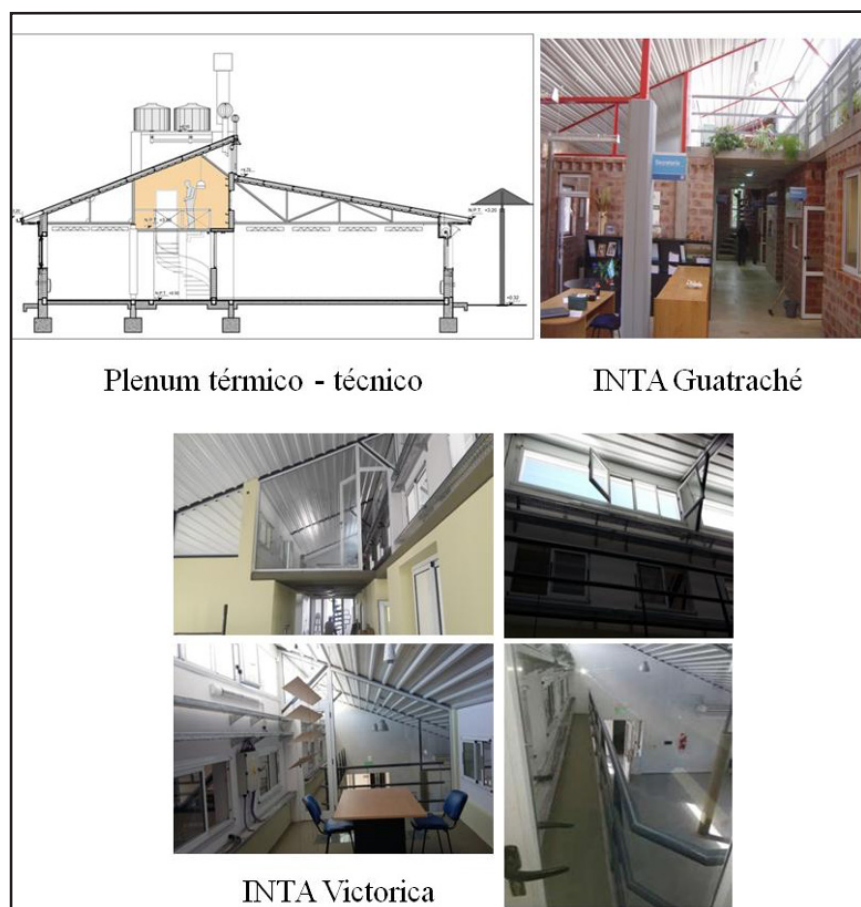


Figura 5: Plenum técnico-térmico, un elemento determinante del diseño bioclimático. Permite regular la ventilación natural entre el sector norte y sur del edificio, favorece la iluminación natural en una parte del sector sur. Facilita la apertura y limpieza de ventanas altas.

una zonificación clara de las distintas áreas funcionales, que se distribuyen sobre un eje E-O con áreas transparentes al norte. El edificio tiene una superficie de 269 m². La resistencia térmica de la envolvente, como en todos los edificios, se logra a través de paredes de tres capas y techos con aislación térmica. Un elemento determinante del diseño es un *plenum* técnico-térmico, con ventanas hacia el ecuador, que se ubica entre la zona norte y la zona sur y a 2,40 m de altura sobre la circulación, área que aloja todas las instalaciones y además actúa como un sector captador-almacenador-compensador de energía solar. El *plenum* fue pensado como un 'volante térmico' que permitiera operar el edificio de modo distinto según las estaciones: reforzará el calentamiento del sector sur del edificio a través de la apertura de las ventanas que se ubican entre ambos sectores y por otro, permitirá un manejo cómodo y conveniente de las ventanas altas para optimizar la ventilación natural y cruzada en verano (ver Figura 5). El costo extra por solarización y conservación fue de alrededor del 8 % (Filippín y Marek, 2010). El consumo energético en calefacción sólo superó en un 5% al valor definido para un edificio de bajo consumo según Sartori y Hestnes (2007). El monitoreo mostró que el comportamiento térmico y el desempeño energético cumplieron con las expectativas tanto de los diseñadores como de los usuarios, y se considera satisfactorio y prometedor para edificios de bajo consumo de energía. (Filippín et al., 2015)

UNIDAD DE EXTENSIÓN Y DESARROLLO TERRITORIAL DEL INTA VICTORICA

El diseño es compacto con un área de 298 m² un índice de compacidad del 95 % y un valor de FAEP (relación envolvente/área útil) de 1,61,

que indicaría la eficiencia energética del sistema. El área colectora solar (área de vidrio efectivo) es del 7 % del área útil del edificio. Las áreas funcionales se distribuyen según un eje E-O. Las oficinas están orientadas hacia el norte y tienen acristalamiento transparente para la ganancia solar directa en invierno. El sector sur aprovecha el recurso solar a través de ventanas altas. La sala de usos múltiples (SUM) está destinada a actividades de divulgación de tareas propias de la institución y de socialización, y está ubicada en el lado NW y mirando hacia el norte. Esta área está conectada con el resto del edificio (gestión-extensión-investigación) a través de una circulación de este a oeste. Un elemento a destacar es el *plenum* técnico-térmico, que tiene ventanas que dan al ecuador y se ubica entre las áreas norte y sur, a una altura de 2,40 m por sobre el pasillo. Este sector debería actuar como regulador de los flujos de aire y energía con un acceso fácil para la apertura de ventanas que favorecen la ventilación natural cruzada en verano y su cierre en el invierno evitando la estratificación térmica con la administración.

Los resultados del monitoreo experimental muestran un entorno térmicamente aceptable. El área colectora al norte del 7 % respecto al área útil es apropiada. El ambiente interior del edificio es térmicamente aceptable durante invierno y verano. El consumo anual de energía en calefacción significó un ahorro del 33% según Sartori y Hestnes (2007). La reducción del área vidriada efectiva al norte a un 7 % de la superficie útil del edificio, sumada a una envolvente energéticamente eficiente, permitió alcanzar el confort térmico con un importante ahorro energético. En el verano, aleros y protecciones externas de las áreas transparentes contribuyen a minimizar el ingreso de radiación solar. Por

otro, lado, los usuarios tuvieron una participación activa en el uso de los sistemas pasivos y mecánicos en invierno y verano en acuerdo con las sugerencias realizadas por los profesionales responsables del diseño. Para la semana más calurosa (enero 8-12/2018), el pico de consumo se presenta después del mediodía, debido al uso de refrigeración. Finalmente es pertinente destacar dos aspectos que influyeron en el éxito de este edificio. En primer lugar, se pudo realizar un proceso ordenado y sistemático de estudio durante todas las etapas del edificio, desde el pre-diseño, diseño y construcción hasta su habilitación y monitoreo en condiciones de funcionamiento con una participación activa de los usuarios. En segundo lugar, fueron de fundamental importancia los procedimientos y actitudes de los propios usuarios en cuanto al uso de los sistemas de acondicionamiento natural y/o mecánicos, permitiendo una transferencia de tecnología exitosa al sector público. (Filippín et al., 2020).

■ EDIFICIOS RESIDENCIALES

RESIDENCIAS ESTUDIANTILES EN GENERAL PICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA.

Para reducir los costos de construcción y mantenimiento, los 12 departamentos se ubican en tres módulos de dos plantas y cuatro departamentos cada uno. La disposición interior de los locales permite que todos ellos, excepto los sanitarios, posean ganancia solar directa. Las áreas transparentes tienen aleros exteriores que permiten el control solar en épocas de mayor radiación. El monitoreo higrotérmico y energético mostró, para el período comprendido entre el 9 de septiembre y 30 de noviembre de 1999, una tendencia creciente de la temperatura exterior,

caracterizada por una alternancia de períodos cálidos y frescos. Para esta situación climática, ante el mismo diseño y tecnología, y la misma ubicación espacial pero distinta orientación, se observó una variación de casi 5 °C entre los registros de los departamentos de planta alta, este y oeste. Para el período comprendido entre el 17 de diciembre de 1999 y el 3 de enero de 2000, con los departamentos ya desocupados, se observa una predominancia de días con temperaturas máximas superiores a los 25 °C. La evolución de la temperatura mostró un flujo de calor desde planta alta hacia planta baja, y desde el oeste hacia el este. La posibilidad de realizar una encuesta en forma simultánea con el monitoreo permitió integrar la componente social con aspectos técnicos y energéticos. En la mayoría de los departamentos el horario de apertura de las cortinas y de las ventanas fue el adecuado durante el invierno, no así durante la primavera y el verano. Hay una preponderancia a considerar a la vivienda como muy calurosa en la primavera. La apertura de las ventanas en horarios inadecuados, además del encendido de los calefactores para secar la ropa, contribuyó al incremento de la temperatura. El consumo real de gas promedio en las 12 unidades habitacionales y refleja la asociación del comportamiento térmico con los hábitos y costumbres de los usuarios. Los valores acusaron algo más de un 60 % de ahorro respecto a viviendas de diseño y tecnología convencional (Filippín et al., 2001).

RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS EN SANTA ROSA

El conjunto de los 12 departamentos para estudiantes de escasos recursos de la Universidad Nacional de La Pampa se ubica en la periferia de la ciudad de Santa Rosa y en dos bloques. Cada departamento tiene una

superficie de 50 m² con capacidad para 4 estudiantes. La pauta inicial fue diseñar un edificio energéticamente eficiente cuyo costo no superara al de una obra convencional. La disposición interior de los locales permitió que todos ellos, excepto los sanitarios, tuvieran ganancia solar directa al norte. Las ventanas se resolvieron con carpintería de aluminio y doble vidriado hermético, sin protecciones solares exteriores. Se colocaron cortinas interiores de tela tipo blackout. Los aleros permiten tener control sobre la ganancia solar en épocas de mayor radiación. Coberturas vegetales en las pérgolas contribuyen a minimizar aún más la radiación recibida en los meses de verano y estaciones intermedias. Las paredes exteriores son tri – capa con aislación térmica de poliestireno expandido. La envolvente horizontal está constituida por losa cerámica, barrera de vapor y poliestireno expandido y un hormigón de perlita de 0,10 m de espesor.

Los edificios fueron inaugurados a finales de diciembre de 2000. La temperatura horaria en los seis departamentos estuvo comprendida entre 17,5 y 27°C. El ahorro de energía en calefacción fue de algo más del 50 % según los casos (Filippín et al., 2002).

■ CONCLUSIONES

Este artículo describe, de manera resumida, las principales construcciones bioclimáticas escuetamente obras bioclimáticas ubicadas en diferentes países con situaciones socioeconómicas y desarrollos tecnológicos diversos. Se exponen experiencias y trabajos de investigación en Argentina. Con mayor detalle, se reseñan los edificios bioclimáticos diseñados y construidos en la región árida, semiárida y sub-húmeda de La Pampa. Se muestran datos concretos del consumo

y del ahorro de energía anual para climatizar los espacios de edificios públicos preservando el confort de los usuarios.

Las tecnologías de diseño y construcción han demostrado ser efectivas para suavizar el impacto interior de las condiciones exteriores altamente variables. Se evidenció que no se debe subestimar la consideración de los factores socioambientales en cuanto a los procedimientos y actitudes de los propios usuarios respecto al uso de los sistemas de acondicionamiento natural y/o mecánicos.

Los esfuerzos de diseño y construcción pueden ser completamente inútiles si los habitantes y usuarios no comprenden y manejan adecuadamente los problemas térmicos en los edificios. Claramente, en el futuro se debe poner más énfasis en la comprensión y aplicación de las reglas de buenas prácticas por parte de los usuarios para superar alguna desventaja. El cambio de gestión y de usuarios y el escaso mantenimiento de los edificios condiciona año a año el comportamiento energético y ambiental.

El objeto arquitectónico puede y debe contribuir al ahorro de energía: en el camino de la transición energética y en la mitigación de los efectos del cambio climático. Por un lado, es imprescindible diseñar, construir, medir y corregir a partir de las debilidades y fortalezas observadas en cada caso y en cada etapa del proceso. Asimismo, se requiere minimizar la fragmentación entre los actores involucrados (diseñadores, constructores, comitentes, especialistas, usuarios, etc.), que son fundamentales el diálogo y el compromiso pertinentes a cada etapa del proceso, con el objetivo de disminuir discrepancias entre la estimación de la energía a consumir por el edificio y

el valor real de energía determinada por sus ocupantes. Se fomentará, de este modo, el sentido de pertenencia del usuario con participación activa en el período de uso del edificio bioclimático. Por otro lado, los edificios diseñados hoy deben satisfacer no solo los requisitos arquitectónicos y funcionales del momento, sino también considerar las condiciones climáticas a futuro. El aumento gradual de las temperaturas del planeta a causa del cambio climático se estima impactará en el consumo de energía de los edificios destinada a calentamiento y enfriamiento. Una amplia difusión de mejores prácticas en la arquitectura que hagan uso de tecnologías existentes y ya rentables contribuiría a alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en un contexto político de apoyo internacional y promoción activa en la lucha contra el cambio climático.

■ REFERENCIAS

- Andersen, M.; Discoli, C.A.; Viegas, G.M.; Martini, I. (2017). Monitoreo energético y estrategias de retrofit para viviendas sociales en clima frío. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 7, N°. 2. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 50-63 <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.05>
- BBC (2018). <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-44941181>
- Bhamare, D.K.; Rathod, M.K.; Banerjee, J. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *Energy and Buildings* Volume 198 (2019) 467-490
- Blasco Lucas, I. (2017). Rehabilitación termo-energética de envolvente en vivienda barrial masiva. Localizada en clima semi-árido de Argentina. En *Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions*. (305-319), Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Camilloni, I. (2008). *Ciencia Hoy*, Volumen 18 número 103 febrero-marzo 2008.
- Camilloni, I. (2018). Argentina y el cambio climático, *Revista CEL, Ciencia e Investigación*, Tomo 68, N_5 (2018). Edición: Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC), www.aaargentinapciencias.org.
- Czajkowski, J.D. (2016). Gestión sustentable de proyectos edilicios y su construcción. En: *Hacia el uso racional y eficiente de la energía en la Administración Pública Nacional*. Documentos IEDS sobre Ciencia y Tecnología ISBN: 978-987-1323-47- p.145-161.
- De Rosa, C.; Esteves, A.; Basso, M.; Cortegoso, J.L.; Cantón, M.A.; Pattini, A.; Guisasola, M. (1993). Solarización de la Escuela Yapeyú, San Carlos, Provincia de Mendoza. *Primeros Resultados*. Argentina. Salta. 1993. Artículo Completo. Workshop. XVI Reunión de Trabajo de ASADES'93.
- De Rosa, C.; Basso, M.; Esteves A.; Pattini A.; Fernández, J.C.; Cortegoso, J.L.; Mitchell, J.; Guisasola, M.; Lesino, G.; Saravia, L. (1999). Escuela solar técnico agraria en Mendoza. *Análisis del beneficio invernal de la incorporación de un invernadero adosado*, *Rev. ERMA*. Vol. 1 (1999) pp. 11-19. Salta. Argentina
- EEA, 2012. *Urban adaptation to climate change in Europe* —European Environment Agency, European Environment Agency, 2012 (último acceso: 02/08/18). <http://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>.
- Esteves, A.; Gelardi, D.; Oliva, A.L. (1997). The shape in bioclimatic architecture, in: Marco Sala (Ed.), *II Teaching in Architecture Conference*. Cap. 3, Florence, Italy, pp. 12–18.
- Esteves, A. y Fernández Llano, J. (2000). Sistema de enfriamiento subterráneo para escuelas. Evaluación de su funcionamiento en la escuela Alicia Moreau de Justo, Mendoza, Argentina. *Brasil. Porto Alegre*. 2000. Libro. Artículo Completo. Congreso. Congreso de Ar Condicionado, refrigeración, calentamiento e ventilación del Mercosul. Mercofrio 2000.
- Filippín, C.; Esteves, A.; Pattini, A.; De Rosa, C. (1993). Primera Experiencia de una Escuela Solar en un Ecosistema Árido de la Provincia de La Pampa. *Actas de la XVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*. La Plata, Argentina. 1 (1993) 189 - 197.
- Filippin, C. y De La Mata, M. (1995). Primera Experiencia de una Escuela Solar en un Ecosistema Árido de la Provincia de La Pampa. *Primeros Resultados*. Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar. San Luis, Argentina. 1 (1995) 02.61-02.67.
- Filippín, C.; Esteves, A.; De Rosa, C.; Cortegoso, L.; Beascochea, A.; Estelrich, D. (1996). Un Edificio Solar Pasivo para la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. *Energías Renovables y Medio Ambiente*. 1 (1996) 41-48.

- Filippín, C.; Beascochea, S.; Esteves, A.; De Rosa, C.; Cortegoso, L.; Estelrich, D. (1998). A Passive Solar Building for Ecological Research in Argentina: The First Two Years Experience. *Solar Energy* Vol.63, No. 2 (1998) 105-115.
- Filippín, C.; Beascochea, A.; Lesino, G. (2000). Comportamiento térmico de un sector del pabellón de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Pampa, Comunicaciones del XXIII Congreso de ASADES, 05.09-05.10.
- Filippín, C.; Lesino, G.; Beascochea, A. (2001). Comportamiento térmico y energético de viviendas solares para estudiantes de escasos recursos en La Pampa. *Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol.9 (2001) 25-34. ISSN 0328-932X.
- Filippín, C.; Beascochea, A.; Gorozurre, A.J. (2002). Una escuela solar en la provincia de La Pampa. Diseño y tecnología. Comportamiento higrotérmico y energético en el período invernal. *Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol.10, 2002, 23-32. ISSN 0328-932X
- Filippín, C. (2005). Thermal response of solar and conventional school buildings to design- and human-driven factors, *Renewable Energy* 30 (2005) 353-376.
- Filippín, C.; Flores Larsen, S.; Marek, L.; Lesino, G. (2005). Monitoreo higrotérmico, energético y socio ambiental de una escuela solar en la provincia de La Pampa. *Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 16 (2005) 1-8, Argentina ISSN 0328-932X
- Filippín, C. y Marek, L. (2010). Edificio Bioclimático para la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del INTA en Guatraché (La Pampa). IN: *Arquitectura Sostenible. Bases, soportes y casos demostrativos* Compiladora: Beatriz Garzon. 1ª ed. Buenos Aires: Nobuko, 2010. 238p. ISBN: 978-987-584-295-3. pp. 53-69.
- Filippín, C.; Flores Larsen, S.; Marek, V. (2015). Experimental monitoring and post-occupancy evaluation of a non-domestic solar building in the central region of Argentina. *Energy and Buildings* 102 (2015) 18-31
- Filippín, C. y Flores Larsen S. (2017). Evaluación de la performance energética y el estado de conservación de una envolvente a través de la termografía. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 5, pp. 05.01-05.11, 2017. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- Filippín, C.; Flores Larsen, S.; Marek, L. (2020). Performance térmico-energética de un edificio bioclimático en una zona de alta radiación de Argentina (2020). *Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol.45 (2020) 21-31.
- Flores Larsen, S.; Filippín, C.; Beascochea (2008). A. Eficiencia energética en un edificio no-residencial de uso intermitente y altas cargas internas en Argentina. *Ambiente Construido*, Porto Alegre, v. 8, n. 1 (2008) 37-48, jan./mar. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- Flores Larsen, S.; Rengifo, L.; Filippín, C. (2015). Double skin glazed facades in sunny Mediterranean climates. *Energy and Buildings* 102 (2015) pp. 18-31, Ed. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.enb.2015.07.001>
- [unsa.edu.ar/index.php/es/edificios/edificio-palermo-ciudad-de-salta-1200m/](https://www.unsa.edu.ar/index.php/es/edificios/edificio-palermo-ciudad-de-salta-1200m/)
- Flores Larsen, S.; Filippín, C.; Barea, G. (2019). Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina, *Energy Build.* 184 (2019) 216-229.
- Flores Larsen, S.; Filippín, C. (2021). Energy efficiency, thermal resilience, and health during extreme heat events in low-income housing in Argentina, *Energy Build.* 231 (2021) 110576.
- Garzón, B. (2007). *Arquitectura bioclimática*. 1a ed. – Buenos Aires: Nobuko, 2007. 184 p. ISBN 978-987-584-096-61.
- Gauzin-Müller, D. (2002). Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona, España.
- Giambartolomei, M. (2013). “La segunda ola de calor más larga desde 1906”. Buenos Aires: La Nación. Archivado desde el original el 27 de diciembre de 2013. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20131227063453/http://www.lanacion.com.ar/1651000-la-segunda-ola-de-calor-mas-larga-desde-1906>
- Gomez, A. (2003). Evaluación del comportamiento higrotérmico en áreas de reserva y conservación de bienes culturales. Caso museo nacional del grabado, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 7, N° 1, 05.49-05.53 2003. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- Gonçalves, H. (2005). Los Edificios Bioclimáticos en los Países de Ibero América. Libro de Ponencias. Editor y Coordinador de la

- Red CYTED "Red Ibero Americana para el Uso de Energías Renovables y Diseño Bioclimático en Viviendas Y Edificios de Interés Social" INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, IP, Departamento de Energias Renováveis Estrada do Paço do Lumiar 1648 038 Lisboa. Programa CYTED 2005
- Hernandez, A. y Lesino, G. (2007). Diseño y simulación computacional de sistemas pasivos y activos de calentamiento de aire para el nuevo hospital materno infantil de la localidad de Susques, provincia de Jujuy. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11* (2007) 05.81 – 05.88. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184 http://www.arq-sustentable.net/ejemplos_hospital.html
- Ibarra, P.M. y Lesino, G. (2007). "Barrio solar —FONAVI 15 viviendas, 1985 -2007 - Cachi, provincia de Salta, Argentina". Libro de ponencias: Los Edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad. Red CYTED Red Iberoamericana Para El Uso De Energías Renovables y Diseño Bioclimático En Viviendas Y Edificios De Interés Social (405RT0271), San Luis, Argentina, 2007. Disponible en: https://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1329/1/Semin%C3%A1rio_20_Cyted_San_Luis2007.pdf
- IRAM 11604 (2011), Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. Buenos Aires.
- IRAM 11605 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Buenos Aires, Argentina.
- Lesino, G.; Saravia, L.; Caso, R.; Requena, R. (1988). Actas del 2º Congreso Iberoamericano de Energía Solar, pp 347. Porto, Portugal 1988. http://www.arqsustentable.net/ejemplos_inta.htm
- Mitchell, J.; de Rosa, C.; Esteves, A.; Pattini, A.; Basso, M.; Cantón, A.; Mesa, A.; Fernández, J.C.; Cortegoso, J.L. (1999). Escuela Marcelino Blanco. Un edificio energéticamente eficiente en el este de Mendoza, ASADES'99. Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Publicado en actas. Vol.3, N°2 (1999) pp.5.17-20.
- Nardi, I.; de Rubeis, T.; Perilli S. (2016). Ageing Effects on the Thermal Performance of Two Different Well-Insulated Buildings. *Energy Procedia* 101, pp. 1050-1057.
- Pajek, L.; Košir, M. (2017). Can building energy performance be predicted by a bioclimatic potential analysis? Case study of the Alpine-Adriatic region, *Energy Build.* 139 (2017) 160–173, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.035>.
- Pajek, L.; Potočnik, J.; Košir, M. (2022). The effect of a warming climate on the relevance of passive design measures for heating and cooling of European single-family detached, Buildings. *Energy & Buildings* 261 (2022) 11947
- PSR (2018). Physicians for Social Responsibility. "Health Implications of Global Warming: Heat's Deadly Effects". Disponible en: www.psr.org.
- Sartori, I. y Hestnes, A.G. (2007). Energy Use in the Life Cycle of Conventional and Low-Energy Buildings: A Review Article. *Energy and Buildings*, 39, 249-257.
- Secretaría de Energía. Programa de ahorro y eficiencia energética en edificios públicos. Programa de uso racional y eficiente de la energía en edificios públicos. Informe de resultados de unidades de demostración. Consultado en setiembre 2021, en: www.energia.gob.ar.
- SMN (2018). Servicio Meteorológico Nacional. <https://www.smn.gob.ar>
- Sufrategui, F. (1994). Sistemas y componentes. Parámetros que caracterizan a los componentes solares pasivos, *CIEMAT, IER*, (1994) p 25.
- Wikberg, F. y Ekholm, A. (2011). Design Configuration with Architectural Objects. In T. Zupancic, S. Verovsek, M. Juvancic, & A. Jutraz (Ed.), *eCAADe - Education in Computer Aided Architectural Design in Europe*. 29, pp. 451-460. Ljubljana, Slovenia: eCAADe (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe) and UNI Ljubljana, Faculty of Architecture. Retrieved from <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2201256&fileId=2201262>
- WHO (2014), World Health Organization. "Quantitative Risk Assessment Of The Effects Of Climate Change On Selected Causes Of Death, 2030s And 2050s", WHO Press, 2014. [http:// www.who.int/globalchange/publications/](http://www.who.int/globalchange/publications/)

quantitative- risk- assessment/en/ (último acceso: Julio de 2018).

■ AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Dr. Jaime Moragues quien en vida nos convocó e inspiró a escribir el presente documento; al Dr. Julio Durán (CNEA) por sus importantes aportes y comentarios; y a la Lic. Stella Spurio (Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable - CNEA) por su colaboración en algunas tareas de diseño gráfico.

Nuestro agradecimiento a las instituciones públicas que permitieron realizar cada una de las transferencias en la provincia de La Pampa. Nuestro reconocimiento a los usuarios que contribuyeron a la obtención de datos y a quienes estaban a cargo de la gestión que permitieron el monitoreo de cada edificio.

■ NOTAS

1 Los objetos arquitectónicos son definidos por Wikberg & Ekholm (2011) como objetos que tienen propiedades técnicas, funcionales y estéticas, que representan situaciones reales de actividad en un proyecto de diseño. Cada objeto puede tener propiedades variables relacionadas con su actividad y elementos de construcción

2 *Capacidad calorífica*: cantidad de calor necesario para elevar en una unidad de temperatura la masa de un sistema.

Coefficiente volumétrico G de pérdida de calor: flujo de calor que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen y por unidad de diferencia de temperatura en régimen estacionario (IRAM 11604)

Envoltente: cerramiento del edificio. Incluye tanto los opacos como

los transparentes pero no incluye los pisos en contacto con el suelo. Si incluye pisos sobre plantas libres (IRAM 11900, 2009).

FAEP: $\text{Superficie}_{\text{techo}} + \text{Superficie}_{\text{muro}} + \text{Superficie}_{\text{ventana}} + \text{Superficie}_{\text{puerta}}$ / superficie cubierta a calefaccionar

Factor de forma: relación entre la superficie o volumen de y la superficie de su envolvente en contacto con el exterior

Grados días: son un parámetro importante a considerar para la definición de las estrategias de diseño o los requerimientos de climatización (natural o artificial) y, por lo tanto, la demanda de energía de una edificación. Los grados de un período determinado de tiempo (una semana, un mes, etc.) son la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura fija o base (16, 18, 20, 22, 25°C) y la temperatura media del día. Cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base, obtendremos los Grados día de calentamiento; si, por el contrario, esa temperatura media diaria es superior a la base, obtendremos los Grados día de enfriamiento. Así que podemos tener dos tipos: de calentamiento o de enfriamiento.

Grados días de calefacción: suma de las diferencias de temperaturas entre una temperatura base y la media diaria, para los días en que la media diaria es menor que la temperatura base en un período establecido.

Masa térmica está íntimamente relacionado con la cantidad de energía solar que esta masa es capaz de almacenar. En invierno, esta energía almacenada puede devolverse a los espacios disminuyendo las necesidades de calefacción. En verano, esta energía almacenada debe ser evacuada durante las horas noc-

turnas para evitar el sobrecalentamiento de los espacios. Sin embargo, debe recordarse que la masa de acumulación en sí misma, al ceder y acumular calor en cada ciclo, no influye en la temperatura media interior del edificio sino en la amplitud de la temperatura interior.

Transmitancia térmica: indica el flujo de calor a través de la unidad de superficie de un elemento constructivo sujeto a una diferencia de temperatura del aire a ambos lados del elemento de 1°C.

Zona de confort: condiciones dadas de temperatura y humedad relativa con las que se encuentran confortables la mayor parte de los seres humanos que permiten minimizar el uso de mecanismos de termorregulación de los usuarios. La Norma IRAM 11659 (2004) establece tres niveles diferentes, en grado decreciente A (recomendado); B (medio); C (mínimo).

3 Una *casa pasiva* o “*passive house*” es una vivienda que ofrece alto confort a sus habitantes, consumiendo poca energía de mantenimiento. Esto se debe a la aplicación de estrategias bioclimáticas en su diseño y construcción, minimizando la climatización convencional. La expresión “pasivo” quiere indicar que es capaz de funcionar mediante el uso de técnicas sencillas, sin aporte o con un uso insignificante de recursos activos (equipamientos). Sus ventajas redundan en un menor costo de las facturas por servicios y un mayor respeto ambiental. Lo importante del diseño pasivo es que sin necesidad de agregar costos de inversión o invirtiendo, pero con posibilidad de recupero a corto plazo, permite un importante ahorro energético al minimizar los insumos destinados a agua caliente sanitaria, calefacción y enfriamiento (Guillermo Enrique Gonzalo, 2022).

4 *Muros colectores-acumuladores*: también denominados “muros Trombe Mitchell”, en honor a sus creadores. Esta tecnología de calefacción consiste en utilizar un muro masivo, cuya cara exterior se pinta de un color oscuro para absorber la radiación solar, protegido por un vidriado cuyo efecto es disminuir las pérdidas térmicas del muro. La energía solar se acumula en el muro y se transfiere al ambiente interior, calentándolo, en las horas en que ya no hay sol (cuando calefaccionar es más necesario). Es decir, el muro absorbe la energía del sol y la entrega al ambiente interior con un cierto retardo, que depende principalmente del espesor y material del muro. De

acuerdo al diseño y uso, la cavidad entre el muro y el vidrio puede o no tener circulación de aire, la cual se logra mediante pequeñas aberturas en la parte inferior y superior del muro. Así, el aire frío ingresa por las aberturas inferiores, se calienta progresivamente al entrar en contacto con el muro y finalmente ingresa al ambiente a calefaccionar por las aberturas superiores. En cuanto al material del muro, éste debe ser un buen conductor de calor, por lo que usualmente se utiliza hormigón o algunos tipos especiales de rocas con buena conductividad térmica. El espesor del muro también es una variable importante: a mayor espesor, más tiempo tardará el calor en

transferirse al ambiente interior (y con menor intensidad), mientras que un espesor muy pequeño no permitirá obtener el retardo adecuado para calefaccionar el ambiente interior cuando ya no hay radiación del sol. Usualmente, los espesores de los muros Trombe oscilan entre 30 y 45 cm.

5 *Edificio convencional*: no considera en su diseño arquitectónico la incorporación de estrategias de diseño pasivo.

6 *IRAM - Instituto Argentino de Normalización y Certificación*: objetivo: aplicar la normalización como base de la calidad.

ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA ARGENTINA

Palabras clave: geotermia, energía, renovable, transición, Argentina.

Key words: (geothermal, energy, renewable, transition, Argentina).

En los últimos años las alteraciones del sistema climático de la Tierra se han intensificado con consecuencias cada vez más graves e irreversibles para los ecosistemas y las personas que viven en ella. La problemática del calentamiento global, causada principalmente por el uso de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas, está obligando a repensar la forma que habitamos nuestro planeta. Resulta inminente impulsar acciones que permitan una transición hacia fuentes de energía más amigables con el ambiente. Parte de la solución, no solo se encuentra en la diversificación de la matriz energética de los países, sino también en el uso sostenible de los recursos disponibles. Además, de la energía que nos provee el sol, el agua, el viento y la biomasa, existe una menos difundida y se conoce como “energía geotérmica”. Este tipo de recurso que nace en el interior de la Tierra es susceptible de ser aprovechado como calor o para la generación de energía eléctrica encontrándose prácticamente alrededor de todo el mundo. Argentina, no es ajena a esto, se estima que el país tiene un potencial de 490 a 2.010 MWe de generación eléctrica de origen geotérmico (Gawell et al., 1999; Chiodi, et al., 2020). El presente trabajo describe la energía geotérmica en general, con una breve reseña histórica de su evolución, el estado actual, los desafíos y oportunidades para su desarrollo en Argentina.



Cristian Picighelli¹

¹ Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires

E-mail: c.picighelli@gmail.com

Geothermal Energy in Argentina

In recent years, alterations to the Earth's climate system have intensified, with increasingly serious and irreversible consequences for ecosystems and the people who live on Earth. The problem of global warming, caused mainly by the use of fossil fuels such as coal, oil and gas, is forcing us to rethink the way we inhabit our planet. It is imminent to promote actions that allow a transition to more environmentally friendly energy sources. Part of the solution lies not only in the diversification of the energy matrix of countries, but also in the sustainable use of available resources. In addition to the energy provided by the sun, water, wind and biomass, there is a less widespread type of energy known as "geothermal energy". This type of resource that is born in the interior of the Earth is susceptible of being used as heat or for the generation of electric energy and can be found practically all over the world. Argentina is no stranger to this; it is estimated that the country has a potential of 490 to 2,010 MWe of electricity generation of geothermal origin (Gawell et al., 1999; Chiodi, et al., 2020). This work describes geothermal energy in general, with a brief historical review of its evolution, current state, challenges and opportunities for its development in Argentina.

■ INTRODUCCIÓN

Según el informe sobre las Perspectivas de la Transición Energética Mundial 2021 de IRENA (IRENA, 2021b), el sector energético, conocido por su lentitud en los cambios, está experimentando una transición dinámica. Los imperativos del cambio climático, la pobreza y la seguridad energética para un desarrollo sostenible, resiliente, justo, inclusivo y equitativo han adoptado como solución esencial a las energías renovables y las tecnologías relacionadas. Los impulsores de las políticas, los desarrollos tecnológicos y la coo-

peración internacional han hecho que estas tecnologías pasen de ser un nicho a una corriente principal, especialmente en la última década. Incluso ante las turbulencias e inconvenientes causados por la pandemia del COVID-19, los sistemas eléctricos basados en las energías renovables demostraron una notable resiliencia y fiabilidad técnica.

Existe un consenso general en torno a una transición energética basada en fuentes y tecnologías renovables, que aumente la eficiencia y la sostenibilidad, ya que es la única manera de intentar limitar el

calentamiento global a 1,5 °C en 2050. Hace solo algunos años, el enfoque centrado en las energías renovables que promulgaban algunos actores se consideraba idealista. Hoy en día, incluso, algunos de los actores energéticos más conservadores se han dado cuenta de que es la única opción en la lucha contra el cambio climático y un desarrollo sostenible para las generaciones venideras. Este cambio de opinión tan profundo y generalizado se basa en una evidencia innegable, no solo de los graves problemas a los que se enfrenta el mundo actual, sino también de las tendencias en las tecno-

logías, las políticas y los mercados que han ido remodelando el sector energético.

Las soluciones innovadoras están reconfigurando el sistema energético y abriendo nuevas posibilidades para un futuro descarbonizado. Se han logrado avances significativos en la movilidad eléctrica, el almacenamiento en batería, las tecnologías digitales y la inteligencia artificial, entre otros. Estos cambios también están llamando la atención sobre la necesidad de una explotación y gestión sostenibles de los recursos y la inversión en economía circular. Las redes inteligentes, reforzadas por políticas y mercados facilitadores, están mejorando la capacidad del sector eléctrico para hacer frente a la variabilidad de las energías renovables (IRENA, 2021a).

El creciente número de países que se comprometen con estrategias de emisiones netas cero de carbono, indica un cambio imperante en el discurso climático mundial. Se observan tendencias similares en todos los niveles de gobierno y en el sector privado.

Argentina, inicia su interés en las energías renovables en el año 1998 a través de la Ley N° 25.019 (Ley 1998) que fomenta la generación de energía eléctrica solar y eólica, pero no se logran avances significativos. En el año 2006 se dicta la Ley N° 26.190 (Ley 2006) que fomenta la generación eléctrica a partir de fuentes renovables, como la energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, estableciendo como objetivo alcanzar un 8 % de generación renovable en la matriz energética en un plazo de 10 años. También sin avances significativos. Debido a esto, en el año 2015 se dicta la Ley N° 27.191 (Ley 2015) que modifica

la Ley anterior extendiendo el plazo de la participación del 8 % de fuentes renovables hacia fines del 2017 y establece la “Segunda etapa de fomento nacional de fuentes de energía renovables para la generación de energía eléctrica” y pone como objetivo final alcanzar un 20 % de generación de energía proveniente de fuentes renovables para finales del 2025. Además, establece que los grandes usuarios del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y las grandes demandas que sean clientes de los prestadores del servicio público de distribución o de los agentes distribuidores con demandas mayores o iguales a 300 kW deberán cumplir efectiva e individualmente con los objetivos indicados. A tales efectos podrán autogenerar o contratar la compra de energía proveniente de diferentes fuentes renovables. Gracias a estas normativas y a través del programa RenovAr (RenovAr), el gobierno nacional adjudicó 147 proyectos de energía renovables, equivalentes a 4.466,5 MW de capacidad instalada con el uso diferentes fuentes y tecnologías: eólica, solar, biomasa, biogás y pequeñas centrales hidroeléctricas.

Sin embargo, y a pesar de que la energía geotérmica está incluida en las leyes citadas anteriormente, no se incluyó en los pliegos de licitación. En este marco, el gobierno está trabajando para licitar el primer Acuerdo de Compra de Energía (PPA) de origen geotérmico para el Proyecto Geotérmico Copahue, en Neuquén. De esta manera, se pretende fomentar el desarrollo de otros proyectos geotérmicos en fase de prefactibilidad y promover el desarrollo de la energía geotérmica en Argentina. Se estima que el país tiene un potencial de 490 a 2.010 MWe (Gawell et al., 1999; Chiodi, et al., 2020) para la generación de energía eléctrica a partir de sus recursos geotérmicos. En este sentido, los sistemas geotérmicos de

alta temperatura más interesantes se encuentran en el sector occidental (Zonas Volcánicas Central y Sur de los Andes). En este contexto, existen seis proyectos orientados a la generación de energía eléctrica que son los más desarrollados: Copahue y Domuyo (Neuquén), Tuzgle (Jujuy), Tocomar (Salta), Los Despoblados (San Juan) y Termas del Río Hondo (Santiago del Estero) y otros que se encuentran en etapa de exploración inicial: Volcán Socompa (Salta), Caldera del Cerro Blanco y Cerro Galán (Catamarca), Volcán Peteroa, Los Molles y Laguna del Maule (Mendoza) (Chiodi et al., 2020).

■ ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es el calor que se genera en el interior de la Tierra y puede ser usada directamente para calentamiento o transformada en electricidad. Una ventaja de este recurso sobre algunas otras fuentes de origen renovable es que está disponible todo el año en comparación con la energía solar y eólica que tiene variabilidad e intermitencia durante el día y durante el año. Además, la energía geotérmica puede encontrarse alrededor de todo el mundo. Sin embargo, para propósitos de generación eléctrica se necesitan recursos de media y alta temperatura que se encuentran generalmente cerca de zonas volcánicas y tectónicamente activas.

Es un recurso energético que tiene un gran potencial de crecimiento. Se estima que la cantidad de calor contenida en los primeros 10 km de la corteza terrestre equivale a más de 50.000 veces la energía del todo el petróleo y gas en el mundo (Shere, 2013). Además, existe un fuerte argumento para el despliegue de la energía geotérmica y es que los costos de la generación eléctrica geotérmica se espera que sean más competitivos y tengan una tendencia

en descenso hacia el año 2050 (van der Zwaan y Longa, 2019).

La energía geotérmica es un recurso que se repone naturalmente en una escala de tiempo humana, por lo que no se ve afectada por el agotamiento global de sí misma como ocurre con los combustibles fósiles. Adicionalmente, la generación de energía geotérmica contribuye a la mitigación del cambio climático como así también los riesgos asociados a la salud pública y al ambiente por reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, tiene costos de funcionamiento relativamente menores con suministro de energía eléctrica de base y con factores de capacidad considerablemente mayores si se lo compara con recursos de energía convencionales como los hidrocarburos y también con otras fuentes de energía renovable.

Es la fuente renovable casi perfecta para la generación de electricidad. Es un recurso autóctono, que no implica deforestación intensiva o extracción y transporte de sustancias minerales con los impactos asociados, no depende de factores climáticos, como viento, insolación o regímenes de precipitaciones, tiene comparativamente bajas emisiones de dióxido de carbono y otros gases, y no genera desechos contaminantes o radioactivos. A su vez, las instalaciones no requieren mucho espacio, su impacto en el paisaje es mínimo en comparación con otras energías renovables, no presenta peligros para la fauna, las aves en particular, y en general sus impactos son mitigables. La generación de energía geotérmica es una tecnología madura¹, que produce energía de base con elevados factores de capacidad, inclusive algunas plantas superan el 90 %, y en ciertas condiciones puede modular la carga para acomodarse a la demanda eléctrica. Además, tiene costos de operación y mantenimiento bajos (Bona y Coviello, 2016).

■ CARACTERIZACIÓN Y USOS DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS

Según Boden (2017) se han aplicado una variedad de métodos o criterios para analizar los sistemas geotérmicos, reflejando su naturaleza compleja y multidisciplinaria. Se enumeran a continuación algunos de los principales esquemas de caracterización empleados:

- Transferencia de calor: sistemas convectivos y sistemas conductivos.
- Tipos de fuentes de calor: presencia o ausencia de roca fundida o magma subyacente.
- Entornos geológicos o tectónicos: ubicación a lo largo o cerca de los límites de las placas o dentro de las porciones interiores de los continentes.
- Ambientes de entalpía o contenido de calor bajo, moderado y alto.
- Tipo de fluido presente en el reservorio geotérmico: dominado por líquido o vapor.
- Usos de sistemas geotérmicos: generación de energía eléctrica, uso directo de fluidos geotérmicos y bombas de calor geotérmicas.

En el presente trabajo no se detallarán todos los esquemas de clasificación ya que supera el alcance del mismo. Se explicará la caracterización por contenido de calor y finalmente la clasificación de los sistemas geotérmicos en función de sus usos.

La Figura 1 muestra esquemáticamente cómo funciona un sistema geotermal de convección. El agua fría en la superficie se filtra hacia abajo a lo largo de fracturas en las rocas, hasta una cierta profundidad donde se calienta desde abajo por magma o roca anormalmente caliente (intrusión magmática o cuerpo caliente). El agua calentada

puede fluir lateralmente a lo largo de un horizonte de roca permeable cubierto por una roca relativamente impermeable, o el agua puede subir a lo largo de posibles fracturas en la roca debido a fuerzas de flotación entre el fluido descendente frío y el fluido ascendente caliente. De lo contrario, el fluido circulará en la roca permeable (reservorio) subiendo donde más caliente está, en el medio, y descendiendo donde más frío está a lo largo de los lados del reservorio.

El gráfico de la izquierda de la Figura 1 ilustra los cambios de temperatura del fluido a diferentes profundidades que corresponden a la sección transversal de la figura. Un rasgo característico de un sistema de convección es el perfil isotérmico de temperatura con la profundidad (ver los puntos C y D). Por el contrario, el flujo de calor conductivo se indica para los puntos C, F y G, donde la temperatura aumenta constantemente con la profundidad porque el flujo de calor conductivo es mucho más lento que el flujo de calor convectivo. Otra zona a identificar es la curva E a D y su proyección (línea discontinua de la curva 1). Esta es la curva del punto de ebullición con la profundidad debido al aumento de presión. La curva que se muestra aquí es para agua pura, pero cambiaría a temperaturas más altas para una profundidad dada con un aumento de sólidos disueltos o si el componente de la presión litostática ^(a) está presente además de la columna hidrostática.

Los recursos geotérmicos también se pueden clasificar de baja, media y alta temperatura como se muestra en la Figura 2. Los rangos utilizados son arbitrarios y no poseen un consenso para definirlos. La temperatura es utilizada como la característica de clasificación porque es un parámetro simple. La clasificación más difundida es la de Muffery

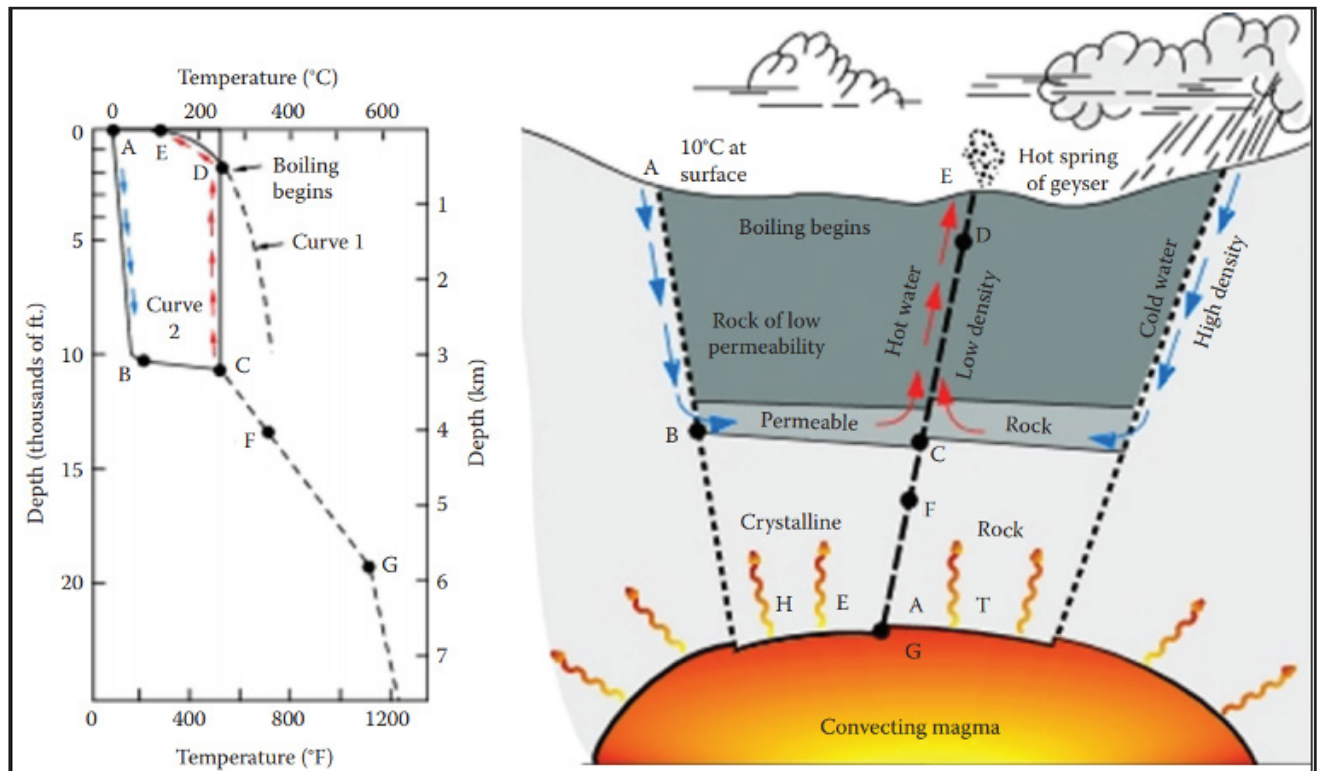


Figura 1: Esquema del funcionamiento de un sistema geotermal. El gráfico muestra el cambio de temperatura de los fluidos geotérmicos por encima de una fuente de calor (intrusión magmática). Las flechas azules indican la trayectoria del agua subterránea densa, fría y recargada que se calienta de forma conductiva desde abajo. Las flechas rojas indican la circulación de agua caliente que asciende por convección. Las letras A a G del gráfico enseñan las posiciones que se muestran en el croquis de la sección transversal. (Boden, 2017).

Cataldi (1978) en la que el recurso geotérmico es de temperatura baja cuando los fluidos tienen valores que van hasta los 90 °C, media de 90 °C hasta 150 °C y alta cuando los fluidos tienen más de 150 °C. Los recursos hidrotermales caracterizan a los reservorios o acuíferos naturales en función de la energía geotérmica disponible en profundidad. Estos acuíferos se pueden dividir en recursos de alta, media y baja entalpía. La entalpía es una propiedad de un sistema termodinámico y es igual a la energía interna del sistema más el producto de su presión y volumen y se mide en unidades de energía por unidades de masa. Como variable de estado, la entalpía es básica para los cálculos de eficiencia en los procesos de vapor. La geotermia, como se

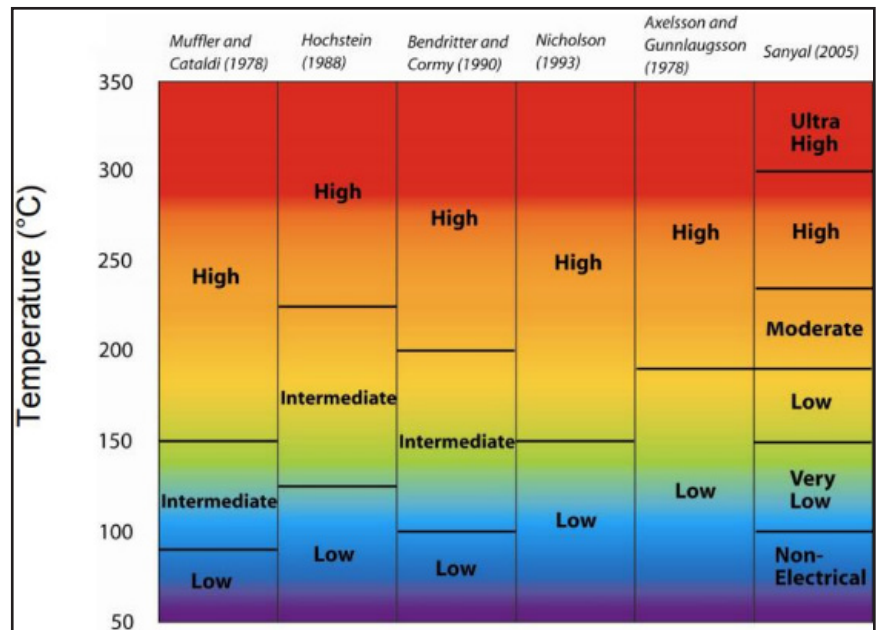


Figura 2: Diferentes clasificaciones de los recursos geotérmicos en función de su temperatura (Gonzalez, 2019).

dijo, a diferencia de la energía solar y eólica, es un recurso para la generación de energía eléctrica de base, capaz de proveer energía 24 horas al día durante todo el año, similar a las centrales termoeléctricas tradicionales que funcionan con combustibles fósiles. Ciertos tipos de aprovechamientos de energía hidráulica también son considerados recursos de energía de base, pero su producción puede variar considerablemente dependiendo de los niveles de precipitación en la cuenca hidrológica de drenaje.

Esta fuente de energía puede ser utilizada de tres formas diferentes: generación de electricidad, uso directo y en bombas geotérmicas de calor. Estos usos dependen de la temperatura y la profundidad a la que se encuentra el recurso geotérmico (Figura 3). La generación de energía eléctrica requiere temperaturas elevadas, generalmente mayor a los 100 °C y es el tipo de uso me-

nos extendido, estando restringida, en un principio, solo a zonas geológicamente favorables, como lo es a lo largo o cerca de los límites de las placas tectónicas de la Tierra.

Otra forma de aprovechamiento es el uso directo, la cual requiere fluidos de elevada temperatura, pero menor a la utilizada en generación eléctrica (generalmente entre 50 y 100 °C), y se utiliza en el calentamiento de edificios y ciudades, como así también en una variedad de aplicaciones como piscicultura (acuicultura), secado de frutas y verduras, procesamiento de madera, invernaderos, diversas industrias y por supuesto, en baño termales. Los fluidos para uso directo también están restringidos a zonas geológicamente favorables, pero también se puede acceder a ellos con perforaciones que alcancen dicha temperatura. Los fluidos de temperatura media o moderada están más extendidos debido a que son más comunes que los flui-

dos de alta temperatura requeridos para generación eléctrica.

La tercera forma de utilización de la energía geotérmica es a través de la utilización de bombas geotérmicas de calor que pueden utilizarse prácticamente en cualquier parte del planeta. Este tipo de aprovechamiento es también una forma de uso directo del recurso geotermal, pero en el extremo de baja temperatura. En lugar de utilizar fluidos geotérmicos de forma directa, este tipo de tecnología utiliza la Tierra como reservorio térmico depositando en el mismo el calor en el verano y extrayéndolo en invierno. Esto se logra ya que la temperatura promedio de la Tierra a unos pocos metros por debajo de la superficie está dentro de un rango limitado de 10 a 15 °C durante todo el año en gran parte del planeta. Si no hay disponibilidad de acceso fácil a fluidos geotérmicos, como es el caso de la mayoría de los lugares del planeta, los sistemas de bombas de calor son la forma más eficiente de calentar y refrigerar edificios por dos razones principales: es más fácil mover el calor que transformarlo y solo requiere una pequeña cantidad de electricidad para el funcionamiento de las bombas de calor. De hecho, las bombas geotermales comprenden aproximadamente el 71 % de la capacidad instalada de uso directo.

■ IMPACTOS AMBIENTALES DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA GEOTÉRMICA

Los Proyectos Geotérmicos integran estudios de impacto ambiental (EIA) en todas las etapas de su desarrollo. Estos deben potenciarse con estudios focalizados en las poblaciones y entornos locales determinando los impactos sociales, culturales, económicos y políticos antes, durante y posterior al desarrollo de los proyectos.

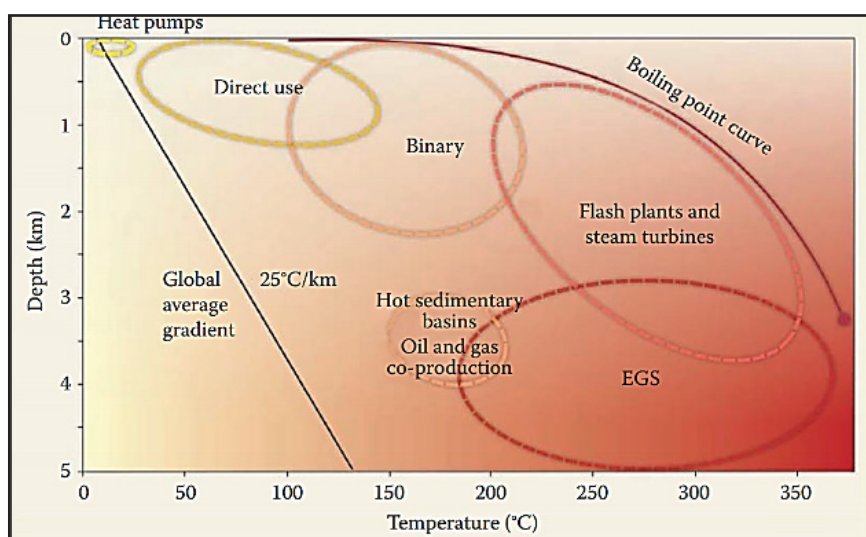


Figura 3: Gráfico de temperatura versus profundidad que muestra las distintas formas de aprovechamiento de la energía geotérmica, desde bombas de calor cercanas a la superficie terrestre hasta sistemas geotérmicos mejorados (Enhanced Geothermal Systems, EGS) que se encuentran en etapa temprana de desarrollo y se alcanzan a profundidades mayores a la de los reservorios generadores de energía que actualmente se están utilizando (Boden, 2017).

La experiencia demuestra que, si no se realiza un trabajo social integral con las comunidades locales antes de cada acción del proyecto, los conflictos etnopolíticos pueden llevar a la cancelación de los proyectos. El trabajo sociocultural del entorno es fundamental en todas las etapas de desarrollo para el éxito de los proyectos geotérmicos.

El grado de sostenibilidad de la energía geotérmica depende principalmente de los siguientes factores (Gonzalez, 2019):

- Características de la localización geográfica.
- El tipo de planta de generación eléctrica.
- Las propiedades del yacimiento geotérmico y su potencial energético.

Se detallarán específicamente los impactos ambientales de la generación eléctrica geotérmica referidos al manejo de agua, uso de suelo y emisiones gaseosas. No se abordarán los impactos relacionados con la perforación de pozos ya que son similares a los de la industria petrolera y excede el alcance del presente trabajo.

■ MANEJO DEL AGUA

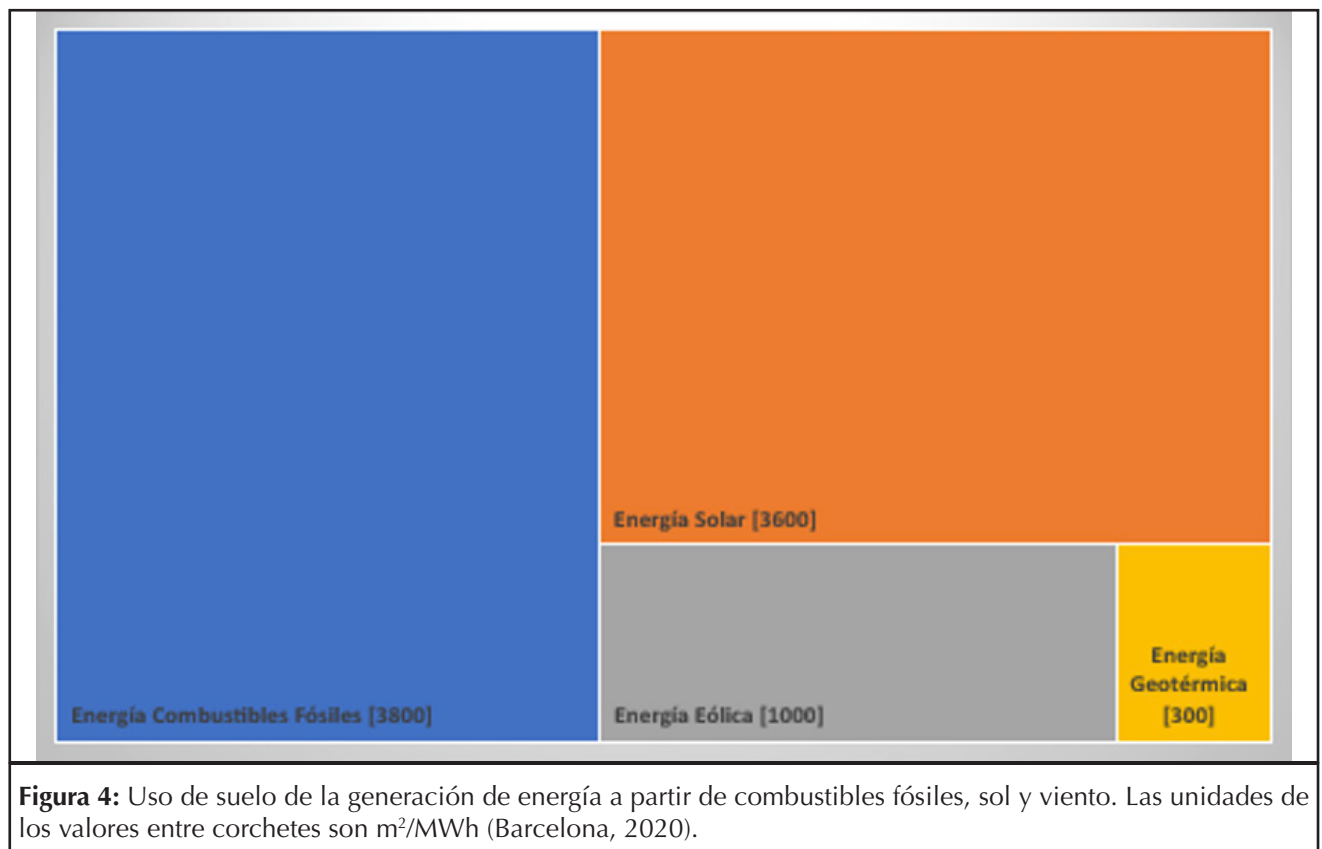
Los fluidos geotérmicos provenientes de los pozos se dirigen a la planta para su separación en vapor y líquido, el primero se utiliza para la generación eléctrica y el segundo se reinyecta, al igual que el vapor condensado.

El manejo del agua es importante y significativo, lo que puede llevar a pérdidas de fluidos residuales, por rotura y falla en equipos y tuberías de conducción. Debe existir un con-

trol y monitoreo riguroso para evitar y controlar dichas pérdidas, como así también, planes de contingencia para mitigar pérdidas de fluido evitando impactos negativos en el entorno (Barcelona, 2020).

■ USO DE SUELO

El uso del suelo o la modificación del paisaje puede generar conflictos culturales, socioeconómicos y socioculturales. Comparativamente la generación eléctrica geotérmica impacta mucho menos en el uso de suelo que la generación de energía de otras fuentes como se observa en la Figura 4, donde se presenta el uso de suelo en m^2 por GWh de energía producida. Se observa que para producir anualmente 1 GWh la producción geotérmica utiliza 300 m^2 , área bastante menor que los 3.800 m^2 requeridos para la generación por combustibles líquidos o gas, los 3.600 m^2 para la solar y los 1.000 m^2



para la generación de energía eólica (Barcelona, 2020).

■ EMISIONES GASEOSAS

Las emisiones de las plantas de energía geotérmica son mínimas en comparación con las plantas de electricidad basadas en la combustión de combustibles fósiles. El sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono son los principales gases de emisión de la generación de energía geotérmica. La presencia y concentración de posibles contaminantes del aire puede variar dependiendo de las características de la fuente geotérmica. La Tabla 1 muestra los kg de CO₂ y H₂S que se emiten por MWh generado con geotermia y combustibles fósiles. Se observa que las emisiones geotérmicas son de 81 kg de CO₂ y 0,1 kg de H₂S para generar 1 MWh, valores bastante menores que los 950 kg de CO₂ y 0,5 kg de H₂S emitidos para generar 1 MWh con hidrocarburos (Barcelona, 2020).

■ GEOTERMIA EN ARGENTINA

Argentina cuenta con las condiciones necesarias para convertirse en uno de los mercados de geotermia más atractivos de la región. Las características geológicas con gran presencia de manifestaciones geotermiales localizadas en numerosas zonas del territorio nacional son una gran oportunidad para favorecer el desarrollo de distintos usos de la geotermia (Conde y Johanis, 2021).

El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y el Servicio Geológico Minero de Argentina (SEGEMAR) son los principales organismos que promueven la investigación, el desarrollo y la innovación de los recursos geotérmicos en Argentina, a través de la financiación de proyectos de investigación orientados a producir el conocimiento necesario para la evaluación precisa del potencial

Tabla1: Emisiones gaseosas de dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno de la generación eléctrica geotérmica y combustibles fósiles. Se observa que la primera, con 81 kg/MWh de CO₂ y 0,1 kg/MWh de H₂S, es baja en emisiones respecto de la segunda con 950 kg/MWh de CO₂ y 0,5 kg/MWh de H₂S (Barcelona, 2020).

	CO ₂ [kg/MWh]	H ₂ S [kg/MWh]
Geotermia	81	0,1
HC Fósiles	950	0,5

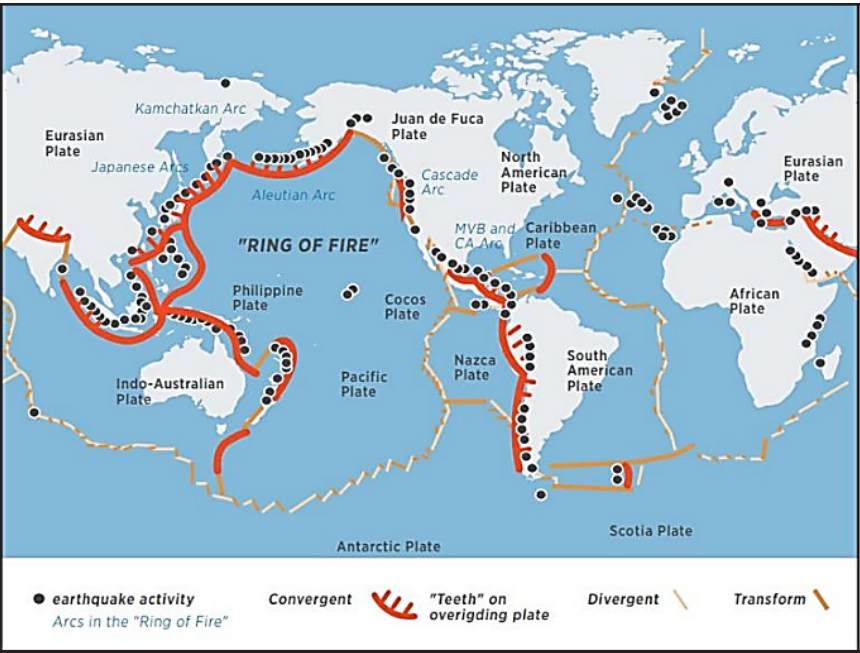


Figura 5: Tectónica de placas y actividad sísmica global. Puede observarse el conocido “Anillo de Fuego del Pacífico” que concentra las zonas de subducción oceánica más importantes del mundo y se caracteriza por una intensa actividad sísmica y volcánica (Gonzalez, 2019).

geotérmico y, en última instancia, la implementación del mismo como una alternativa energética viable.

Si bien los países andinos de América del Sur constituyen lugares prometedores para la explotación geotérmica debido a su posición en el Cinturón de Fuego del Pacífico (Figura 5), donde las características magmáticas y tectónicas favorecen el desarrollo de sistemas geotérmicos, solo un proyecto se encuentra generando electricidad en el conti-

nente, la planta “Cerro Pabellón” en Chile de 48 MWe de potencia, inaugurada en septiembre del 2017. Previo a esto, estuvo en funcionamiento un corto periodo de tiempo, hasta el año 1996, una planta prototipo de tipo binaria de 0,67 MWe en el campo geotérmico Copahue en la provincia de Neuquén, Argentina.

Argentina tiene un potencial estimado de generación eléctrica geotérmica de entre 490 y 1.010 MWe, que podría aumentar hasta

los 2.010 MWe en condiciones de desarrollo tecnológico más avanzado (Gawell, et al. 1999). A pesar del potencial prominente de los recursos geotérmicos, solo es utilizado para uso directo (Figura 6) en balneología (52,7 %), uso doméstico (24,6 %), uso industrial (6,7 %), derretimiento de nieve (5,4 %), calefacción doméstica (4,6 %), invernaderos (4,5 %) y acuicultura (1,5%) (Chiodi et al., 2020).

Desde el punto de vista de la generación de energía eléctrica, los sistemas geotérmicos de alta temperatura más interesantes en Argentina se encuentran en el sector occidental (Zonas Volcánicas Central y Sur de los Andes), probablemente asociados al arco volcánico del Neógeno-Cuaternario. Mientras que, hacia el este, los sistemas geotérmicos de media a baja temperatura son asociados a la circulación profunda de aguas meteóricas

En la década de los años 70 el objetivo estuvo estrictamente orientado a la generación de energía eléctrica, realizándose los primeros trabajos de reconocimiento geológico y geoquímico con el fin de seleccionar áreas para futuros estudios de detalle en diferentes provincias del país. Luego se continuó con estudios de prefactibilidad, llegando a la factibilidad en algunos campos geotérmicos.

En los últimos años, con el avance en el conocimiento de los recursos termales y en función de las características geológicas y los abundantes recursos energéticos que tiene la Argentina, la utilización de los fluidos termales en la modalidad de uso directo surge como una alternativa interesante para contribuir al desarrollo de las economías regionales. La explotación de este recurso, en particular los de baja temperatura, puede cumplir un rol

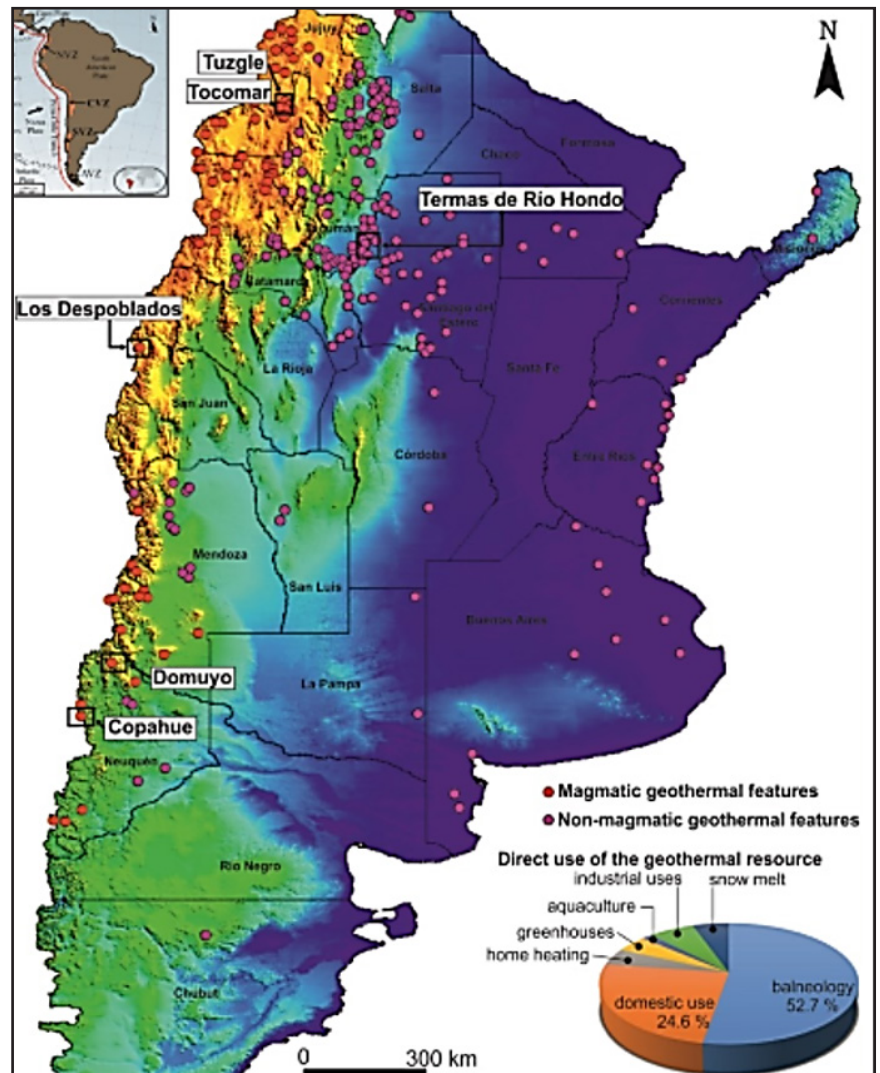


Figura 6: Distribución de los sistemas geotérmicos en Argentina. Sector occidental: sistemas geotérmicos magmáticos, Centro y Este: sistemas geotérmicos no magmáticos (círculos morados). Proyectos orientados a la generación de energía eléctrica: Copahue, Domuyo, Tuzgle, Tocomar, Los Despoblados y Termas de Río Hondo. También se muestra la distribución del uso directo del recurso geotérmico (Chiodi et al., 2020).

importante en la solución de numerosos problemas locales y mejorar la vida de comunidades pequeñas y/o aisladas. Evidentemente para tal fin se debe remarcar la necesidad de una evaluación cuidadosa desde el punto de vista técnico, económico y social de la situación de cada área en particular antes de emprender las acciones pertinentes.

El conocimiento de las manifestaciones termales y sus característi-

cas constituyen el punto de partida para exploración y cuantificación de sistemas geotérmicos capaces de sustentar proyectos de generación de energía eléctrica o de uso directo. Un análisis general de la situación actual en la Argentina indica un diagnóstico positivo y una perspectiva de constante crecimiento en la utilización de los recursos geotérmicos. Así lo demuestran los numerosos y variados emprendimientos que se han desarrollado en nuestro

país en los últimos años: desde nuevos complejos termales terapéuticos recreativos que se suman a las ya tradicionales termas de nuestro país, hasta emprendimientos relacionados con invernaderos, piscicultura, usos industriales y domésticos y calefacción de viviendas (Naón, 2020; Pesce y Miranda, 2000; Pesce y Miranda 2003).

A partir del año 2017, la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética (SSERyEE) retomó la agenda del desarrollo de la generación eléctrica a partir de energía geotérmica, por lo que mediante la interacción en conjunto

con el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), la Agencia de Inversiones (ADI-NQN), Secretaría de Minería y/o Energía Provinciales, y Organismos Internacionales, se está trabajando en la recopilación y análisis de las áreas con potencial de aprovechamiento geotérmico de energía.

Si bien en la Argentina existen más de 300 puntos de interés, actualmente se están estudiando 18 prospectos geotérmicos (Naón, 2020), que son mostrados en la Tabla 2. El SEGEMAR ha seleccionado para una primera etapa, estos 18 prospectos y proyectos evaluados según un mar-

co geológico propicio para la existencia de sistemas geotermiales y una ubicación geográfica favorable para abastecer de energía al mercado local, el interconectado provincial y nacional. Al respecto se tuvieron en cuenta regiones donde el suministro de energía eléctrica está ausente, es insuficiente o se provee a través de generadores a combustible fósil. Se incluyó en este escenario regiones con presencia de proyectos mineros en actividad, industrias, centros turísticos y poblaciones donde la perspectiva de contar con generación de energía autóctona estimularía la inversión y el desarrollo. Debido a que el potencial geotérmico

Tabla 2: Prospectos y proyectos geotérmicos para generación eléctrica de interés en la República Argentina (Naón, 2020).

Proyecto	Provincia	Estado del Proyecto
Queñal, Coyahuaima, Co. Paniza	Jujuy	Etapas de reconocimiento
Volcán Tuzgle	Jujuy	Exploración avanzada
Tocomar, Pompeya, Antuco	Salta	Exploración avanzada
Caldera Aguas Caliente – Incachule	Salta	Exploración avanzada
Salar de Rincón	Salta	Exploración avanzada
Rosario de la Frontera	Salta	Prefactibilidad
Volcán Socompa	Salta	Exploración avanzada
Volcán Llullaillaco	Salta	Exploración avanzada
Caldera Cerro Blanco	Catamarca	Exploración avanzada
Volcán Ojos del Salado	Catamarca	Etapas de reconocimiento
Los Desoblados – Valle del Cura	San Juan	Exploración avanzada
Gollete – Bañitos – Valle del Cura	San Juan	Exploración avanzada
Cuenca de Tucumán – Santiago del Estero	Tucumán – Santiago del Estero	Exploración avanzada
Volcán Peteroa – Azufre – Planchón	Mendoza	Exploración avanzada
Laguna El Maule	Mendoza	Etapas de reconocimiento
Domuyo	Neuquén	Prefactibilidad
Volcán Copahue	Neuquén	Factibilidad
Cuenca del Colorado – Pedro Luro – Bahía Blanca	Neuquén	Etapas de reconocimiento

de Argentina es superior a estos 18 primeros prospectos, el SEGEMAR continúa en la misión de identificar nuevos recursos geotérmicos en territorio nacional, y con ello incrementar la base de datos de información geocientífica aplicada a su caracterización.

En 2017 el Ministerio de Energía y Minería (MINEM) de la Nación expresó interés en el desarrollo de proyectos de energía geotérmica. El MIMEM destacó el potencial geotérmico y también se conformó la Cámara Geotérmica Argentina (CGA) con el fin de impulsar el sector. El potencial eléctrico-geotérmico de Argentina está sujeto a algunas incertidumbres, pero los valores dados en diferentes fuentes están dentro del mismo orden. Según Giorgio Stangalino, presidente de la CGA, el potencial a nivel nacional es de hasta 1.500 MW, lo que se enmarca en el rango de 490 MW a 2.010 MW antes mencionado. Sin embargo, cabe indicar que el límite superior se estima bajo el tema de aplicar únicamente tecnología de punta. Se estima que en la zona volcánica de Domuyo (provincia de Neuquén) hay una liberación de energía térmica de alrededor de 1.100 MW termale, lo que lo convertiría en un campo geotérmico muy importante en el mundo, comparable a los campos Mutnovsky en Rusia y Wairakei en Nueva Zelanda (Chiodini et al., 2014). Las provincias en las que existen proyectos geotérmicos en diferentes etapas de estudio son: Jujuy, Salta, Catamarca, San Juan, Tucumán, Santiago del Estero, Mendoza, Neuquén y Buenos Aires. De estos, se tienen cuatro proyectos geotérmicos que ya se encuentran en etapa de estudio avanzado con los siguientes resultados:

- Provincia Jujuy, volcán Tuzgle, capacidad estimada de 20 a 30 MW.

- Provincia Neuquén, volcán Copahue, capacidad confirmada 30 MW.
- Provincia de Salta, proyecto geotérmico Tocomar, capacidad estimada de 20 a 30 MW.
- Provincia San Juan, proyecto geotérmico Despoblados, capacidad estimada de 15 a 20 MW.

A pesar de estas perspectivas positivas, se ha avanzado poco en los últimos años como muestra el ejemplo de Copahue, donde la primera planta de energía geotérmica fue un proyecto piloto de 670 kWe. Las perforaciones se realizaron en las décadas de 1970 y 1980, conteniendo cuatro pozos entre 954 m a 1.414 m de profundidad y temperaturas en un rango de 220 a 250 °C. Independientemente de los resultados prometedores y las buenas condiciones logísticas, la planta solo operó, como se dijo, entre 1988 y 1997. Los intentos del gobierno de Neuquén desde 2009 para promover y reactivar el proyecto hasta ahora no han tenido éxito.

En resumen, aunque Argentina tiene amplias y numerosas zonas con gran potencial geotérmico que podrían alimentar y diversificar la matriz energética, el aprovechamiento de esta energía para generación eléctrica continúa siendo nulo.

■ ARGENTINA, RESEÑA HISTÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN GEOTÉRMICA

Según Bona y Coviello (2016), Argentina es el país en América del Sur que más avance ha tenido en el sector geotérmico, llegando a producir electricidad mediante la planta geotérmica piloto de Copahue y desarrollando diferentes aplicaciones de uso directo del calor.

Argentina inició a interesarse en la posibilidad de utilizar sus recur-

sos geotérmicos para generar electricidad en los años 50, cuando el Gobierno Federal encargó la evaluación de algunas zonas termale del país a la firma italiana Larderello SpA. Copahue, en la Provincia del Neuquén, fue clasificado en ese entonces como el sitio más promisorio para el desarrollo de un recurso de alta entalpía. Sin embargo, las actividades no se iniciaron hasta veinte años después, a principios de los años 70.

En 1971, el Gobierno Argentino recibió el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para evaluar las perspectivas geotérmicas del país. Una misión llevada a cabo por expertos del PNUD reconfirmó en esa ocasión a Copahue como el sitio más promisorio para comenzar con la exploración geotérmica. Esto condujo a la creación, en 1974, de una entidad específica para la ejecución de investigaciones geotérmicas, denominada "Comisión Nacional de Estudios Geotérmicos", integrada por el Ministerio de Energía de la Nación, la empresa petrolera estatal YPF y el Gobierno Provincial de Neuquén. Dicha entidad llevó a cabo investigaciones geológicas y geoquímicas en las áreas de Copahue y Domuyo (ambos en la Provincia del Neuquén), y en 1976 perforó el primer pozo en Copahue (COP-I), el cual confirmó la existencia de un sistema geotérmico de alta temperatura. Luego, las actividades se estancaron por falta de fondos.

En 1979, el Gobierno Federal tomó nuevamente la iniciativa a través de la Secretaría Nacional de Energía y Planificación, que preparó un plan específico para el desarrollo de la energía geotérmica, denominado "Regionalización Geotérmica 1979", el cual recibió el apoyo de programas de cooperación internacional. Los objetivos del plan fueron

inicialmente planteados para ejecutar once estudios de reconocimiento y doce estudios de prefactibilidad en doce provincias del país, en el plazo 1980-1984. El logro de dichos objetivos fue sin embargo parcial, dado que se alcanzó el nivel de prefactibilidad solamente en las áreas geotérmicas de Copahue, Domuyo, en Neuquén y Tuzgle-Tocomar, Jujuy-Salta, mientras que los estudios de reconocimiento abarcaron solamente cinco provincias (Salta, Jujuy, Catamarca, La Rioja y San Juan). La cooperación italiana lideró el estudio de prefactibilidad de Copahue, y llevó a cabo el reconocimiento en el noroeste de Argentina, seguido por el estudio de prefactibilidad de la zona Tuzgle-Tocomar; mientras que la cooperación japonesa contribuyó con el estudio de prefactibilidad en la zona de Domuyo. Los resultados fueron particularmente interesantes para Copahue, donde un nuevo pozo (Copahue-I, perforado en 1981) descubrió un reservorio geotérmico con producción de vapor. En Tuzgle-Tocomar y en Domuyo fueron identificadas condiciones promisorias para la existencia de recursos geotérmicos de interés comercial.

En 1985, la creación del Centro Regional de Energía Geotérmica del Neuquén (CREGEN), con el apoyo de la Secretaría Nacional de Energía, en colaboración con el Gobierno Provincial del Neuquén y con la Universidad Nacional de Comahue, sobre la base de expertos que venían trabajando en la provincia, dinamizó ulteriormente el sector. El CREGEN concentró sus esfuerzos en el campo geotérmico de Copahue, donde perforó un pozo adicional e instaló una pequeña planta piloto de 0,67 MWe en 1988, que entregó electricidad a la red, mientras se completaba un estudio de factibilidad con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Ja-

pón (JICA). El CREGEN también llevó a cabo actividades en Domuyo, donde instaló en 1987 un sistema de calefacción geotérmica para las instalaciones turísticas. La tarea del CREGEN no fue sin embargo limitada a Neuquén, sino que proporcionó asistencia técnica a otras provincias, realizando estudios hidrogeológicos y geoquímicos complementarios en Tuzgle-Tocomar (Jujuy y Salta, 1988), estudios de reconocimiento en el área de Famatina (La Rioja y Catamarca, 1987) y en el área de Río Hondo-Taco Ralo (Tucumán y Santiago del Estero, 1987-1988). Desafortunadamente, el CREGEN operó solamente hasta 1990, cuando la Secretaría Nacional de Energía suspendió la provisión de fondos a los centros regionales.

A principios de los años 90, el débil apoyo institucional y los bajos costos de la energía generada por recursos hidroeléctricos y combustibles fósiles, paralizaron las actividades geotérmicas en Argentina y lamentablemente el grupo de expertos que estaba en CREGEN se dispersó. A partir de ese momento no hubo significativo progreso en el sector de la energía geotérmica para la generación de electricidad. Solamente el SEGEMAR ha mantenido cierta actividad con la compilación de catálogos de manifestaciones termales (Miranda y Pesce, 2000; Pesce y Miranda, 2003) y apoyando la investigación de proyectos de baja entalpía para aplicaciones directas, donde se ha logrado un progreso significativo.

En los últimos años la situación mostró algunas señales de cambio, con el surgimiento de iniciativas dirigidas a reactivar el sector geotérmico para generación de electricidad. Algunos gobiernos provinciales (Neuquén, San Juan, Mendoza, Jujuy, Salta) están intentando promover la participación de empresas privadas en el desarrollo de proyectos

geotérmicos mediante la aplicación de mecanismos concesionales o la creación de empresas mixtas público-privadas.

■ MARCO LEGAL DE LA GEOTERMIA EN ARGENTINA

Argentina no tiene instrumentos legislativos específicos para la exploración y explotación del recurso geotérmico, pero la actividad geotérmica está contemplada en el Código de Minería, y regulada también por los Códigos de Agua provinciales (Bona y Coviello, 2016).

En el Código de Minería, el recurso geotérmico es definido como "vapor endógeno", y considerado parte de una categoría de minas. Las concesiones de recursos geotérmicos están sujetas a las mismas reglas establecidas para las operaciones mineras, acoplando la explotación de fluidos calientes subterráneos con la extracción de minerales.

El Código de Aguas es un instrumento jurídico emitido a nivel provincial y varía de una provincia a otra. Se basa en el concepto legal de que el agua es de dominio público, propiedad de la provincia, así que el derecho de su uso requiere una concesión expedida por el Departamento Provincial de Aguas. La obtención de concesiones de agua implica una serie de procedimientos administrativos concebidos para actividades y condiciones típicamente asociadas con la exploración y explotación de recursos hídricos.

Este marco normativo, cuando se aplica a la energía geotérmica resulta débil y algo complejo, por lo cual ya surgieron algunas iniciativas que tratan de mejorar la situación; entre ellas una propuesta de modificación y aclaración del término "vapor endógeno" en el Código de Minería (Cámara de Diputados de la Nación,

2006), y un proyecto de Ley Geotérmica (BNamericas, 2010), pero sin llegar a resultados concretos hasta la fecha.

El marco legal de las energías renovables, incluyendo a la geotermia, como se dijo, está definido por la Ley 26.190 de 2006, modificada en 2015 por la Ley 27.191, la cual establece la política nacional de promoción del uso de fuentes renovables. Dicha ley declara de interés nacional la generación de electricidad con fuentes renovables para la prestación de servicio público, así como la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos para este fin. Los incentivos establecidos en la ley incluyen la conformación de un fondo fiduciario (FODER) para respaldar la financiación de los proyectos de inversión, beneficios fiscales y un sistema de subasta para la contratación de energía renovable.

■ TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE LA INDUSTRIA PETROLERA (O&G) A LA GEOTERMIA

El aprovechamiento de la energía geotérmica se enfrenta a muchos de los retos que se plantean en la exploración y producción de petróleo y gas, además de los problemas de aceptación social e impacto ambiental. Las perforaciones profundas son necesarias para alcanzar temperaturas suficientemente altas para recuperar con éxito la energía geotérmica no convencional. Existen tecnologías en desarrollo como los sistemas geotérmicos mejorados (*EGS, enhanced geothermal systems*) que utilizan técnicas de fracturamiento hidráulico y los sistemas geotérmicos avanzados que proponen el intercambio de calor con el fluido en un circuito cerrado mediante la perforación de uno o más pozos en la roca caliente

(*AGS, advanced geothermal systems*). El reto de la explotación geotérmica profunda es comparable al que plantean los proyectos de petróleo y gas de alta temperatura y presión. El acceso a estos objetivos profundos y la necesidad de completar los pozos de forma adecuada hacen que los operadores incurran en mayores costos de capital y de explotación.

Los temas relevantes en los campos de la ingeniería geotérmica y la ingeniería petrolera no son tan diferentes, ya que las habilidades de geociencias, perforación y terminación, ingeniería de reservorio y producción son necesarias para ambos, particularmente para aplicaciones de alta temperatura (Falcone et al., 2015). Por lo tanto, correspondería a la industria energética aprovechar la sinergia entre estos dos sectores e impulsar la transferencia de tecnología (Falcone y Teodoriu, 2008).

La transferencia de tecnología del sector del petróleo y el gas al sector de la geotermia no es nueva, pero quizás no ha sido tan eficiente como habría de esperar. Esto se ha debido principalmente a las diferencias económicas entre los proyectos geotérmicos y los de hidrocarburos, con un periodo más largo de deuda antes de la recuperación de los costos para la explotación geotérmica. Por ejemplo, en EE.UU. se perforan menos de 100 pozos geotérmicos al año (la mayoría de menos de 2.800 m), frente a los miles de pozos de petróleo y gas que se perforan cada año (Falcone et al., 2015).

A continuación, se citan las condiciones de mercado desfavorables para la explotación geotérmica.

- La industria geotérmica es pequeña y descapitalizada. No hay subsidios, ni financiación, ni políticas de incentivo en la mayoría de los países por lo que

no es del interés de muchos inversores.

- Los costos de inversión inicial son elevados asociados a altos costos de exploración y elevado riesgo al no conocerse de forma adecuada las características geológicas y de fluidos de los sistemas geotérmicos de la zona.
- La ubicación geográfica de los recursos se asocia a sistemas tectónicos activos, generalmente alejados de los centros de uso.
- Los bajos precios de otras fuentes de origen renovable como la energía solar y eólica que compiten con el desarrollo geotérmico. También, en ocasiones, precios de combustibles fósiles bajos.
- Baja transferencia tecnológica de la industria petrolera a la geotermia.
- En contraste, se pueden citar las siguientes condiciones favorables de mercado para el aprovechamiento de recursos geotérmicos.
- Si bien los costos iniciales son elevados, una vez que la central entra en operación el precio de la energía es muy competitivo, aporta electricidad de carga base y con elevados factores de capacidad, inclusive mayor al 90 %. Además, se debe considerar que la exploración de nuevas áreas petroleras implica también elevados costos.
- Las centrales geotérmicas tienen vida útil prolongada, inclusive hoy en día algunas llevan más de 30 años operando sin inconvenientes.
- El desarrollo de campos geotérmicos para generación de electricidad puede ser más competitivo que el desarrollo de proyectos energéticos asociados a combustibles fósiles en función del precio del barril de

petróleo. Inclusive, el conocimiento geotérmico del país se inició hace varias décadas liderado por YPF en busca de alternativas energéticas por la crisis del petróleo de los años 70.

- Las tecnologías de exploración, perforación, reservorios, producción y el personal calificado son muy similares a la industria petrolera. Esto significa que no se necesita de tecnologías nuevas ni formación de profesionales ya que dicha industria dispone de todo esto.
- Las tecnologías avanzadas de explotación de yacimientos no convencionales actualmente en el país, como el fracturamiento hidráulico y perforación horizontal en condiciones de alta presión y temperatura, pueden aplicarse al desarrollo de sistemas geotérmicos mejorados (EGS), sistemas de roca seca-caliente (HDR), sistemas geotérmicos avanzados (AGS) y sistemas de roca super caliente.
- La utilización de “data science”^(b), “machine learning”^(c) e inteligencia artificial para el modelado de reservorios geotérmicos para un mejor entendimiento

del sistema y las interacciones: roca – fluido – calor – pozo.

■ CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS GEOTÉRMICOS

Si bien existen analogías entre la industria petrolera y la geotérmica, la perforación y terminación de pozos geotérmicos tienen algunas particularidades. Los reservorios hidrotermales pueden estar conformados además de rocas sedimentarias, de rocas ígneas y/o metamórficas que son más duras y abrasivas que rocas sedimentarias donde generalmente se encuentra petróleo y gas. Esto implica un mayor desgaste en los trépanos de perforación, requiriendo de materiales más duros resistentes a la corrosión como lo son los trépanos de tipo PDC que tienen insertos de carburo de tungsteno o de diamante para aumentar su dureza y la vida útil del trépano.

Otra característica fundamental de los pozos geotérmicos son las condiciones de alta presión y temperatura donde se encuentra el recurso, aunque estas en un principio, no serían limitaciones ya que existen pozos y en especial en la explota-

ción de recursos no convencionales de petróleo y gas, que requieren de perforaciones profundas en condiciones de alta presión y temperatura. Se puede decir que las tecnologías actuales, y en especial en Argentina por su nivel de explotación no convencional en Vaca Muerta, son aplicables, con sus particularidades, a la perforación y terminación de pozos geotérmicos.

Para generación eléctrica se necesita elevados caudales de fluido (vapor o agua) a alta temperatura, por lo que la terminación de pozos geotérmicos requiere de diámetros de cañerías o *casing* más grandes, aumentando el costo de esta tarea. Además, las cañerías o *liners* de producción son del tipo ranurado con el agregado de grava en el espacio anular entre reservorio y cañería de producción, similar a la terminación que se utiliza en pozos de agua subterránea. Se diferencia de las cañerías de producción de petróleo ya que son caños sin costura, cementados por su espacio anular con la formación y luego punzados o perforados para la conexión del reservorio con el pozo. La Figura 7 muestra esquemáticamente la terminación de

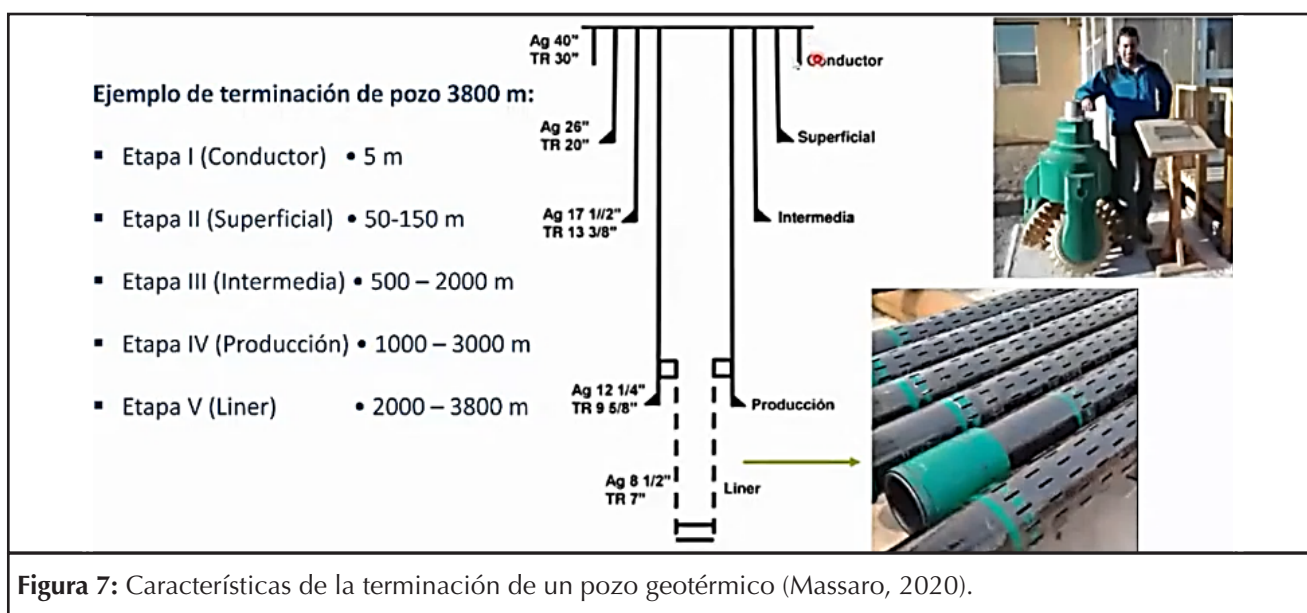


Tabla 3: Comparación de las características de un pozo petrolero con un pozo geotérmico (Massaro, 2020). ** Precio del barril de petróleo WTI el 19/12/2022.

Pozo de petróleo	Característica	Pozo geotérmico
150 – 175 °C (se considera de alta T) (300 – 350 °F)	Temperatura	150 a más de 350 °C (300 a + 650 °F)
5000 bpd (se considera un caudal alto) (150 gal/min)	Caudales	50000 bpd es el promedio, 10x más (15000 gal/min)
Vertical y largo alcance horizontal Onshore y Offshore – 5 a 7" CSG Prod	Perforación	Vertical, desviado horizontal Onshore – 8 a 12" CSG Prod (ranurado)
Alto flujo inicial (meses) Declinación de producción (años)	Perfil de producción	Producción constante 20-30+ años
Rocas sedimentarias	Litología	Rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas
Estratigráficas - Estructural	Facies	Sistemas fallados complejos
Petróleo y/o gas 75,05 USD/bbl**	Valor de producto producido	Calor: agua caliente, vapor 0,25 USD/bbl

un pozo geotérmico, que salvo por los diámetros mayores y la cañería de producción ranurada, es similar a la terminación de un pozo petrolero.

La Tabla 3 muestra las diferencias en la terminación de un pozo petrolero con un pozo geotérmico. Se observa que los caudales de producción de este último son en general 10 veces más que los caudales de producción del primero, por esto, para la correcta operación de estos caudales se requiere de mayores diámetros y una cañería de producción ranurada.

El recurso geotérmico se encuentra en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, en condiciones de alta temperatura. Las rocas ígneas y metamórficas son más duras (resistencia a la compresión de más de 240 MPa ^(d)) y abrasivas (contenido de cuarzo mayor al 50 %) que las rocas sedimentarias por lo que se acorta la vida útil de los trépanos. Además, debido a la tectónica energética del ambiente, las formaciones se encuentran muy fracturadas con

estructuras de doble permeabilidad (matriz-fractura) y poco presionadas con los riesgos asociados de pérdida de circulación cuando se perfora.

Los pozos geotérmicos requieren de más operaciones de terminación y reparación (*workover*), ya que pueden producir salmueras altamente corrosivas y con elevada carga de sólidos disueltos (hasta más de 250.000 TDS ^(e)), y gases corrosivos como CO₂ y H₂S (disuelto o libre), además del frecuente depósito de sales en cañerías (*scaling*). A diferencia de los reservorios estratigráficos de hidrocarburos, los sistemas geotérmicos se conforman de estructuras falladas y complejas, lo que genera gran variabilidad de los pozos en un mismo yacimiento geotérmico.

■ RECURSOS COPRODUCIDOS Y APROVECHAMIENTO DE POZOS PETROLEROS ABANDONADOS

Según Massaro (2017) existe una amplia disponibilidad de instalaciones en los yacimientos de petróleo

y gas de las cuencas petroleras de la Argentina con producción marginal que pueden ser utilizadas para el aprovechamiento de la energía geotermal (ver Figura 8) en climatización, piscicultura, viveros, procesos industriales y en operaciones propias de la producción de hidrocarburos (recursos de baja entalpía), hasta incluso, si se dispone de energía térmica de moderada entalpía podría producirse electricidad en una planta de ciclo binario (Figura 9). El desafío se encuentra en la toma de decisiones sobre dichos activos para incluir la energía geotérmica en el desarrollo de los proyectos.

En la Argentina, existe una acelerada caída en la producción de hidrocarburos debido en parte a la falta de inversión y a que muchos de los yacimientos de petróleo y gas se encuentran en etapa avanzada de madurez. Otro factor se debe a que las inversiones de los últimos 10 años de esta industria se han centrado en la explotación de recursos no convencionales en la cuenca Neuquina para la extracción de gas de

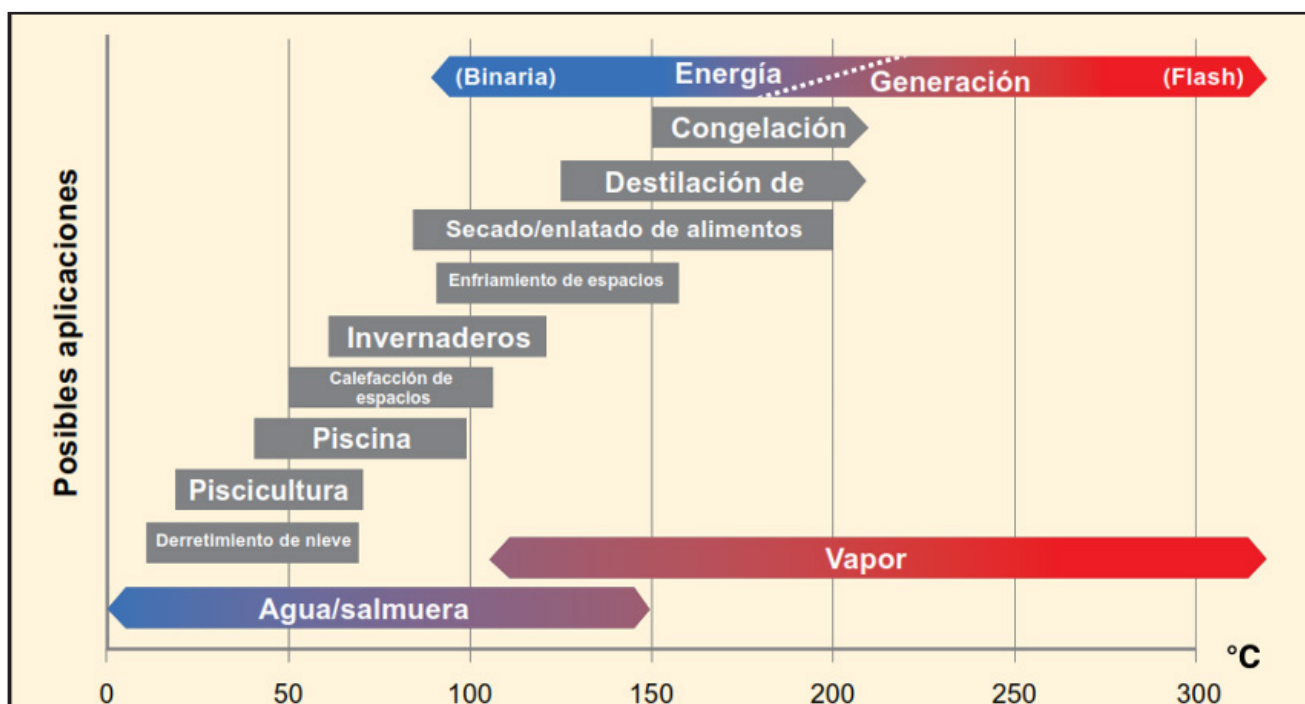


Figura 8: Diagrama Lindal para distintas aplicaciones del recurso geotérmico (ESMAP, 2012).

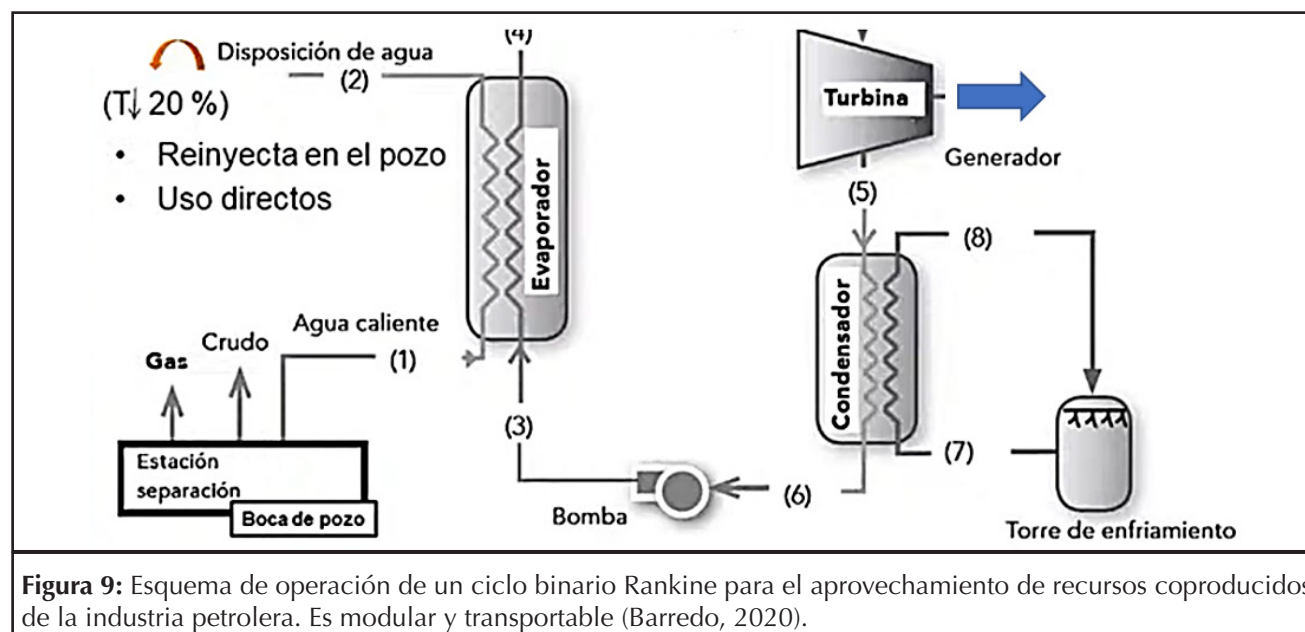


Figura 9: Esquema de operación de un ciclo binario Rankine para el aprovechamiento de recursos coproducidos de la industria petrolera. Es modular y transportable (Barredo, 2020).

esquistos (*shale gas*), petróleo de esquistos (*shale oil*) y gas de arenas compactas (*tight gas*) de la conocida formación Vaca Muerta.

Entonces, los yacimientos del sector convencional de la cuenca

Neuquina, del Golfo de San Jorge, Austral, Cuyana y del Noroeste están muy cerca de su madurez y en la mayoría de los casos con producción marginal. Por ejemplo, algunos yacimientos petroleros de la cuenca del Golfo de San Jorge tienen hasta

un corte de producción del 98 %, esto quiere decir que solo el 2 % de lo que se produce son hidrocarburos y el 98 % restante es agua caliente. En función de la profundidad de los pozos y del gradiente geotérmico, se podría utilizar el contenido

energético del agua coproducida de la extracción de petróleo y gas en distintas aplicaciones, por ejemplo, en intercambiadores de calor para distintos procesos industriales, en calefacción de edificaciones (*district heating*), hasta incluso generación de electricidad en un ciclo binario Rankine. Como puede observarse es un recurso energético que no se aprovecha y podría utilizarse en varias aplicaciones como lo indica el diagrama Lindal en la Figura 8.

La Figura 10 muestra la temperatura en función de la profundidad de más de 1.200 pozos de la Cuenca del Golfo de San Jorge con un corte de agua mayor al 90 %, mostrando rangos de temperatura de 80 a 115 °C en profundidades aproximadas de 2.350 m, con un gradiente geotérmico promedio de 3,59 °C/100 m. Estas condiciones son favorables para el aprovechamiento del calor coproducido siendo susceptible de ser transformado en energía eléctrica en un ciclo binario (Figura 9) y utilizarla en operaciones dentro del mismo yacimiento o aprovecharlo de forma directa. Como se observa, la reducción de temperatura del agua luego de generar electricidad es de un 20 %. Esta agua puede reinyectarse en el yacimiento o seguir aprovechando su contenido energético en usos directos (Stinco, 2015).

Para generar una potencia eléctrica continua de 1 kW se requieren 16 bbl⁶/d de agua con suficiente temperatura para el ciclo binario Rankine. Un pozo tipo de la Cuenca del Golfo de San Jorge del Flanco Sur en el periodo 2010-2011 producía 120 bbl/d de petróleo y 280 bbl/d de agua, por lo que potencialmente se podrían generar 420 kWh por día.

Los yacimientos de esta área se conforman por 2.150 pozos productivos con una producción de agua de 340.000 bbl/d por lo que se podría producir 510 MWh por día de

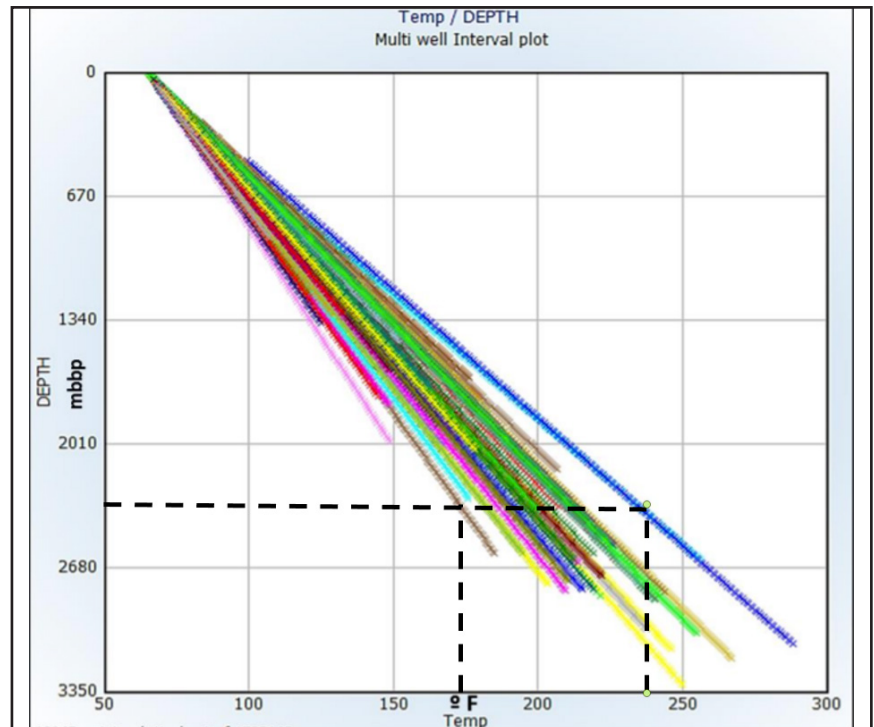


Figura 10: Temperatura en función de la profundidad de pozos de la Cuenca del Golfo de San Jorge, se observa que a una profundidad aproximada de 2350 m la temperatura de los pozos tiene un rango de 80 a 115 °C (Stinco, 2015).

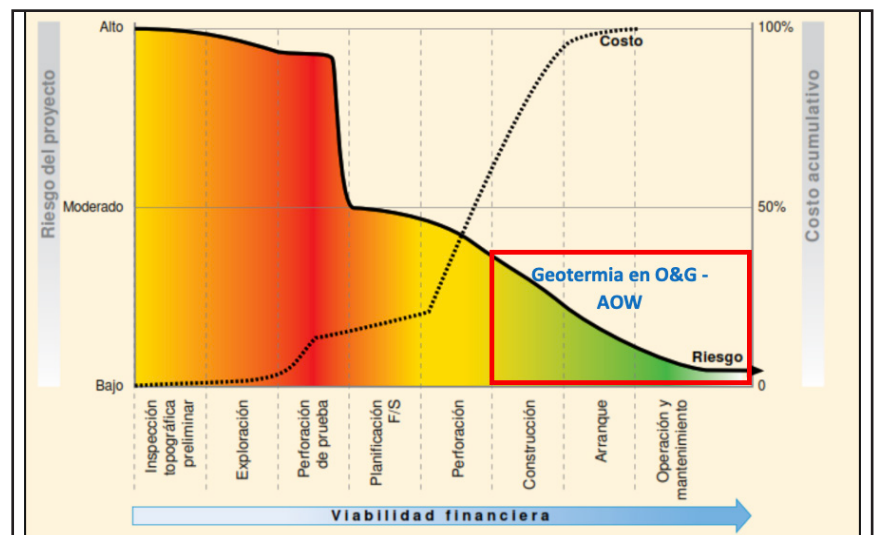


Figura 11: Costo y perfil de riesgos en las diversas fases de un proyecto geotérmico. Para el caso particular de aprovechamiento de pozos de petróleo abandonados (AOW), se observa que tanto el riesgo como el costo se reducen significativamente, al igual que el tiempo del proyecto (modificado de ESMAP, 2012).

electricidad solo con el aprovechamiento del calor del agua coproducida de los pozos.

Como se observa el potencial energético de pozos petroleros con producción de hidrocarburos margi-

nal y pozos abandonados tienen un gran potencial de aprovechamiento energético, ya sea para producir electricidad en un ciclo binario Rankine si la temperatura del agua es suficiente, para uso directo en climatización o distintos procesos industriales.

La Figura 11 muestra la evolución financiera de un proyecto geotérmico a través del riesgo del proyecto, los costos acumulados y las fases de desarrollo. En general, un proyecto geotérmico dura de 5 a 10 años hasta su puesta en marcha. Debido a este largo ciclo, la energía geotérmica no es una solución rápida para los problemas de suministro de cualquier país, sino más bien debería ser parte de una estrategia de generación de largo plazo.

Además de los riesgos comunes a un proyecto de generación de energía conectada a la red eléctrica, los proyectos geotérmicos tienen riesgos adicionales en las fases de exploración, perforación, producción (*upstream*) y, especialmente, perforación.

En cambio, los riesgos y tiempos de ejecución de un proyecto geotérmico pueden reducirse considerablemente si se utilizan recursos coproducidos de la industria petrolera (O&G), como por ejemplo pozos de petróleo abandonados (AOW), disminuyendo los costos hasta un 70 % (ver recuadro rojo en la Figura 11).

■ CONCLUSIONES

- El aprovechamiento de los recursos geotérmicos, en todas sus formas, desde el uso directo, bombas de calor hasta la generación eléctrica debería considerarse con mayor ímpetu para la diversificación de la matriz energética del país, para disminuir el uso de combustibles fósiles y aportar a la lucha contra

el cambio climático por reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

- Argentina tienen gran disponibilidad de recursos geotérmicos de baja, media y alta entalpía; sin embargo, para fines de generación de electricidad, el aprovechamiento es nulo. Además, el país fue uno de los pioneros en Sudamérica en generación de electricidad geotérmica con la central piloto de Copahue. Se tiene la experiencia y los recursos necesarios para el despliegue de esta tecnología.
- Si bien los costos iniciales de un proyecto geotérmico son elevados, las incertidumbres y riesgos se reducen significativamente con el conocimiento integral de la geología y propiedades del subsuelo. Por tal motivo, resulta fundamental continuar con la investigación y el estudio de los recursos geotérmicos, como así también disponer de todos los datos e información geológica y de subsuelo disponibles.
- Las tecnologías avanzadas de perforaciones profundas y fracturamiento hidráulico para el desarrollo de recursos geotérmicos no convencionales son análogas a las utilizadas en la explotación de yacimientos no convencionales de petróleo y gas. Argentina, con el desarrollo masivo de Vaca Muerta dispone de tecnologías y el "*know how*" necesario para la sinergia entre la industria O&G y la producción de energía geotérmica.
- Existe un enorme potencial de aprovechamiento de los recursos coproducidos de la industria petrolera, desde el uso directo hasta la generación de energía con aplicaciones directas en el mismo yacimiento, o en distintos procesos que requieran de energía.
- Resulta necesario contar con políticas de estado contundentes que trasciendan los gobiernos de turno y que incluyan a la energía geotérmica en la agenda nacional de desarrollo energético procurando una estrecha y dinámica interrelación

entre el estado, las universidades, los centros de investigación, las empresas privadas y los organismos de financiamiento.

■ BIBLIOGRAFÍA

Barcelona, H. (2015). "Caracterización del Sistema Geotermal de Valle del Cura, San Juan". Tesis Doctoral en el área de Ciencias Geológicas. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas.

Barcelona, H. (2020). "Ciclo de Conferencias Virtuales de la Universidad de Buenos Aires (UBA): Jornadas Exactas y la Energía. Energía Geotérmica." presentada por el Dr. Hernán Barcelona el 16/10/2020.

Barredo, S. (2020). "Ciclo de Conferencias Virtuales UBA: Jornadas Exactas y la Energía. Energía Geotérmica." presentada por Dra. Silvia Barredo el 16/10/2020.

Boden, D. R. (2017). "Geological Fundamentals of Geothermal Energy". Energy and The Environment, Abbas Ghassemi, Series Editor, Boca Raton, FL: CRC Press.

Bona, P., Coviello, M. F. (2016). "Valoración y gobernanza de los proyectos geotérmicos en América del Sur". Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas.

Coira, B. (2008). "Recursos Geotérmicos de Alta Entalpía de la Provincia de Jujuy". Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy.

- Chiodi, A. L., Filipovich, R. E., Esteban, C. L., Pesce, A. H., Stefanini, V. A. (2020).** "Geothermal Country Update of Argentina: 2015-2020". Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020.
- Chiodini, G., Liccioli, C., Vaselli, O., Calabrese, S., Tassi, F., Caliro, S., Caselli, A., Agosto, M., D'Alessandro, A., 2014.** "The Domuyo Volcanic System: An Enormous Geothermal Resource in Argentina Patagonia". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 274 (2014) 71-77.
- Giordano, G., Ahumada, M. F., Aldega, L., Baez, W., Becchio, R., Bigi, S., Caricchi, C., Chiodi, A., Corrado, S., De Benedetti, A. A., Favetto, A., Filipovich, R., Fusari, A., Gropelli, G., Invernizzi, C., Maffucci, R., Norini, G., Pinton, A., Pomposiello, C., Tassi, F., Taviani, S., Viramonte, J. (2016).** "Preliminary Data on the Structure and Potential of the Tocomar Geothermal Field (Puna Plateau, Argentina)". *Energy Procedia* 97 (2016) 202 – 209.
- Gonzalez, M. (2019).** "Energía Geotérmica: Estado de Arte de la Tecnología de Generación de Energía Eléctrica a partir de la Geotermia".
- IRENA 2021a- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2021a).** "Renewable Capacity Statistics 2021".
- IRENA 2121b- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2021b).** "World Energy Transitions Outlook 2021".
- IRENA 2021c- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2021c)** "Renewable Power Generation Costs in 2020".
- IRENA 2017- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2017).** "Geothermal Power Technology Brief".
- Ley 1998- Ley N° 25.019 (Septiembre 1998).** "Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar".
- Ley 2006-Ley N° 26.190 (Diciembre 2006).** "Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinadas a la producción de energía eléctrica".
- Ley 2015-Ley N° 27.191 (Septiembre 2015).** "Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinadas a la producción de energía eléctrica", modifica Ley N° 26.190.
- Massaro, E. (2017).** "Finite Element Simulation of a Highly Water-Saturated Gas Reservoir in Northwestern Argentina to Forecast its Geothermal Potential". Thesis Work, Institute of Applied Geosciences Department of Civil Engineering, Geo and Environmental Sciences Karlsruhe Institute of Technology, Germany.
- Massaro, A. (2020).** Ciclo de conferencia virtuales de la Facultad de Ingeniería del Ejército (FIE): "Del Fracking a la Geotermia – La Energía de Transición" presentada por el Dr. Agustín Sosa Massaro el 22/10/2020.
- Pesce, A. y Miranda, F. (2003).** SEGEMAR 2003- Servicio Geológico Minero Argentino (2003). "Catálogo de Manifestaciones Termales de la República Argentina, Volumen I, Región Noroeste".
- Pesce, A. y Miranda, F. (2000).** SEGEMAR 2000. Servicio Geológico Minero Argentino (2000). "Catálogo de Manifestaciones Termales de la República Argentina, Volumen II, Región Noreste, Centro y Sur".
- Programa Renovar:** "https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/renovar".
- Naón, V. (2020).** SEGEMAR 2020- Servicio Geológico Minero Argentino (2020). "Catálogo de Publicaciones Geocientíficas sobre 18 Prospectos Geotérmicos Seleccionados por el Servicio Geológico Minero Argentino".
- Shere, J. (2013).** "Renewable: The World-Changing Power of Alternative Energy". St Martin's Press: New York, p. 201.
- Stinco, L. P. (2015).** "Caracterización y análisis evolutivo en subsuelo de los sistemas petroleros representados por las unidades cretácicas comprendidas entre los 46° y 47° latitud Sur y 67° y 69° longitud Oeste, Flanco Sur de la Cuenca Golfo San Jorge, República Argentina". Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Van der Zwaan y Longa 2019-van der Zwaan, B., Longa, F. D. (2019).** "Integrated assessment projections for global geothermal energy use". *Geothermics* 82 (2019) 203-211.

■ NOTAS

- ^(a) Presión litoestática: es la presión del peso de sobrecarga o de la roca suprayacente (rocas que están por encima) que es soportado

por una formación geológica en profundidad, también se conoce como presión geoestática.

^(b) Data science: expresión en inglés referida a la “ciencia de datos”. Es un campo interdisciplinario de la inteligencia artificial que involucra estadísticas, método científico, análisis predictivo y automático, visualización y análisis para lograr un mejor entendimiento de los datos.

^(c) Machine learning: expresión en inglés referida al “aprendizaje automático”. Es un campo de la inteligencia artificial, que, a través de

distintos algoritmos, le da capacidad a las computadoras de identificar patrones en datos masivos y elaborar predicciones (análisis predictivos).

^(d) MPa: múltiplo de unidad de medición de presión, M = mega ($10^6 = 1.000.000$), Pa = pascal. Es decir, 1 MPa es igual a 1.000.000 de pascales.

^(e) TDS: “Total Dissolved Solids” o sólidos disueltos totales, es una medida de concentración total de todas las sustancias disueltas en un líquido.

^(f) bbl/d: medida de caudal volumétrico utilizada comúnmente en la industria petrolera; bbl = barril, día = día, L = litro (1 bbl/d = 158,99 L/d).

1. La primera planta geotérmica entró en operación en el año 1913 en la localidad de Larderello, Italia. Inclusive el primer pozo que se perforó, no fue para extraer petróleo, sino para producir vapor.

ACTUALIDAD DE LA ENERGÍA EÓLICA EN ARGENTINA

Palabras clave: energía eólica, matriz eólica, actualidad, infraestructura eléctrica, desarrollo territorial.

Key words: wind energy, wind matrix, current affairs, electrical infrastructure, territorial development.

Desde el primer impulso institucional fuerte vinculado al aprovechamiento energético del viento que representó la creación del Centro Regional de Energía Eólica han transcurrido treinta y siete años. En ese período, caracterizado por ciclos de mayor y menor crecimiento de la actividad, Argentina ha instalado aproximadamente 3300 MW de potencia eólica (3263 MW a finales de 2021).

En este artículo se presentan los principales aspectos de ese proceso de desarrollo de la energía eólica en Argentina. Con un enfoque descriptivo y siguiendo principalmente una huella cronológica, se enumeran y ubican los principales hitos de esta fuente energética en términos de instalación de centrales de generación eólica, a la vez que se mencionan y describen los aspectos relativos a legislación y políticas públicas que significaron un impulso al desarrollo de esta fuente en el país. Del mismo modo, se abordan los factores que han oficiado como limitantes, cómo se ha buscado resolverlos, y en qué grado siguen presentes en la actualidad.

Los casi 3300 MW de potencia mencionados previamente tienen la particularidad de haber sido instalados en un muy alto porcentaje desde el año 2010. A partir de allí la generación eólica se desarrolló en el territorio de nueve provincias argentinas, contando con el mayor peso relativo en las provincias del Chubut, Buenos Aires y Santa Cruz. Estas tres provincias representaron, respectivamente, el 38 %, 37 % y 11 % del total de energía eólica generada en el país durante 2022, a la vez que son las que cuentan, en igual orden, con mayor potencia instalada. Las restantes provincias con potencia instalada son Neuquén, Río Negro, La Pampa, Córdoba, La Rioja y Santiago del Estero.

Este panorama alentador a la vista de los resultados contrasta con las dificultades que hoy atraviesa el sector, donde la ya limitada infraestructura de transporte eléctrico, las condiciones del mercado, la coyuntura nacional con una aparente falta de políticas públicas afines y la debilidad en la implementación de los marcos regulatorios asociados a la promoción de las fuentes renovables de energía, comienzan a generar un marcado freno de la actividad.

Thirty-seven years have elapsed since the first strong institutional drive linked to the use of wind energy, which represented the creation of the Regional Wind Energy Center ("Centro Regional de Energía Eólica"). In this period, characterized by cycles of greater and lesser growth in activity, Argentina has installed approximately 3,300 MW of wind power (3,263 at the end of 2021).

This article describes the main aspects of this development process of wind energy in Argentina. With a descriptive approach and mainly following a chronological trace, the main milestones of this energy source are listed and located in terms of the installation of wind power generation plants, while mentioning and describing the aspects related to legislation and public policies that meant a boost to the development of this source in the country. In the same way, the factors that have acted as limitations are addressed, how they have been sought to be resolved and how they continue to be present today.

The almost 3,300 MW of power mentioned above have the particularity of having been installed in a very high percentage since 2010. From then on, wind generation was developed in the territory of nine Argentine provinces, with the greatest relative weight in the provinces of Chubut, Buenos Aires, and Santa Cruz. These three provinces represented 38 %, 37 % and 11 % of the total wind energy generated in the country during 2022, while they are the ones that have, in the same order, the highest installed power. The other provinces are Neuquén, Río Negro, La Pampa, Córdoba, La Rioja, and Santiago del Estero. This encouraging panorama in view of the results contrasts with the difficulties that the sector is going through today, where the already limited electricity transmission infrastructure, market conditions, the national situation with an apparent lack of related public policies and the weakness that has been characterizing the implementation of regulatory frameworks associated with the promotion of renewable energy sources, they begin to generate a marked slowdown in activity.

■ INTRODUCCIÓN

El viento, además de ser una sección de la tropósfera en movimiento producto de las variaciones de tempe-

ratura, densidad del aire y presión atmosférica que se derivan de la particular forma en que el planeta recibe la radiación solar en sus ciclos diario y anual, es una fuente de energía

de gran importancia, que se haya presente en todas partes del mundo en mayor o menor magnitud, en parte ello debido a la dinámica propia de la atmósfera a escala planetaria.

Roberto Daniel Jones

Agencia Provincial de Promoción de Energías Renovables. Provincia del Chubut..

E-mail: robertodanieljones@gmail.com

Argentina en general, por la circulación global de vientos, y la Patagonia en particular, por su disposición en relación con los vientos dominantes del oeste originados en el anticiclón del Pacífico Sur, se ven beneficiadas por disponer de un gran recurso eólico factible de ser convertido en energía eléctrica. No obstante, tal posibilidad de aprovechamiento energético encuentra actualmente sus límites en la capacidad de transportar energía (infraestructura eléctrica de transporte) más que en la existencia de vientos y otras condiciones ambientales, o en el mismo desarrollo tecnológico de la propia actividad eólica.

La Patagonia, históricamente reconocida como una región de vientos por excelencia, sigue siendo un importante territorio en ese sentido. Pero no debe desconocerse la importancia de otras regiones del país que han avanzado considerablemente en los últimos años, en lo que a aprovechamiento de esta fuente energética se refiere.

El presente artículo es una síntesis del panorama general de la energía eólica en Argentina, finalizando el primer semestre del año 2022, especialmente en lo referido a la generación eléctrica a gran escala (por medio de centrales eólicas multi megavatios), y el peso relativo de las distintas provincias en la matriz de generación con esta fuente.

■ PRINCIPALES ANTECEDENTES DEL APROVECHAMIENTO EÓLICO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ARGENTINA

En la República Argentina, el aprovechamiento del viento con fines energéticos es una historia relativamente reciente. La misma se ha escrito en estrecha relación con lo que fue ocurriendo respecto de la activi-

dad en la Provincia del Chubut. En ésta tuvo una determinante incidencia la creación, en el año 1985, del Centro Regional de Energía Eólica (CREE) mediante un convenio entre la Provincia del Chubut, la Universidad Nacional de la Patagonia y la Secretaría de Energía de la Nación. Esta organización interinstitucional perduraría hasta el año 1990, a partir del cual el CREE pasó a ser una institución plenamente provincial.

Entre sus objetivos fundacionales se destacó concentrar el conocimiento sobre el tema eólico, realizar acciones para su aplicación, asesorar técnicamente en la materia, mantener un intercambio permanente de su información con otras entidades técnicas y científicas y capacitar a profesionales.

Durante aquellos primeros años y en virtud de esos objetivos se llevaron a cabo importantes estudios y se realizaron las primeras redes de observación anemométrica en el territorio provincial, lo que junto a las gestiones que pudieron realizarse a escala nacional e internacional se llegó a la concreción del primer proyecto importante en el país: un sistema híbrido diesel- eólico, que se instaló en la localidad Chubutense de Río Mayo a finales del año 1989, en un desarrollo conjunto entre el CREE y la Dirección General de Servicios Públicos de la provincia, ya que esa central entregaría su energía a la red de distribución local.

Este proyecto contó con cuatro turbinas de 30 kilowatts (kW), constituyéndose en el primero de conversión eólica instalado en Sudamérica para la prestación del servicio público de electricidad.

Los problemas de disponibilidad técnica que aparecieron a partir del segundo año de operación y a pe-

sar de haber tenido un muy buen primer año de funcionamiento, causaron que, más allá de lo innovador de esta experiencia, las expectativas de que la misma disparase el crecimiento de la actividad en el país no llegaron a cumplirse. Pero el Parque eólico de Río Mayo quedará en la historia como el primer proyecto de provisión pública de energía eléctrica de origen eólico.

Luego de esto, prácticamente un lustro después, en 1994 y de la mano de las cooperativas eléctricas de Comodoro Rivadavia, en Chubut, primero y Cutral Có, en Neuquén meses después, se instalaron los primeros grandes equipos conversores de energía eólica, dando así inicio a un desarrollo importante de esta fuente en nuestro país. Cabe mencionar que las máquinas instaladas en Comodoro Rivadavia fueron dos equipos del fabricante danés MICON, de una potencia unitaria de 250 kW, mientras que el molino instalado en Neuquén, del mismo fabricante, fue de 400 kW. Debe destacarse que por entonces la industria eólica a nivel mundial producía mayormente máquinas en ese orden de potencia.

Los rendimientos alcanzados por las turbinas de Comodoro Rivadavia fueron notables llegando a batir el record mundial de producción de una turbina de ese tamaño durante el mismo año de su instalación, mostrando una disponibilidad técnica superior al 95 %. Con ello el interés por la actividad se proyectó a escala nacional.

Luego seguirían Punta Alta, en la Provincia de Buenos Aires (400 kW en febrero de 1995), Tandil (800 kW en 1995), Pico Truncado (1000 kW en agosto de 1995 mediante 10 turbinas de 100 kW que serían reemplazadas a partir de 2001 por cuatro máquinas de 600 kW).

Hacia el año 1997 la Cooperativa eléctrica de la Ciudad de Comodoro Rivadavia realizó la ampliación del Parque Eólico mediante la instalación de ocho máquinas de mayor envergadura que las existentes con una potencia unitaria de 750 kW (6 MW) y del mismo fabricante. De esta manera la Provincia del Chubut pasó a contar con la mayor Central Eólica de Sudamérica, con 6,5 MW de potencia instalada.

A su vez la Cooperativa eléctrica de Rada Tilly, municipio vecino a escasos kilómetros al sur de la Ciudad de Comodoro Rivadavia, decidió aportar al consumo energético local mediante la instalación de un aerogenerador similar a los instalados en la vecina Ciudad, pero de una potencia de 400 kW. Era marzo de 1996 y el florecimiento de la actividad era innegable.

Simultáneamente a mediados de la década de 1990, la Provincia del Chubut por medio de distintos organismos públicos (CREE, Dirección de desarrollo social, Instituto Provincial de la Vivienda, Dirección General de Servicios Públicos) llevó adelante los primeros programas de electrificación eólica en áreas aisladas de la interconexión eléctrica mediante sistemas eólicos domiciliarios. Éstos estuvieron destinados a Aldeas Escolares (pequeños asentamientos en torno a escuelas rurales que originalmente eran habitados por las familias de los estudiantes) y también a pobladores rurales dispersos en el territorio. Mediante los mismos se llegaron a instalar alrededor de 300 equipos de 600/700 Watts de potencia, destinados a mejorar la calidad de vida de pequeños productores y comunidades originarias principalmente.

Durante el resto de la década de 1990 la actividad siguió despertando el interés de diferentes actores del sector eléctrico en distintas pro-

vincias, habiéndose concretado las siguientes instalaciones:

- Darregueira, en Buenos Aires, con un aerogenerador de 750 kW igual a los instalados en la ampliación de la Central de Comodoro Rivadavia.

- Mayor Buratovich, por medio de la Cooperativa Eléctrica y de Servicios local incorporó 1200 kW en octubre de 1997.

- Punta Alta hizo lo propio sumando 1800 kW en el sitio denominado Bajo Hondo, en diciembre de 1997.

- Claromecó instaló un molino de 750 kW en diciembre de 1998, también gracias al emprendimiento de la cooperativa eléctrica local.

Este crecimiento de la actividad ponía en evidencia la necesidad de organizar y fortalecer el marco normativo a nivel nacional. Dicho marco estaba regulado por la Ley N° 24065 denominada "Régimen de la Energía Eléctrica", que desde el año 1992 tras las privatizaciones de las empresas públicas por parte del Gobierno Nacional había segmentado en tres grandes partes al sector eléctrico (generación, transporte y distribución), condición que hasta la actualidad se mantiene. A su vez la mencionada Ley había liberado ese mercado y generado las condiciones para la proliferación de actores privados en cada uno de esos sectores.

En ese marco, en 1998 el "Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar" (Ley Nacional N° 25.019) marcó un hito, al declarar de interés Nacional la generación de energía eléctrica de origen eólico y solar en todo el territorio nacional.

Con este impulso, hacia el año 2000 comenzaron a realizarse los estudios correspondientes para la ampliación de la Central Eólica

de Comodoro Rivadavia, llamada Parque Eólico Antonio Morán. Se proyectó la instalación de dieciséis nuevas máquinas de 750 kW, distribuidas en distintos sectores en torno a la ciudad, buscando además plasmar en el espacio el interés que la localidad tenía en el impulso y desarrollo de esta fuente energética. La idea era que desde cualquier punto de la ciudad se pudieran ver molinos. Esta obra comenzó a principios del año 2001, concluyéndose hacia finales del mismo año.

Todo este auge y el vasto horizonte que se avizoraba para el sector eólico por entonces fue drásticamente truncado por la crisis económica y política de 2001, hecho que interrumpió la posibilidad de que se concretaran muchos proyectos que estaban prontos a iniciarse (sobre todo en Chubut y Buenos Aires) y también frenó el intercambio de repuestos, recursos humanos y capacitación para el mantenimiento óptimo de los parques ya operativos. Todo esto paralizó la actividad en el país por los siguientes seis a ocho años.

Luego, a partir de distintas medidas llevadas a cabo allá por 2010, la actividad volvió a florecer y a la fecha, abril de 2022, encuentra en Argentina a nueve provincias participando en la generación eólica: Chubut, Buenos Aires, Santa Cruz, La Rioja, Córdoba, Río Negro, Neuquén, La Pampa y Santiago del Estero.

Chubut y Buenos Aires se posicionan hoy como las provincias con mayor potencia instalada y mayor generación eléctrica inyectada al SADI.

La Tabla 1 resume la actualidad de la generación eólica comercial a escala nacional.

Tabla 1. Centrales eólicas instaladas en el país.

Provincia	Nombre del PE	Pot. Instal. MW	FC* 2021 (%)	Pot. Instal. Pcia (MW)	Produce total x Pcia 2021 GWh/año	FC medio x Pcia (%) 2021
CHUBUT	Rawson I	48,6	35,53	1222,16	5013,77	47,8
	Rawson II	28,8	37,59			
	Rawson III	25,05	46,73			
	Madryn I	71,1	48,78			
	Madryn II	151,2	47,2			
	Chubut Norte I	28,8	49,87			
	Chubut Norte II	50,00	48,60			
	Chubut Norte III	50,00	47,54			
	Chubut Norte IV	83,22	45,83			
	Loma Blanca IV	51,00	32,81			
	Loma Blanca I	50,00	59,48			
	Loma Blanca II	52,00	57,01			
	Loma Blanca III	50,00	59,23			
	Loma Blanca VI	102,00	55,18			
	Manantiales Behr	99,00	58,68			
	ALUAR I	68,4	46,59			
	ALUAR II	93,6	50,86			
	Diadema I	6,3	49,14			
	Diadema II	27,6	32,84			
	Malaspina I	50,4	42,37			
	Garayalde	24,15	52,2			
	Kostén	24,00	47,17			
	El Tordillo	3,00	Fuera de servicio			
BUENOS AIRES	Villalonga	51,75	51,02	1174,98	4983,2	46,72
	Corti	100	41,84			
	La Castellana	100,8	47,03			
	García del Río	10	53,15			
	La Energética	79,8	49,43			
	La Genoveva I	86,63	48,47			
	Mataco 3 Picos	203,6	54,01			
	Vientos de Necochea	37,95	47,48			
	Miramar	98,6	43,44			
	Vientos del Secano	50	45,47			
	Villalonga II	3,45	50,22			
	Necochea Eólico	0,25	0,00			
	La Energética (MATER)	19,95	52,87			
	La Genoveva II (MATER)	41,8	48,78			
	Pampa Energía	50,4	48,56			
	La Castellana II	15,2	50,67			
	Los Teros	122	50,19			
	Los Teros II	52,40	47,25			
	P.E. del Fin del Mundo/de la Bahía	50,4	57,91			

CORDOBA	Achiras	48	45,24	127,8	530,7	48,12
	Los Olivos (MATER)	22,8	51,97			
	Manque (MATER)	57	47,16			
LA PAMPA	La Banderita	39,6	49,16	39,6	170,6	49,16
LA RIOJA	Arauco II ET 1	100	39,05	150,4	448,1	29,22
	Arauco 1 Etapa 1	25,2	27,99			
	Arauco 1 Etapa 2	25,2	20,62			
NEUQUEN	Vientos Neuquinos I	100	39,84	100	351,8	39,84
RIO NEGRO	Pomona I	100	41,2	111,7	412,8	43,31
	Pomona II	11,7	45,42			
STA CRUZ	Bicentenario	100,8	55,19	328,67	994,6	52,71
	Hércules	80	49,26			
	Bicentenario 2	25,2	53,7			
	Cañadón León Renovar2	101,52	Inicia OC Dic 2021			
	Cañadón León Mater	21,15	Inicia OC Dic 2021			
SGO DEL ESTERO	El Jume	8	14,82	8	10,3	14,82

* El Factor de Capacidad (FC) se define como el cociente entre la energía efectivamente generada por una instalación eólica en un plazo de un año y la que generaría si el viento soplasen las 8760 horas de año a velocidad nominal, es decir a la velocidad en la que la máquina es capaz de entregar su máxima potencia. Podría explicarse como el porcentaje de tiempo en el año en que las máquinas funcionan a plena potencia. En Argentina el promedio del FC en 2021 llegó a 41,3 %, con algunas centrales que alcanzaron un 59,2 % (Loma Blanca III en Chubut) o 57,9 % (P.E. del Fin del Mundo en Provincia de Buenos Aires), solo por citar dos ejemplos.

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de CAMMESA. Base de Datos: Informe Mensual de Generación Eólica y Solar. <https://cammesa.com/2020/09/15/informe-mensual-generacion-renovable-variable/>.

Durante el año 2021 la potencia eólica total instalada en el país alcanzó los 3.263 MW, y la energía eléctrica entregada al Mercado Eléctrico Mayorista fue de 12.915,8 GWh/año.

■ EL PASADO CERCANO Y LA ACTUALIDAD

Tras el mencionado freno de la actividad a partir de 2001, ocurrieron distintos hitos que han llevado a la actualidad de potencia eólica instalada y a la entrega de energía al mercado eléctrico mayorista MEM mencionada en el párrafo anterior. La potencia total instalada en el país se distribuye como se ve en la Figura 1.

Con estas potencias instaladas el aporte de energía eólica al sistema argentino de interconexión (SADI) durante todo 2021 según cada pro-

vincia se muestra en la Figura 2.

Solo en Patagonia se contaba a fin de 2021 con 1762,53 MW instalados, distribuidos en 31 centrales eólicas de gran potencia entre las provincias de Neuquén (una central), Río Negro (2 centrales), Chubut (23 centrales) y Santa Cruz (5 centrales), según muestra la Tabla 2. De este modo, durante el año 2021 la Patagonia aportó al SADI el 52,44 % de la generación eólica total del país.

Como se observa en dicha tabla, la provincia del Chubut es la que posee la mayor concentración de potencia instalada: 1222,16 MW repartidos en 23 parques.

En relación con esto debe decirse que el importante presente de la Energía Eólica en el país en general y en Patagonia particularmente, tie-

ne su punto de partida allá por el año 2006. Por entonces sucedieron dos hechos determinantes para la actividad:

- La inauguración en febrero del 2006, del tramo de LEAT (línea eléctrica en alta tensión) que unió al sistema interconectado Patagónico con el SADI. Se trató de 354 kilómetros de línea en 500 kV para interconectar la ET (estación transformadora) de Choele Choel con la nueva ET Puerto Madryn.

- La sanción de la Ley 26.190 "Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica", el 6 de diciembre de 2006.

El primero de los hechos brindó una respuesta parcial al histórico problema que ha ahogado el desa-

rollo de la energía eólica en alta potencia en la región patagónica: la falta de una infraestructura eléctrica que asegurase el transporte de la energía que la región era capaz de generar, pero cuya demanda siempre se situó en el centro del país. De hecho, hasta ese momento el punto extremo sur del SADI era Choele Choel y el sistema de interconexión patagónico tenía carácter de regional.

Al margen de los motivos por los cuales el país incurre en sucesivas crisis energéticas, el consumo masivo se encuentra altamente concentrado mientras que las posibilidades de generación mediante distintas fuentes, en particular renovables, se hallan dispersas en el territorio. El cuello de botella es, en consecuencia, el transporte de la energía.

El segundo hecho de sustancial importancia antes mencionado, la sanción de la Ley 26.190, abrió el juego a la participación de otras fuentes de energías renovables, y sobre todo instaló mediante el establecimiento de plazos determinados, la modificación de la matriz de consumo eléctrico nacional.

La Ley 26.190 estableció el objetivo de alcanzar un 8 % del consumo nacional de electricidad generado mediante energías renovables (excluyendo las grandes centrales hidroeléctricas) a fin de 2016, creó un fondo fiduciario para apoyar a la generación con energías renovables y estableció beneficios fiscales

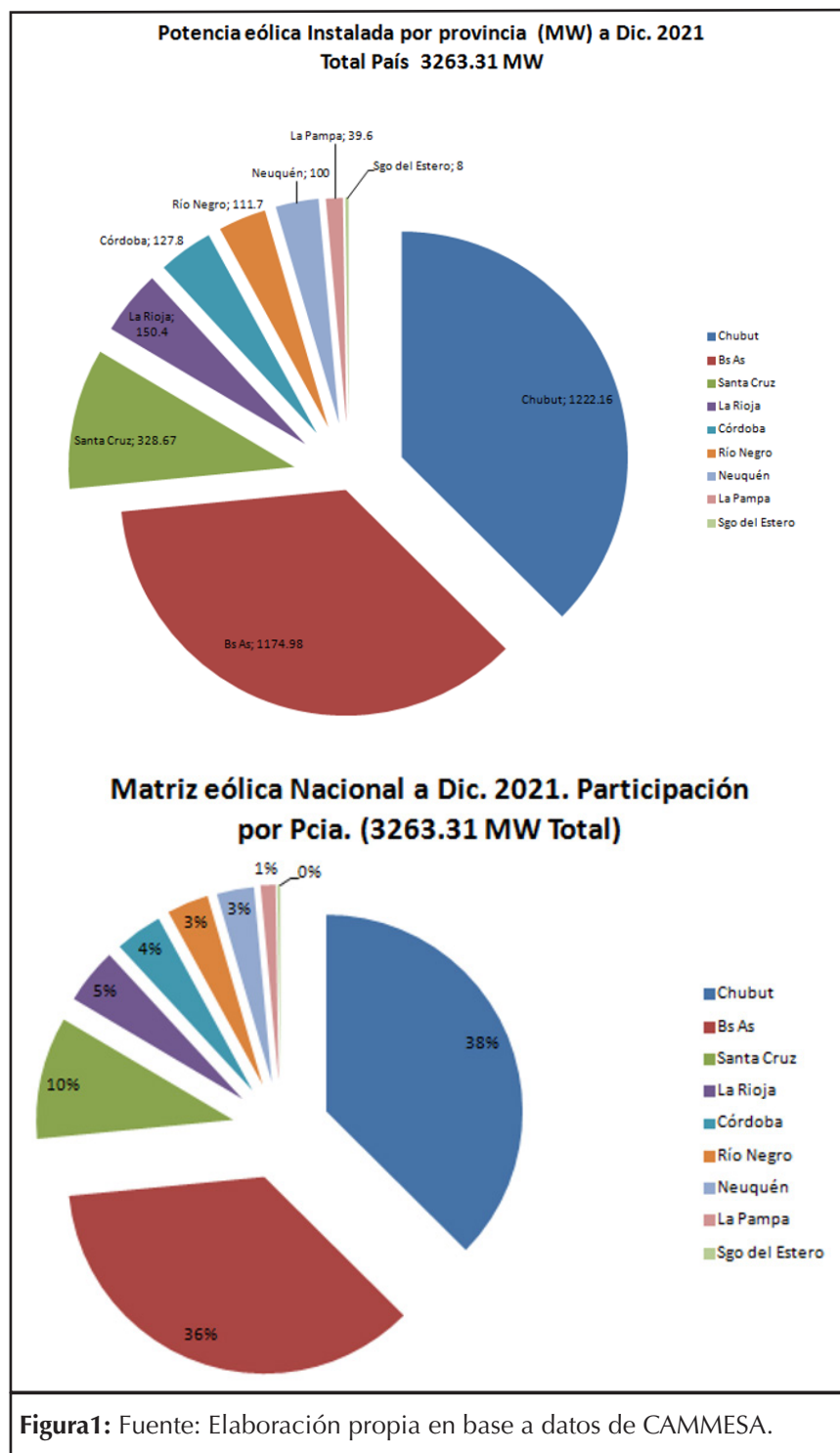


Tabla 2.

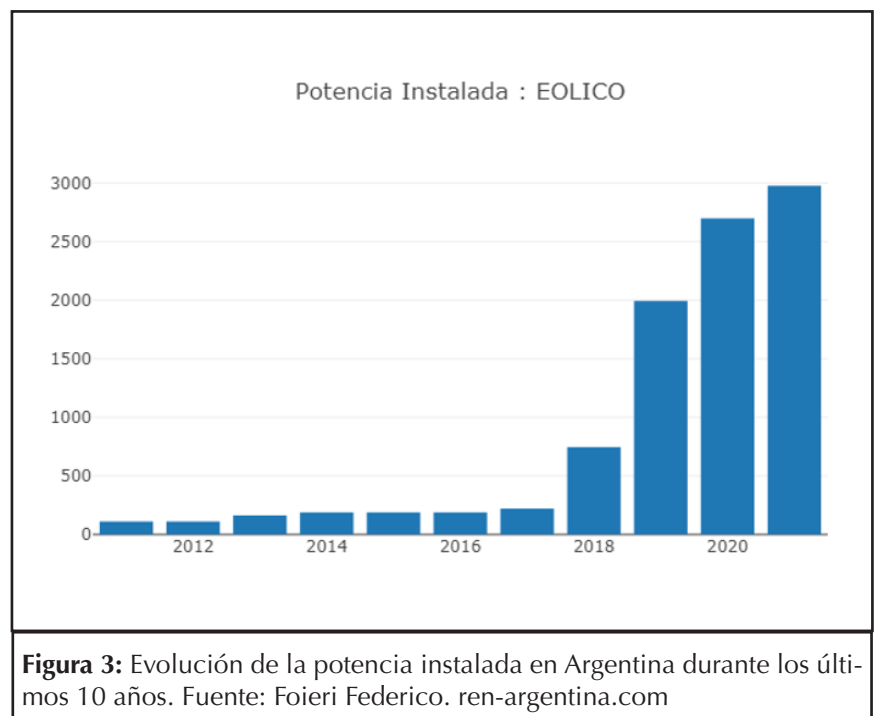
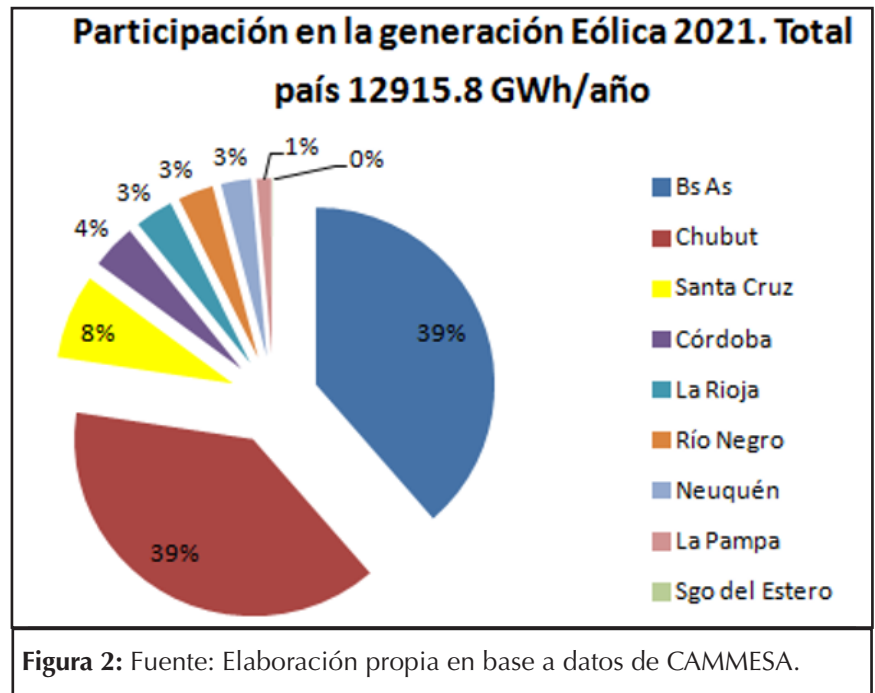
Provincia	Potencia instalada (MW)	Cantidad de centrales	Energía generada en '21 (GWh/año)	FC medio 2021 (%)
Neuquén	100	1	351,8	39,84
Río Negro	111,7	2	412,8	43,31
Chubut	1222,16	23	5013,7	47,8
Santa Cruz	328,67	5	994,6	52,71

Fuente: CAMMESA. (<https://cammesaweb.cammesa.com/informe-mensual-generacion-renovable-variable/>).

e impositivos a la actividad. De esta manera, fijó un marco por medio del cual el Estado Nacional, a través de la Secretaría de Energía de la Nación, emitió diferentes instrumentos legales para impulsar el uso de fuentes renovables en la matriz eléctrica, dando origen, por ejemplo, al Plan Estratégico Nacional de Energía Eólica, al programa GENREN (generación renovable, primera licitación de compra de energía renovable por parte de la Secretaría de Energía de la Nación), a la creación de la empresa ENARSA (Energía Argentina S.A.) y a la emisión de las primeras licitaciones públicas de compra de energía renovable por parte del Estado Nacional (Resoluciones 712/099 y 108/11). El éxito alcanzado por la aplicación de la Ley 26.190 fue muy limitado ya que la contribución real de las fuentes renovables de energía a la matriz de generación rondó el 2 % para el año 2016, muy lejos del objetivo fijado por la ley.

En setiembre de 2015, muy próximo a llegar al horizonte planteado por la ley 26.190 para alcanzar el 8% de consumo renovable antes señalado, se produjo la sanción de la Ley 27.191 "Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación". Como su título lo señaló, esta Ley introdujo cambios en el marco regulatorio que ya estaba definido en la Ley 26.190.

Luego, con la Resolución 202/16 de la Secretaría de Energía se derogaron las anteriores Resoluciones 712/099 y 108/11 y se renegociaron los contratos de energías renovables ya en el marco de Ley 27.191, dando paso también a las licitaciones que se conocieron como programas RenovAr. Todo ello permitió el despegue de la potencia instalada que demuestra la Figura 3.



Entre los cambios más destacados que introdujo la Ley 27.191 se puede mencionar que extendió hasta diciembre de 2017 el plazo para alcanzar la contribución del 8 % de renovables en el consumo de energía eléctrica nacional. Asimismo, es-

tableció alcanzar un 20 % a fines de 2025, con metas graduales intermedias, incluyó la posibilidad de generación con otras fuentes renovables antes no contempladas (biocombustibles, energía de las olas, energía solar térmica entre otras). También

elevó de 30 a 50 MW el límite de potencia de las centrales minihidráulicas. Además de ampliar los beneficios fiscales, destaca la creación de un fondo fiduciario denominado (FODER) Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables, cuyo objetivo es el apoyo económico para la ejecución y financiamiento de proyectos de energía renovable.

Los 3263,3 MW (3,26 GW) de generación eólica instalados en Argentina hasta fines de 2021 representan un valor muy destacable en un país donde la actividad es relativamente reciente, pero parecen insignificantes a escala mundial donde a finales de 2020, según el Global Wind Energy Council (GWEC), la potencia instalada mundial alcanzó los 651 GW (ver Tabla 3).

A los programas GenRen y, principalmente, RenovAr se debe en gran medida la potencia instalada actualmente en Argentina. Ambos modelos de licitación de compra de energía renovable propiciaron el desarrollo visto hasta ahora. Cabe señalar no obstante que los objetivos, más allá de la generación de energía con fuentes renovables, muestran claras diferencias entre ambos programas, detrás de las cuales queda

la posibilidad de desarrollo de la industria eólica, no solo de la generación de energía eólica, en el país.

Si hacemos un somero análisis del origen de las tecnologías instaladas en las nueve provincias productoras de energía eólica de Argentina, veremos que la participación de los fabricantes nacionales de turbinas, uno de los pilares del Plan Estratégico Nacional de Energía Eólica del cual también fue parte el programa GenRen, es muy marginal. Esto queda claramente ilustrado en los gráficos de la Figura 4.

■ PERSPECTIVAS A CORTO PLAZO

Actualmente el crecimiento de la actividad eólica en Argentina continúa estando sujeto a los mismos factores

históricos que lo han ralentizado: la capacidad de transporte del sistema eléctrico y la definición de políticas que alienten programas de expansión de la actividad.

El momento histórico para realizar definiciones y avanzar a grandes pasos nunca había sido tan propicio, con un modelo energético en crisis

un encauzamiento global hacia la transición energética limpia en pos de intentar minimizar el daño ambiental global causado por el modelo de acumulación del que se desprende el primero.

Si bien se viene planteando hace ya unos cinco años la posibilidad de construir una nueva línea de alta tensión (500 kV) entre Choele Choe y

Tabla 3.	
	Potencia instalada (GW) En parques "onshore" o continentales
	Total
Patagonia Argentina*	1,76 (FC 44,6 %)
República Argentina*	3,26 (FC 44,5 %)
Continente Americano**	170
Mundo**	651

Fuentes: * Sitio web www.ren-argentina.com (Autor Dr. Federico Foieri) y Reportes CAMMESA. ** GWEC. Global Wind Report 2021.

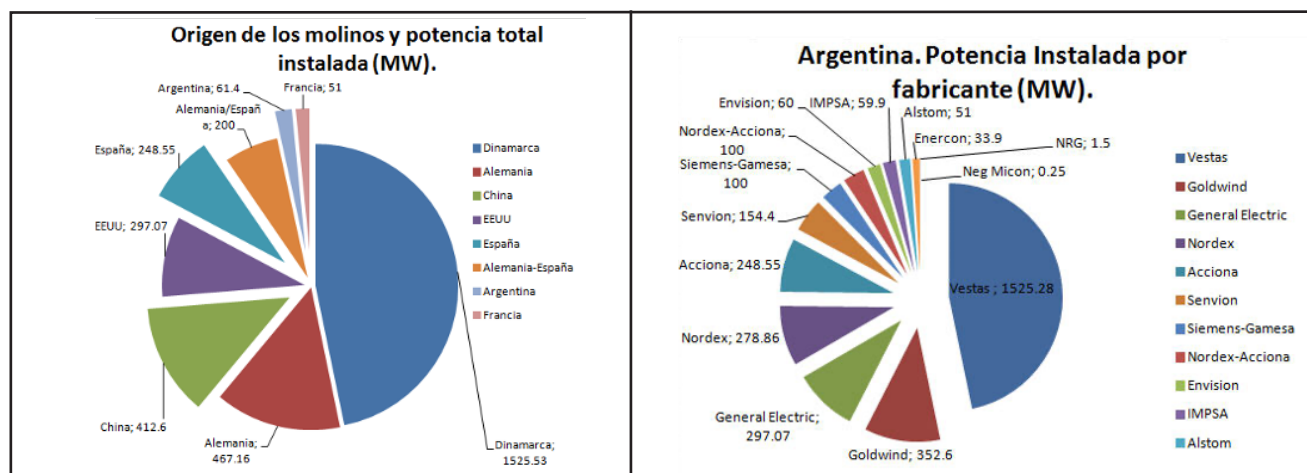


Figura 4: País de origen de los aerogeneradores, fabricante y potencia instalada en Argentina a diciembre de 2021. Fuente: elaboración propia.

Puerto Madryn, denominada Choele Choe – Madryn II (proyecto que está contemplado en el Plan Quinquenal Federal III Redes Eléctricas del año 2020, como obra de prioridad “1”, junto a la ampliación de las correspondientes estaciones transformadoras (ET) de Choele Choe y Puerto Madryn), la misma aún no se concretó.

Actualmente no parece haber un panorama claro desde el punto de vista de la definición de políticas públicas orientadas hacia el sector. Es de esperar que las mismas acompañen la posible concreción de las obras de infraestructura eléctrica imprescindibles.

También es importante mencionar que, para el caso de la Patagonia, el panorama no solo es alentador relacionado con la demanda de energía y su aporte al SADI sino también como un impulsor para el fomento de las economías regionales y el acceso a la energía de calidad para miles de personas. Precisamente existen y en especial en Patagonia, vastísimas áreas donde la generación eléctrica sigue estando provista por equipos térmicos debido a la falta de conexión al sistema nacional o a los regionales que lo componen. A su vez y casi sobre el mismo espacio geográfico, el recurso eólico es óptimo pero la presencia de infraestructura de transporte y distribución energética, nulo. Allí es de esperar un impulso serio por parte de los estados provinciales, el cual hasta ahora no se ha visto, apuntando a la planificación estratégica del sector energético en pos del desarrollo territorial con impacto sobre la población de esas áreas y fundamentalmente hacia una transición energética que vaya más allá de la mera explotación de las fuentes renovables como hasta aquí se hace y se ha hecho con las fuentes convencionales, sino que ponga en

el centro de la escena el bienestar y el desarrollo humano.

Estamos ante un panorama alentador en muchos aspectos. Se requiere de la acertada toma de decisiones, con articulación por parte de los gobiernos nacional y provinciales en lo que a políticas de energías renovables se refiere, la construcción de la infraestructura eléctrica que permanentemente se requiere, el establecimiento de planes estratégicos de desarrollo territorial que incluyan e integren a la actividad eólica y todas sus posibilidades de compatibilidad en lo que a usos del suelo se refiere y de la difusión, enseñanza y aprendizaje en todas las escalas posibles para seguir logrando que estos temas sean también un tema de interés público.

■ BIBLIOGRAFÍA

Bertinat, Pablo (2016). “Transición energética justa. Pensando la democratización energética”. Fundación Friedrich Ebert (fes).

Bolcich, Juan Carlos (2018). “Hidrógeno y energías renovables”. Rev Ciencia e Investigación Tomo 68 N° 2.

CAMMESA (2022). Energías Renovables, Ley 26.190. <https://cammesaweb.cammesa.com/historico-energias-mensuales/#> y <https://cammesaweb.cammesa.com/erenovables/>

Chemes, Jorge y Bertinat, Pablo (2018). “Políticas públicas en el sector de energías renovables (2003-2018)”. Ejes Enlace por la justicia energética y socioambiental.

CONICET (2020). “El Gobierno busca impulsar el hidrógeno “verde” como nuevo combustible en la Argentina”, CONI-

CET, 27 de noviembre de 2020. <https://ithes-uba.conicet.gov.ar/el-gobierno-busca-impulsar-el-hidrogeno-verde-como-nuevo-combustible-en-la-argentina-%EF%BB%BF-a-traves-de-una-de-las-filiales-de-ypf-se-creo-un-consorcio-de-empresas-para-convertir/>

Energía Estratégica (2017). “¿Cómo fueron las políticas nacionales en energías renovables de los últimos 40 años?”, Energía Estratégica, 29 de noviembre de 2017. <https://www.energiaestrategica.com/fueron-las-politicas-nacionales-energias-renovables-los-ultimos-40-anos/>

Energía Estratégica (2021). “Hay potencial y gran oportunidad de negocios: el rol del hidrógeno verde en Argentina y la región”, Energía Estratégica, 1 de febrero de 2021. <https://www.energiaestrategica.com/hay-potencial-y-gran-oportunidad-de-negocios-el-rol-del-hidrogeno-verde-en-argentina-y-la-region/> Energías Renovables en la Argentina (2020). <http://ren-argentina.com/index.html>

Gayo, Ricardo (2009). “Sistema interconectado nacional (SIN) en 500 kV”. Petrotecnia.

Global Wind Energy Council (2021). “Global Wind Report 2021”

Ley Nacional N° 26190 (2006). “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”.

Ley Nacional N° 27191 (2015). “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación”.

-
- Mattio et al. (2011). "Generación eléctrica mediante energía eólica". Ed Milor Talleres Gráficos. Salta, Argentina.
- Presidencia de la Nación. Ministerio de Desarrollo Productivo. Secretaría de Energía (2020). "Plan Quinquenal Federal III de Redes Eléctricas".

ESTADO ACTUAL DEL DESARROLLO DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DISTRIBUIDA EN ARGENTINA

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, Generación Distribuida, Legislación, Regulación.
Key words: Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Legislation, Regulation.

En los últimos años las energías renovables han tenido un progresivo protagonismo en la generación de electricidad en el mundo motivado, entre otras causas, por la creciente conciencia sobre la irreversibilidad del cambio climático producido por las emisiones de gases de efecto invernadero. La energía solar fotovoltaica, centralizada o distribuida, se destaca a nivel global por su rápido crecimiento, las múltiples aplicaciones gracias a su modularidad, y por haber alcanzado costos competitivos con las tecnologías convencionales de generación de energía eléctrica. Dada la gran extensión territorial de la Argentina y el consumo eléctrico concentrado en los centros urbanos, la utilización masiva de generación fotovoltaica distribuida contribuirá al uso eficiente de la energía y disminuir la utilización de combustibles fósiles. Se presenta en este artículo el estado de desarrollo de la generación fotovoltaica distribuida en el país, en lo referido a legislación, regulaciones, normativa técnica y potencia instalada, tanto a nivel del Estado Nacional como de los Estados Provinciales. Se analizan los casos de las provincias más importantes en dicho segmento de aplicación y la Ley 27.424/17, "Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica". El avance de la generación distribuida mediante fuentes renovables, especialmente solar fotovoltaica, es un paso importante en la transición energética de Argentina hacia una matriz más limpia, económica y segura.

In recent years, renewable energies have had a progressive role in the generation of electricity in the world motivated, among other causes, by the growing awareness of the irreversibility of climate change caused by greenhouse gas emissions. Photovoltaic solar energy, centralized or distributed, stands out globally for its rapid growth, its multiple applications due to its modularity, and for having reached competitive costs with conventional electricity. Given the large territorial extension of Argentina and the electricity consumption concentrated in urban centers, the massive use of photovoltaic distributed generation will contribute to the efficient use of energy and to reduce the use of fossil fuels. This article presents the development status of distributed photovoltaic generation in the country, in terms of legislation, regulations, technical standards and installed power, both at the level of the National State and the Provincial States. The cases of the most important provinces in the mentioned application segment and the Law 27424/17, "Promotion Regime of Distributed Generation of Renewable Energy Integrated to the Electric Network", are analyzed. The advancement of distributed generation through renewable sources, especially photovoltaic solar energy, is an important step in Argentina's energy transition towards a cleaner, cheaper and safer matrix.

■ INTRODUCCIÓN

La acuciante situación que atraviesa la humanidad debido al Cambio Climático generado por las emisio-

nes de gases de efecto invernadero (GEI) implica un enorme desafío en múltiples aspectos, entre ellos el económico, el geopolítico y el tecnológico.

Según un reciente informe de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022a), los diversos escenarios previstos indican que el pico en el consumo de combustibles fósiles, y

■ M. Videla¹, A. Krautner², I. Eyra^{1,3}, J.C. Durán^{1,4,*}, J. Plá^{1,5}

¹ Departamento Energía Solar- Gerencia Investigación y Aplicaciones – CAC-CNEA

² Gerencia Investigación y Aplicaciones – CAC-CNEA

³ CIHE-FADU-UBA

⁴ Escuela de Ciencia y Tecnología – UNSAM

⁵ Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (CNEA-CONICET), Nodo Constituyentes

E-mail: duran@tandar.cnea.gov.ar

por lo tanto también de las emisiones de GEI, hoy está a la vista, aún en el caso del escenario más conservador asociado a las políticas ya implementadas al día de hoy (*Stated Policies Scenario*). Esto es aún insuficiente para evitar impactos severos en el clima, y aumentaría la temperatura promedio del planeta en 2,5 °C hacia 2100. Considerando las medidas de mitigación *prometidas* al día de hoy (*Announced Pledges Scenario*), el aumento de temperatura se reduciría a 1,7 °C, aunque aún no se alinea con el objetivo de una estabilización en 1,5 °C de aumento en 2100, que daría una base de mayor seguridad a nivel global que representa el escenario de emisiones cero hacia 2050 (*Net Zero Emissions*) sumado a la existencia de un acceso universal a la energía hacia 2030 (IEA, 2022a).

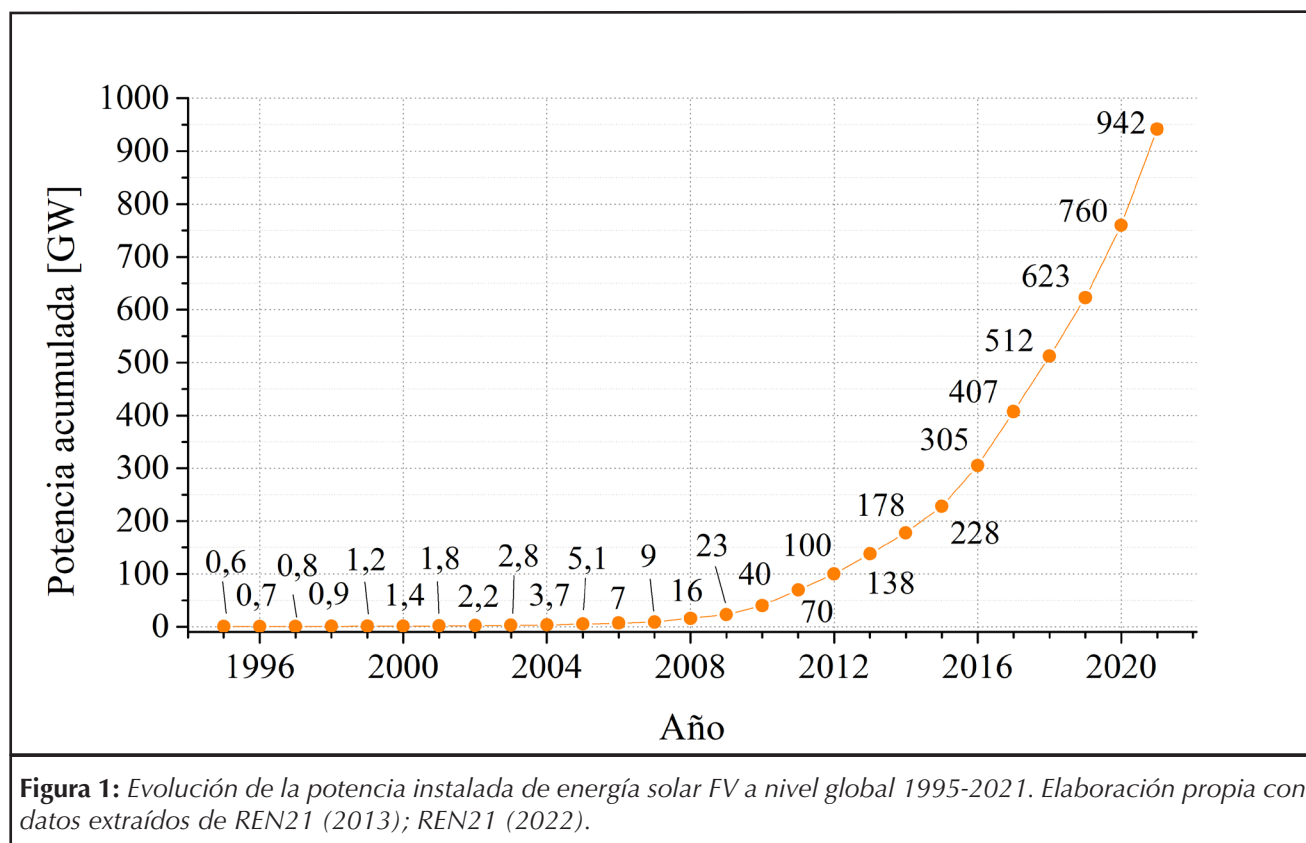
La demanda de electricidad se incrementa significativamente en

todos los escenarios mencionados. En este marco, la disponibilidad del recurso solar básicamente en cualquier lugar de la Tierra sumada a las características únicas de modularidad de la energía solar fotovoltaica (FV), permiten su aplicación en una diversidad de segmentos, desde modestos sistemas (autónomos o conectados a la red de distribución) de unos pocos cientos de watts de potencia hasta centrales de cientos de MW conectadas al sistema de transmisión de alta tensión. Así, no resulta sorprendente que la tecnología solar FV representa la principal fuente de energía eléctrica en todas las proyecciones y para todas las regiones del planeta, dando cuenta de más del 40 % del suministro a nivel global a 2050 aún en el escenario más conservador (IEA, 2022a).

La tecnología solar FV ha mostrado efectivamente un fuerte crecimiento histórico como se muestra

en la Figura 1, alcanzando una potencia instalada del orden del TW¹ a finales de 2021. Este comportamiento ha sido producto básicamente de la decisión política para su promoción por parte de los estados nacionales, de la inversión en investigación y desarrollo, y de la economía de escala, factores que produjeron una sistemática caída de los precios asociados, aunque algunos hechos históricos como la crisis del petróleo en los años 70' o el accidente nuclear de Chernobyl también tuvieron influencia (Green, 2019). En el año 2022, la capacidad fotovoltaica global instalada alcanzó los 268 GW, estableciendo un nuevo récord (Enkhardt, 2022), lo cual lleva el total acumulado para fines de 2022 a aproximadamente 1,2 TW.

El costo nivelado de la energía LCOE (*Levelized Cost Of Energy*), que permite comparar distintas fuentes de generación, para la energía solar



FV ha mostrado una consistente tendencia histórica a la disminución, y en años recientes ya resulta competitivo con respecto a las fuentes de generación convencionales. Más aún, a pesar de que las consecuencias económicas de la pandemia de la COVID-19 afectaron la cadena de valor FV con importantes aumentos en el silicio, la plata y el flete, por ejemplo, lo cual fue ulteriormente profundizado por la guerra en Europa, el LCOE promedio aumentó ligeramente, mientras que en el caso las fuentes convencionales dicho aumento fue bastante pronunciado (Bloomberg NEF, 2022).

Argentina, a partir de las leyes nacionales aprobadas desde 2006 para la promoción de las energías renovables, los programas articulados en ese marco y distintas iniciativas a nivel provincial, ha iniciado la adopción de estas tecnologías. La generación eléctrica a partir de fuentes renovables, excluyendo la generación hidroeléctrica convencional de potencia², llegó a representar el 13,9 % de la oferta en 2022 sobre un total de 138743 GWh (CAMMESA, 2022b), mostrando una clara evolución en los últimos años tal como se muestra en la Figura 2 (CAMMESA, 2022a).

Solar FV cuenta con un total de 1086 MW de potencia instalada a fin de 2022 (CAMMESA, 2022b), habiendo generado en el año un 15 % de la generación total con renovables (CAMMESA, 2022b). Cabe aclarar que el porcentaje de generación mencionado corresponde a la generación FV centralizada, es decir a través de centrales de potencia que participan en el sistema interconectado regulado por CAMMESA. Estas cifras, por lo tanto, están subestimando tanto la potencia instalada como la energía generada a través de la energía solar FV.

En este marco, en las siguientes secciones se define qué se entiende por generación distribuida considerando particularmente la tecnología solar FV, se tratan los casos de las provincias más importantes en este segmento de aplicación en cuanto a su desarrollo, y se resumen los antecedentes legislativos, así como los modelos tarifarios vigentes.

■ GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Los sistemas FV conectados a red pueden dividirse en dos segmentos de aplicación, centrales de potencia y sistemas de generación distribuida (GD) ubicados típicamente en áreas urbanas. Entre estos últimos se destacan los sistemas integrados a edificios (*Building-Integrated Photovoltaics*, BIPV), que tienen la posibilidad de disminuir costos mediante el reemplazo de partes funcionales del edificio por módulos fotovoltaicos.

Se denomina generación eléctrica distribuida a la generación de

electricidad cerca del punto de consumo, conectada a la red de distribución de media o baja tensión y ubicada del lado del consumidor (o sea, conectada a la red interna), o conectada directamente a la red pública de distribución (Ackerman et al., 2001). La generación fotovoltaica distribuida puede tener potencias dentro de un amplio rango, típicamente entre 1 kW y varios MW (dependiendo de la regulación), y posee numerosos beneficios entre los que cabe mencionar: (i) baja los requerimientos de transporte, (ii) disminuye pérdidas por transporte y distribución, (iii) contribuye a regular la tensión (por ejemplo, en extremos de línea), (iv) reduce el quemado de combustibles fósiles, (v) genera empleo local, y (vi) involucra al usuario con los temas energéticos (Borenstein, 2020). Por otra parte, los sistemas fotovoltaicos son los de mayor aplicación en áreas urbanas y más específicamente en la construcción, debido a su modularidad, su eficiencia no dependiente de la escala y la facilidad de integración

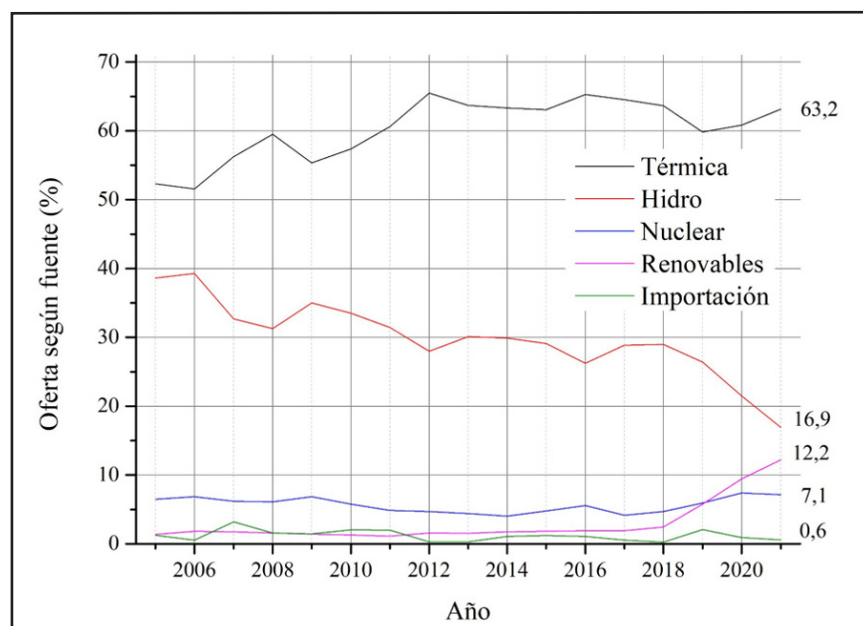


Figura 2: Evolución de la contribución de cada fuente de generación eléctrica a la oferta de energía en 2005-2021. Elaboración propia con datos extraídos de CAMMESA (2022a).

arquitectónica, ya sea en reemplazo de elementos de construcción o ubicando los módulos fotovoltaicos sobre cubiertas o fachadas existentes.

La tecnología solar FV entrega energía a la red eléctrica a través de un sistema FV, formado básicamente por módulos FV, un convertidor de corriente continua en corriente alterna denominado usualmente inversor, y elementos de seguridad eléctrica, conexión y corte. Los sistemas FV de conexión a red convencionales inyectan energía eléctrica a la red sólo en presencia de radiación solar, no cuentan con almacenamiento y se desconectan automáticamente de la red ante el corte del suministro eléctrico. Un sistema FV conectado a la red eléctrica puede incluir también acumulación, dando lugar a distintas configuraciones que permiten aumentar el autoconsumo de la energía generada y alimentar las cargas en caso de corte del suministro eléctrico de red. La energía solar es un recurso energético renovable abundante en la mayoría de las ciudades, a diferencia de otras fuentes renovables (por ejemplo, eólica e hidráulica) que solo se encuentran en enclaves geográficos determinados. En particular, las grandes ciudades están habitualmente emplazadas en zonas de escaso viento. Entre otras ventajas, la tecnología fotovoltaica requiere escaso mantenimiento, carece de partes móviles y no genera ruidos ni parpadeos lumínicos, generalmente asociados a la energía eólica de gran potencia.

La evolución de la potencia instalada de solar FV según el segmento de aplicación (ver Figura 3) muestra que en sus inicios la generación distribuida, promovida por políticas específicas de los estados nacionales, predominaba ampliamente. Luego, en la medida que los costos asociados fueron disminuyendo, la ecuación económica empezó

a favorecer el aumento de la escala representado por la instalación de grandes centrales FV a través de contratos de venta de energía (PPA, *Power Purchase Agreement*). En los últimos años se observa un cambio en la tendencia a medida que la tecnología se volvió más competitiva y se multiplicaron sus aplicaciones, llegando la generación distribuida a 2021 con aproximadamente el 45 % del total de la potencia anual instalada.

Los sistemas FV autónomos, es decir no conectados a la red eléctrica (*off-grid*), constituyeron la primera aplicación de la energía solar FV luego de su uso inaugural en satélites artificiales a partir del Vanguard I en 1958. Aunque de indudable importancia desde el punto de vista social y del desarrollo económico de regiones alejadas de las redes de distribución eléctrica, los sistemas autónomos constituyen una porción marginal en lo referido a potencia instalada respecto de los sistemas *on-grid*.

La existencia de múltiples fuentes de generación vinculadas a la red de distribución da lugar a un cambio sustancial en los flujos de potencia en la red eléctrica, requiriendo en consecuencia la definición de un modelo tarifario que valúe la energía inyectada y la consumida de la red pública. Se resumen a continuación los diferentes esquemas más difundidos en el mundo.

Los países que han sido pioneros en el desarrollo del mercado de la generación distribuida adoptaron en su momento un modelo tarifario basado en el pago de una tarifa diferencial (*Feed-In-Tariff*, FIT) para la energía eléctrica de origen renovable. Este modelo dio lugar a un crecimiento exponencial del mercado FV en particular, aunque en algunos casos trajo aparejados problemas derivados de un crecimiento explosivo y no sostenible que resultó perjudicial para las industrias y las empresas de servicios nacionales.

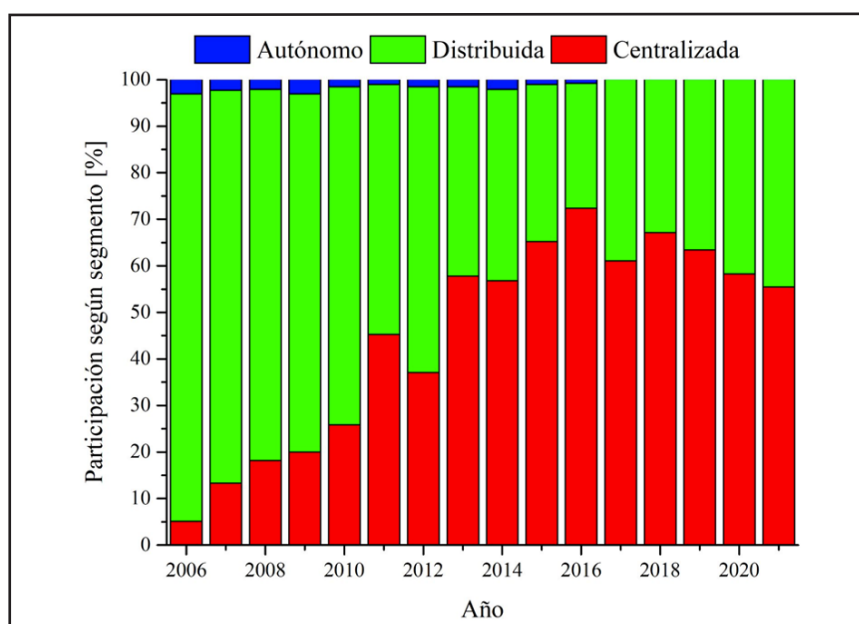


Figura 3: Participación de cada segmento de aplicación en el mercado fotovoltaico en el período 2006-2021. Elaboración propia con datos extraídos de: REN21 (2017) para el período 2006-2016, e IEA (2022b) para el período 2017-2021, sin datos para sistemas *off-grid*

Otro modelo utilizado es el de conteo neto de energía eléctrica (*Net Metering*, NM), consistente en medir la energía neta consumida de la red eléctrica, definida como la diferencia entre la energía consumida y la energía generada por el sistema.

Existe un tercer modelo, denominado de facturación neta (*Net Billing*, NB), en el cual el generador distribuido recibe por la energía inyectada a la red la tarifa que la compañía distribuidora paga por la energía al mercado eléctrico mayorista. Este modelo es el más desfavorable para el usuario-generador dado que vende la energía generada a precio mayorista y compra la consumida a precio minorista.

Los modelos de medición neta y de facturación neta no contemplan ni retribuyen las externalidades positivas de la generación distribuida con fuentes renovables: disminución de pérdidas en el sistema eléctrico al acercar la generación al consumo, reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por reemplazo del quemado de combustibles fósiles y generación de empleo local, entre otras. Asimismo, no resultan apropiados para promover la instalación de sistemas de generación distribuida en mercados eléctricos donde las tarifas de la energía eléctrica convencional se encuentran subsidiadas, como es el caso de la Argentina.

■ SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Según un reporte de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022c), el almacenamiento a gran escala juega un papel relevante en el escenario de emisiones netas cero para el año 2050, proporcionando importantes servicios que contribuyen a: facilitar la inserción de energías renovables, reducir picos de demanda trasladando consumos a horas de

menor demanda, disminuir pérdidas de transporte, moderar la necesidad de inversión en infraestructura o ampliación de redes, y reducir los requerimientos de sistemas de reserva (*back-up*) basados en combustibles fósiles. Si bien el almacenamiento de energía eléctrica puede estar conectado en las áreas de transporte o en las de distribución, el almacenamiento ubicado cerca del consumo es el que más servicios puede ofrecer al sistema eléctrico en general (Fitzgerald et al., 2015). La evaluación del uso de sistemas de almacenamiento debe tener en cuenta también otros factores como ser pérdidas de energía en los procesos de acumulación y despacho, costos de operación y mantenimiento, y posibilidades de reciclado al final de su vida útil.

El almacenamiento en plantas hidroeléctricas de bombeo sigue siendo la tecnología de almacenamiento a escala de red más implementada en la actualidad, representando en el año 2020, con 8500 GWh, más del 90 % del almacenamiento total de electricidad a nivel mundial (IEA, 2022c). Aunque actualmente el almacenamiento en baterías es mucho más pequeño que el hidroeléctrico, se prevé que las baterías representen la mayor parte del crecimiento del almacenamiento en todo el mundo durante los próximos años.

Así como para la comparación de tecnologías de generación de energía se aplica el concepto de costo nivelado de la energía (LCOE), para tecnologías de almacenamiento se utiliza el costo nivelado de almacenamiento (LCOS, *Levelized Cost Of Storage*), el cual tiene en cuenta factores como cantidad de ciclos de vida útil en condiciones normalizadas, profundidad de descarga por ciclo, costo de mantenimiento, eficiencia en ciclos de carga y descarga, y pérdida de eficiencia a lo largo de su vida útil, entre otros.

Para ambos indicadores, la consultora Lazard (Lazard, 2021) publica periódicamente sus estimaciones para algunas tecnologías.

Existen en el mercado varias tecnologías aptas para el almacenamiento distribuido, tales como las baterías de plomo-ácido o de níquel-cadmio, o las más modernas baterías de flujo y los supercondensadores, algunas de las cuales tienen un menor costo nivelado de almacenamiento que las baterías de Li-ion. Sin embargo, la tecnología que acapara ampliamente el mercado en el sistema eléctrico es la de Li-ion, con un 98 % (Fortune Business Insights, 2022), debido principalmente al mercado de baterías para la industria automotriz que es 10 veces mayor que el asociado a sistemas de generación distribuida. Ambos mercados han contribuido, en mayor o menor medida, a reducir el precio del *pack* de baterías de Li-ion (celdas más sistema de gestión y control BMS, *Battery Management System*) a la quinta parte en tan solo 8 años (Colthorpe, 2021).

El uso de sistemas de almacenamiento (ESS, *Energy Storage System*) en instalaciones de usuarios del sistema eléctrico con sistemas fotovoltaicos conectados a la red interna permite aumentar el autoconsumo de la energía generada, minimizando la inyección de excedentes a la red pública. Esto es particularmente importante para usuarios residenciales donde, típicamente, menos del 50 % de la energía generada se consume en la vivienda debido al desfase entre la generación y el consumo (ver, por ejemplo, Godfrin et al, 2022).

Un sistema de almacenamiento de energía está compuesto básicamente por un inversor/cargador bidireccional, que convierte corriente continua en alterna o viceversa, un dispositivo para gestión de la ener-

gía, y un banco de baterías recargables (Victron, 2022). Puede funcionar conectado a la red eléctrica pública o en forma aislada, actuando como generador de corriente alterna. Existen en el mercado sistemas de almacenamiento en baja tensión, típicamente 48 V, y en alta tensión (ver por ejemplo: SMA, 2017).

El ESS puede combinarse con generadores FV en diferentes configuraciones:

- Módulos FV conectados al inversor bidireccional del lado de

corriente continua, a través de un regulador de tensión o un seguidor del punto de máxima potencia (acoplamiento en corriente continua).

- Sistema FV con inversor de conexión a red conectado en paralelo con el inversor bidireccional.
- Sistema FV con inversor de conexión a red conectado a la salida del inversor bidireccional (acoplamiento en corriente alterna).

La configuración con acoplamiento en corriente continua es la más eficiente para almacenar energía en el banco de baterías para su utilización en otros momentos del día, dado que solo requiere la conversión de continua a alterna en el momento de uso de la energía. En cambio, el acoplamiento en alterna de un inversor de conexión a red, cuando se utiliza para almacenar energía excedente en las baterías, requiere una triple conversión: de continua a alterna en el inversor de conexión a red, de alterna a continua en el inversor bidireccional para

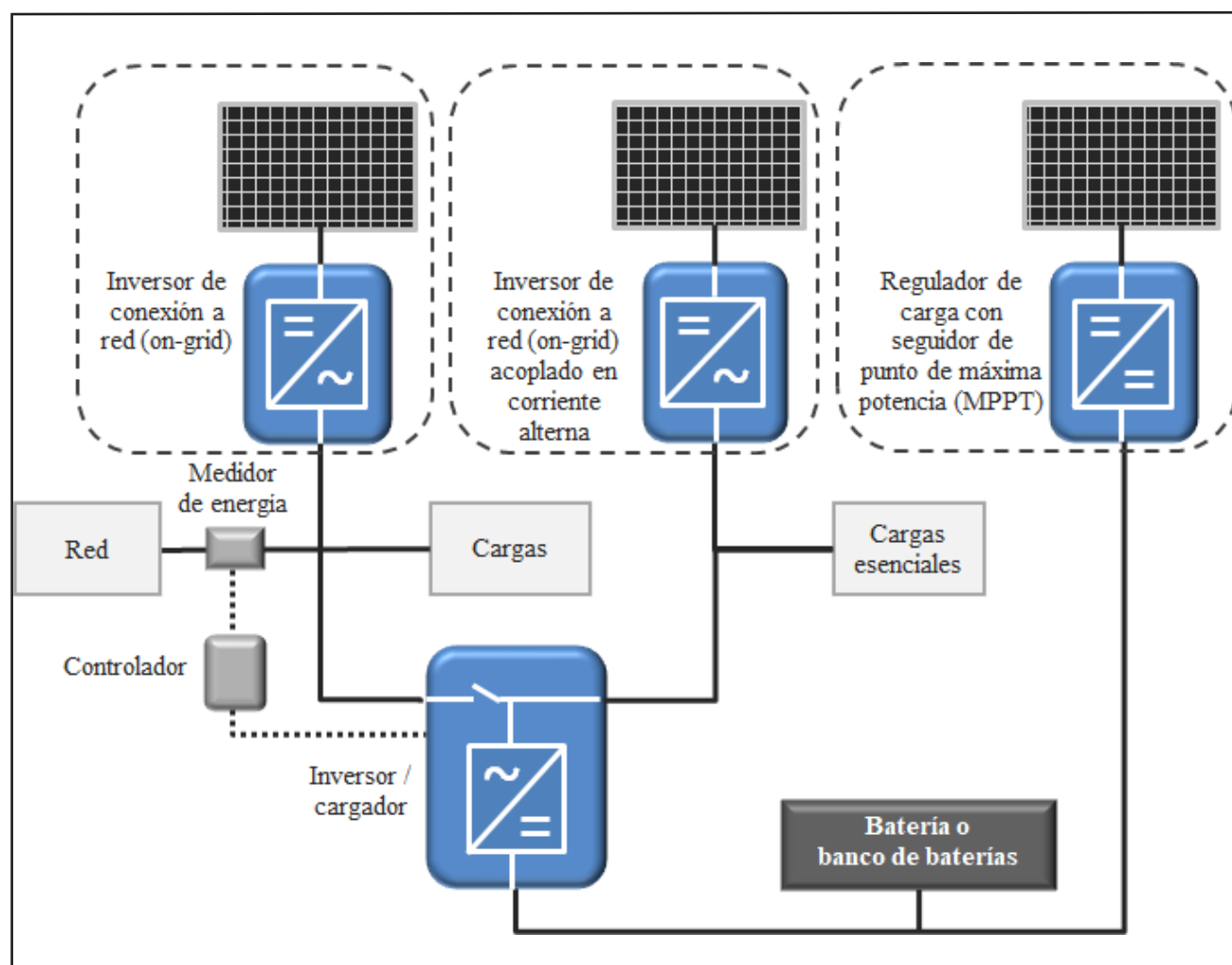


Figura 4: Sistema de almacenamiento de energía en tres configuraciones diferentes, delimitadas por líneas de trazos: (i) regulador de carga con MPPT acoplado en corriente continua; (ii) inversor de conexión a red acoplado en corriente alterna; (iii) inversor de conexión a red conectado directamente a la red. Elaboración propia sobre una figura extraída de Victron (2022).

la carga de las baterías, y finalmente de continua a alterna al momento de uso.

Una de las mayores ventajas del almacenamiento conectado en corriente alterna es que convierte cualquier instalación eléctrica, con o sin generación fotovoltaica, en un sistema preparado para usar con baterías (SMA, 2017), que puede a su vez trabajar en forma aislada en caso de ausencia del suministro de energía eléctrica de la red pública. La Figura 4 muestra un sistema de almacenamiento de energía basado esencialmente en un inversor / cargador (o inversor bidireccional), con su correspondiente controlador, y generación FV integrada en tres configuraciones diferentes (Victron, 2022): (i) acoplada en corriente continua a la batería a través de un regulador con seguidor del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés); (ii) un inversor FV de conexión a red acoplado en corriente alterna y conectado a la salida del inversor / cargador; (iii) un inversor FV de conexión a red conectado directamente a la red. La configuración con acoplamiento del sistema FV al ESS en corriente alterna (configuración (ii)) permite que el inversor de conexión a red continúe inyectando energía aún en ausencia de la red eléctrica, gracias a la micro-red aislada generada por el inversor / cargador en caso de falla del servicio eléctrico. Por el contrario, el inversor *on-grid* conectado directamente a la red, no inyecta energía en ausencia de suministro eléctrico de la distribuidora.

■ GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA ARGENTINA

Argentina tiene alrededor del 92 % de población urbana (DNP, 2022), muy superior a la media mundial (54 %) y por encima de la media regional (83 %). Como consecuencia de ello, la mayor parte de su con-

sumo eléctrico está concentrado en áreas urbanas (el Gran Buenos Aires, por ejemplo, consumió en 2021 el 38 % de la demanda eléctrica del país) (CAMMESA, 2022a).

Dadas estas características y la disponibilidad de recurso solar apropiado, la utilización masiva de generación FV distribuida ubicada en áreas urbanas y periurbanas contribuirá en forma significativa a la transición hacia una matriz eléctrica más limpia y sostenible. A tal fin, resulta fundamental implementar un marco regulatorio técnico, comercial, económico, fiscal y administrativo eficiente para optimizar el proceso de adopción tecnológica.

La provincia de Buenos Aires fue la primera en impulsar la generación distribuida mediante fuentes renovables a través del Programa Provincial de Incentivos a la Generación Distribuida (PROINGED, 2023), a través de la Resolución N° 827 del año 2009. El objetivo de este Programa es promover la instalación de pequeñas plantas de generación conectadas a la red eléctrica pública para mejorar el servicio eléctrico, aunque no contempla la figura de usuario-generador o prosumidor.

Hasta el año 2013 no se disponía en el país de un marco legal que permitiera a los clientes de las empresas distribuidoras instalar sistemas FV distribuidos conectados a la red pública en las áreas de distribución. Por tal motivo, y con el objetivo principal de promover en el país la generación FV distribuida conectada a la red eléctrica, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), asociadas con cinco empresas privadas, llevaron adelante entre los años 2012 y 2016 el proyecto IRESUD, "Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos" (Eyras y Durán, 2014). Este

proyecto, parcialmente financiado con Fondos de Innovación Tecnológica Sectorial (FITS Energía Solar N° 0008-2010) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, impulsó el desarrollo de la regulación y contribuyó a difundir la tecnología en diversas provincias del país.

Santa Fe fue la primera provincia argentina en habilitar la generación eléctrica distribuida en baja tensión para usuarios particulares en el año 2013. Luego se sumaron las provincias de Salta, en 2014, y Mendoza, en 2015. A nivel nacional, en 2017 se promulgó la Ley 27.424 "Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica".

En lo referente a cuestiones técnicas, la Asociación Electrotécnica Argentina (AEA) emitió en el año 2015 la Reglamentación AEA 90364-7-712 - Edición 2015 (AEA, 2015), "Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos", como una sección especial dentro de la Reglamentación AEA 90364 para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles. Dicha reglamentación se aplica a los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica conectados a la red eléctrica de corriente alterna y no contempla sistemas con acumulación de energía. Por su parte, el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) desarrolló la Norma IRAM 210013 - Parte 21 "Inversores para conexión a la red de distribución - Requisitos generales" (IRAM, 2016), que fija las condiciones que deben cumplir los inversores fotovoltaicos de conexión a red. Ambos organismos, AEA e IRAM, se encuentran trabajando en una nueva edición de la reglamentación y la norma mencionadas, de manera de ampliar su alcance a generadores fotovoltaicos no contemplados previamente, en particular

sistemas con almacenamiento (baterías).

En las próximas secciones se presenta el estado de desarrollo de la generación distribuida en las principales jurisdicciones incluyendo, además de las mencionadas previamente, la Provincia de Córdoba, que aún habiendo establecido la regulación recién en el año 2019 es la que posee la mayor potencia instalada, y San Juan, dada su relevancia en la generación FV en el país y, en particular, su política de desarrollo industrial de la cadena de valor de la tecnología FV.

■ LEY 27.424: RÉGIMEN DE FOMENTO A LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La Ley 27.424 “Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica” fue sancionada por el Congreso de la Nación el 29/11/2017, promulgada mediante el Decreto 1075/2017 y reglamentada por el Decreto Reglamentario 986/2018. La Reglamentación de la Ley se complementa con la Resolución de la Secretaría de Energía 314/2018, que define el procedimiento para la conexión del Usuario-Generador y cuestiones técnico-económicas tales como el método de medición y el esquema de facturación.

La Ley 27.424 se aplica exclusivamente a los usuarios de la red de distribución, a quienes otorga el libre acceso al servicio de transporte y distribución de electricidad. Se trata esencialmente de una ley de autoconsumo con eventual inyección de energía excedente. Fija un modelo de Facturación Neta con un único medidor bidireccional, en el cual la tarifa de inyección está determinada por el precio mayorista que paga la compañía distribuidora al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Cabe

mencionar en este contexto que, al usar un único medidor, se complicaría el seguimiento de la demanda del usuario, dificultando la evaluación/aplicación/seguimiento de las medidas eficiencia que pudieran aplicarse a los consumos.

Se crea un fondo fiduciario público (FODIS) con fondos del presupuesto nacional y otras fuentes de financiación, con el fin de financiar beneficios promocionales previstos en la Ley y su reglamentación. Los beneficios promocionales están disponibles para usuarios-generadores de jurisdicciones que adhieran íntegramente al régimen de la ley, e incluyen bonificación sobre el costo de capital, precio adicional de incentivo a la energía y certificados de crédito fiscal. Asimismo, la ley crea un régimen de fomento de la industria nacional.

La entonces Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética instrumentó, mediante la Disposición N° 48/19, la emisión de los certificados de crédito fiscal y la AFIP reglamentó su utilización a tra-

vés de la Resolución General 4.511. La última actualización de dichos certificados se produjo en julio de 2022, cuando la Subsecretaría de Energía Eléctrica de la Nación elevó el monto por unidad de potencia instalada de \$ 45 a \$ 65 por Watt instalado (equivalente a 0,47 USD/W, a julio de 2022), con un tope máximo a otorgar de \$ 4.500.000 (Medinilla, 2022), equivalente a 32.500 USD en esa fecha.

Hasta fin de 2022, el certificado de crédito fiscal era el único beneficio promocional instrumentado y que solo tiene aplicación para empresas, pero no para usuarios residenciales. Se está avanzando también en la implementación de créditos a tasa subsidiada. A fin de 2022 el régimen nacional de Generación Distribuida (Ley 27.424) contaba con catorce provincias adheridas: Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Chubut, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Córdoba, Corrientes, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Río Negro, San Juan y Tierra del Fuego. A dicha fecha el programa alcanzó los 1.072 usua-

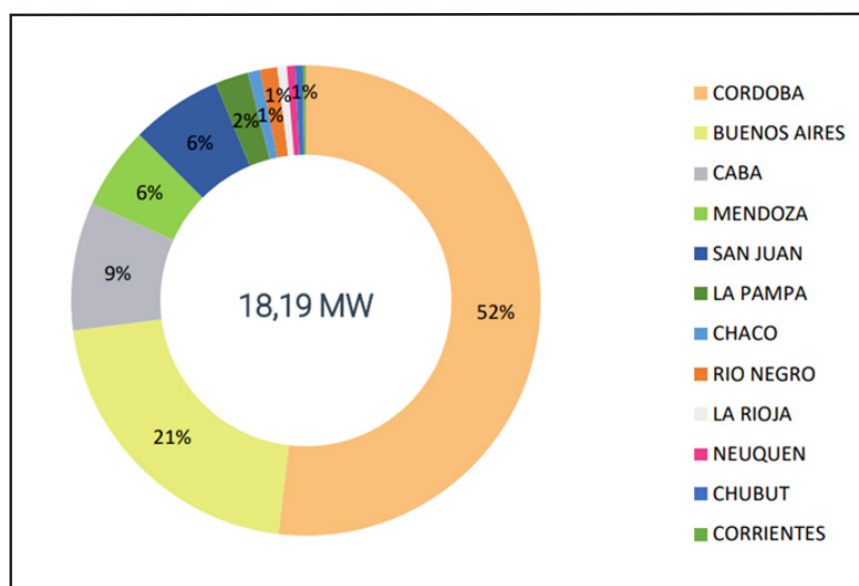


Figura 5: Potencia instalada en Argentina en el marco de la Ley 27.424 a diciembre de 2022, y porcentajes de participación de las distintas provincias (SE, 2022).

rios-generadores con una potencia total instalada levemente superior a 18 MW, estando más de la mitad de la misma ubicada en la Provincia de Córdoba (ver Figura 5; SE, 2022).

■ PROVINCIA DE SANTA FE

En el año 2005, la Provincia de Santa Fe promulgó la Ley 12.503 que declaró de interés la generación y el uso de energías a partir de fuentes renovables. Luego, en el año 2006, la Legislatura de la Provincia sancionó la Ley 12.692 creando un fondo para la promoción y la financiación de proyectos de producción de energías renovables. A partir de esta ley, la Empresa Provincial de Energía (EPE) aprobó el procedimiento para la solicitud de conexión de equipos de generación en paralelo y en isla para clientes residenciales y pequeños comercios e industrias (EPE, 2013), habilitando de esta manera la generación distribuida para usuarios del sistema de distribución.

En el año 2016, la provincia creó el programa Prosumidores Santa Fe (Santa Fe, 2016) para fomentar la instalación de sistemas de generación distribuida mediante el pago de una tarifa diferenciada por la energía generada mediante fuentes renovables, facilitando el repago de la inversión. Los fondos para financiar el programa provenían de un cargo en la tarifa de los usuarios del sistema eléctrico (excluyendo tarifas sociales), destinado a la promoción y financiación de proyectos de producción de energías renovables. La tarifa diferenciada se aplicaba durante 8 años y estaba integrada por dos aportes: el precio de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y la diferencia entre la tarifa promocional y dicho precio mayorista. El programa estuvo activo hasta el año 2020. Según los registros de datos abiertos de Santa Fe (EPE,

2020), la potencia total instalada entre 2015 y 2019 ascendió a 331 kW.

Luego de la finalización del programa Prosumidores, en el año 2020 se creó el programa Energía Renovable para el Ambiente (ERA) con el objetivo de incentivar el uso de energías renovables para generación de energía eléctrica distribuida, impulsar el desarrollo de redes inteligentes y promover el uso eficiente de la energía. Al mismo tiempo, la empresa provincial EPE inició el programa EPE Digital, con el objeto de incorporar la tecnología de telemedición de energía necesaria para la conformación de redes inteligentes.

El programa ERA estableció un esquema de balance neto de facturación equivalente al fijado por la Ley 27.424, en el cual el usuario-generador paga por la energía neta consumida de la red (equivalente al consumo total menos energía generada y autoconsumida) a la tarifa minorista. El excedente de energía generada y no autoconsumida es inyectado a la red y retribuido por la distribuidora al precio mayorista. La pérdida de ingresos de la distribuidora como consecuencia de la energía generada por el usuario-generador y destinada a autoconsumo es compensada con recursos del fondo para la promoción de las energías renovables, creado a partir de un cargo fijo a todos los usuarios de la red (Ley Provincial 12.692). El programa ERA habilita la incorporación de almacenamiento a los sistemas de generación distribuida, permitiendo en consecuencia aumentar el autoconsumo a través de la gestión de la energía. Por su parte, las instituciones sociales pueden acceder a un incentivo económico por la energía inyectada, equivalente al existente previamente en el programa Prosumidores. Este incentivo rige durante 4 años y está compuesto por el valor de la energía inyectada

al precio mayorista y un aporte del Gobierno de la Provincia (Santa Fe, 2020).

En noviembre de 2021, la Resolución 316/2021 del Ministerio de Ambiente y Cambio Climático amplió el programa ERA incorporando la Generación Distribuida Colaborativa con la figura de "Usuarios-Generadores Colaborativos Asociados", que permite a varios usuarios de una misma distribuidora asociarse para adquirir, administrar y mantener una única planta de generación distribuida. El texto de la resolución afirma que "la energía colaborativa permite visualizar la generación de energía bajo la perspectiva de la economía de acceso con una fuerte impronta asociativa". La introducción de la figura de asociatividad entre diferentes usuarios pretende contribuir a que una de cada tres personas en la provincia produzca su propia electricidad renovable para el año 2050.

En instalaciones de Generación Distribuida Colaborativa se aplica un esquema de facturación de balance neto virtual, equivalente al utilizado para usuarios-generadores individuales. A cada usuario se le asigna una cuota-parte de la generación eléctrica inyectada por la instalación. Utilizando el sistema de telemedición se obtienen los datos que permiten calcular el consumo de red, la energía generada y destinada al autoconsumo, y la energía inyectada a la red para cada usuario. La energía eléctrica generada y asignada a cada usuario destinada a autoconsumo se computa al costo evitado, es decir, a la tarifa del servicio eléctrico correspondiente a la cantidad de energía que dejó de tomarse de la red. La energía que se inyecta a la red es reconocida por la distribuidora al valor de la tarifa mayorista más los incentivos monetarios establecidos para instituciones sociales, en caso de corresponder. Al igual que en el caso de instalaciones

individuales, la pérdida de ingresos de la distribuidora es compensada con recursos del fondo creado por la Ley 12.692. Para regular la incorporación de energía distribuida colaborativa, existe un límite máximo de generación colaborativa que se establece en función de la suma del consumo anual de cada uno de los usuarios asociados.

■ PROVINCIA DE SALTA

Salta ha promovido históricamente el uso de energías renovables, en buena medida gracias al trabajo de investigación, desarrollo y difusión del INENCO (UNSa-CONICET). En el marco del “Plan de Energías Renovables” (Ley 7.823), en el año 2014 fue sancionada la Ley 7.824 de Balance Neto de energía y regla-

mentada por el Ente Regulador de los Servicios Públicos mediante la Resolución ENRESP 1.315/14, que estableció las condiciones administrativas, técnicas y económicas para que los usuarios pudieran convertirse en microgeneradores de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. En particular, fijó una potencia máxima de 30 kW para sistemas de generación distribuida de usuarios residenciales y de 100 kW para usuarios industriales o productivos, hasta completar un cupo de 1 MW.

Con el fin de promover el desarrollo de la generación distribuida en la provincia, el modelo tarifario adoptado estableció el pago de una tarifa diferencial (FIT) por el total de la energía generada mediante fuentes renovables durante los primeros

dos años de funcionamiento del sistema, lo cual permite reducir el tiempo de repago de la inversión. En ese período, toda la energía consumida por el usuario es abastecida desde la red pública y facturada a la tarifa minorista vigente, mientras que toda la energía generada es inyectada a la red y vendida a la distribuidora a la tarifa diferencial mencionada. A partir del tercer año, el modelo tarifario pasa a ser un modelo de balance neto de energía, facturándose en consecuencia la diferencia entre la energía consumida y la generada.

Otro incentivo fue el otorgamiento de Certificados de Crédito Fiscal por un monto de hasta el 70 % de las inversiones en equipamiento efectivamente realizadas (Ley 7.823, Art. 14). Estos créditos pueden utili-



Figura 6: Instalaciones FV en el campus de la UCASAL - Salta. Se destacan sobre la derecha los refugios para estacionamiento con módulos fotovoltaicos integrados a la arquitectura (BIPV), en el cual se reemplazan las cubiertas metálicas habituales.

zarse para el pago de los impuestos a las actividades económicas, de sellos e inmobiliario rural.

Las excesivas regulaciones técnicas y administrativas establecidas inicialmente dificultaron el comienzo del desarrollo de la GD. Recién en junio de 2016 Salta tuvo su primer sistema conectado a la red provincial. Con el fin de agilizar e incrementar la conexión de sistemas de GD a la red, en mayo de 2017 se modificó la reglamentación a través de la Resolución ENRESP 448/17. Entre otros aspectos técnicos y administrativos, se habilitó la conexión de sistemas de GD a la red de media tensión, se incorporó la nueva normativa pertinente de la AEA, y se incrementó el cupo de conexiones hasta un total de 4 MW en toda la provincia. Corresponden a esta etapa las instalaciones de integración arquitectónica realizadas en la UCASAL (Universidad Católica de Salta). Con un total de 194 kW, constituyen un ejemplo representativo de esta modalidad de instalaciones (ver Figura 6).

A fines del año 2021 Salta contaba con más de 800 kW en instalaciones de sistemas FV conectados a la red de distribución de diferentes localidades de la provincia y disponía de todos los registros de generación y consumo de manera independiente (Salta, 2021). De acuerdo con datos suministrados por la Secretaría de Energía de la Provincia de Salta (Galluci y Giubergia, 2022), la suma de potencias de proyectos existentes vinculados a la ley de Balance Neto - entre ejecutados (ya conectados), en ejecución y proyectados - superó en 2022 los 1,45 MW, lo que representa un 35 % del cupo de 4 MW planteado.

Asimismo, a fin de facilitar la generación de proyectos de energía solar, la provincia ha desarrollado y puesto a disposición pública un sis-

tema de información Web de consulta de datos de radiación solar y temperatura que permite realizar evaluaciones técnicas y económicas de sistemas solares fotovoltaicos y térmicos de calentamiento de agua (SISol, 2023).

■ PROVINCIA DE MENDOZA

La Provincia de Mendoza fue la tercera en habilitar la generación distribuida mediante fuentes renovables para usuarios de la red de distribución. En marzo de 2015 el Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE) reglamentó, mediante la Resolución EPRE 19/2015, las “Condiciones Técnicas de Operación, Mantenimiento, Medición y Facturación” para que un usuario de la red pudiera inyectar a la misma excedentes de energía eléctrica de origen renovable. Dicha resolución se basó en objetivos tales como uso eficiente y racional de la energía, y empleo de fuentes renovables, como parte de la política provincial de sustentabilidad del sistema eléctrico (Ley N° 6.497 de 1997), y aludiendo paralelamente al cumplimiento de uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del Acuerdo de París ratificado por Argentina, “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”. El esquema tarifario adoptado fue el de facturación neta (*net billing*).

En julio de 2018, mediante la Ley 9.084, Mendoza adhirió a la Ley Nacional 27.424, declaró de interés provincial los Recursos de Energía Distribuida (RED), que incluyen los recursos de generación distribuida, almacenamiento energético y gestión de la demanda, y fijó pautas para promover el desarrollo de redes inteligentes en el segmento de distribución. Asimismo, impulsó la elaboración de un Programa de Modernización del Sector Eléctrico, alineado con la descarbonización, digitalización y descentralización

del mismo, que sirva de base para el desarrollo de la regulación de los RED y las redes inteligentes.

Como complemento a la figura de Usuario/Generador, creó nuevos Agentes del Régimen de RED: Usuario/Generador Colectivo, Comercializador, Almacenador Energético y Generador Virtual, refiriéndose este último a un sistema integrado por varios recursos de energía distribuida que actúan como una única planta de generación. Creó asimismo el Mercado a Término Mendoza (MTM) a fin de que los Agentes del Régimen de RED puedan suscribir contratos de venta de energía, capacidad de almacenamiento, servicios auxiliares y otras modalidades (Ley 9.084, Art. 16). En este marco, el Gobierno Provincial aprobó, mediante el Decreto 404/2021, los lineamientos generales del programa de modernización, donde se destacó el cambio de paradigma hacia el usuario y sus derechos resultando, por ejemplo, en la posibilidad de que los Usuarios/Generadores puedan instalar equipamiento de generación en un punto distinto al de suministro.

Las condiciones técnicas, comerciales y legales del Régimen de RED fueron reglamentadas finalmente mediante Resolución EPRE 001/2022 en enero de 2022. La misma incorpora elementos innovadores tales como la posibilidad de que los Agentes del Régimen de RED puedan ceder o comercializar su energía generada, la incorporación de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI, *Advanced Metering Infrastructure*) para dotar al sistema de distribución de mayor flexibilidad y confiabilidad, y la integración de vehículos eléctricos a la red de distribución.

Según el informe de octubre de 2022 del Área de Energías Renovables e Innovación Tecnológica del EPRE (EPRE, 2022), entre marzo de

2015 y octubre de 2022 se registraron en la Provincia de Mendoza 470 Usuarios/Generadores, de los cuales 316 son residenciales, con una potencia total instalada de 1,668 MW, y 154 son comerciales e industriales, con 5,923 MW instalados (incluyendo los que se encontraban en trámite), totalizando cerca de 7,6 MW.

■ PROVINCIA DE CÓRDOBA

La Provincia de Córdoba adhirió a la Ley 27.424 en el año 2019 a través de la Ley Provincial 10.604, dando así comienzo al desarrollo de la generación distribuida mediante fuentes renovables en la provincia. Aunque la provincia tardó en reglamentar la generación distribuida, lidera el ranking de potencia instalada entre las provincias que adhirieron a la ley nacional (ver Figura 5). Mediante el Decreto 132/19 se reglamentó la Ley 10.604 y se establecieron beneficios fiscales que incluyen la exención del pago del Impuesto sobre los Ingresos Brutos a los ingresos provenientes de la venta de energía eléctrica excedente de origen renovable para usuarios-generadores

residenciales, y una reducción de hasta un 20 % en el impuesto inmobiliario del inmueble en donde se instala el equipo de generación distribuida. En la reglamentación se establece el sistema de balance neto de facturación. Además, indica que todos los proyectos de nuevos edificios públicos provinciales deben contemplar la utilización de algún sistema de generación distribuida a partir de fuentes renovables.

En mayo de 2021, la Dirección General de Rentas de la provincia reguló la generación distribuida comunitaria de energía renovable mediante la Resolución 01/2021. El esquema permite que varios usuarios con puntos de suministro independientes pero atendidos por una misma distribuidora conformen una persona jurídica para administrar un sistema de generación distribuida comunitaria. De esta manera, se crea la figura de usuario-generador comunitario y usuario cesionario. Los usuarios cesionarios adquieren una cuota-parte del sistema de generación y establecen de común acuerdo un reglamento de funciona-

miento interno (Figura 7). Además, se permite ceder voluntariamente los créditos obtenidos de inyección de energía a la red eléctrica pública a instituciones sociales.

Uno de los objetivos de la generación comunitaria consiste en aumentar la oportunidad de acceso a la generación distribuida, permitiendo que usuarios que no cuentan con espacio suficiente para la instalación de equipos se asocien y generen créditos para su hogar de manera remota. También permite bajar el costo de instalación respecto de sistemas individuales por el aprovechamiento de economías de escala. Otro de los objetivos que promueve la provincia contempla la diversificación de productos que pueden ofrecer las distribuidoras a sus usuarios a través del servicio de instalación, gestión y mantenimiento de sistemas FV comunitarios conectados a red.

Existen cuatro proyectos piloto de generación distribuida comunitaria funcionando (Figura 8). La potencia total alcanza los 222 kW y fueron desarrollados por cooperativas

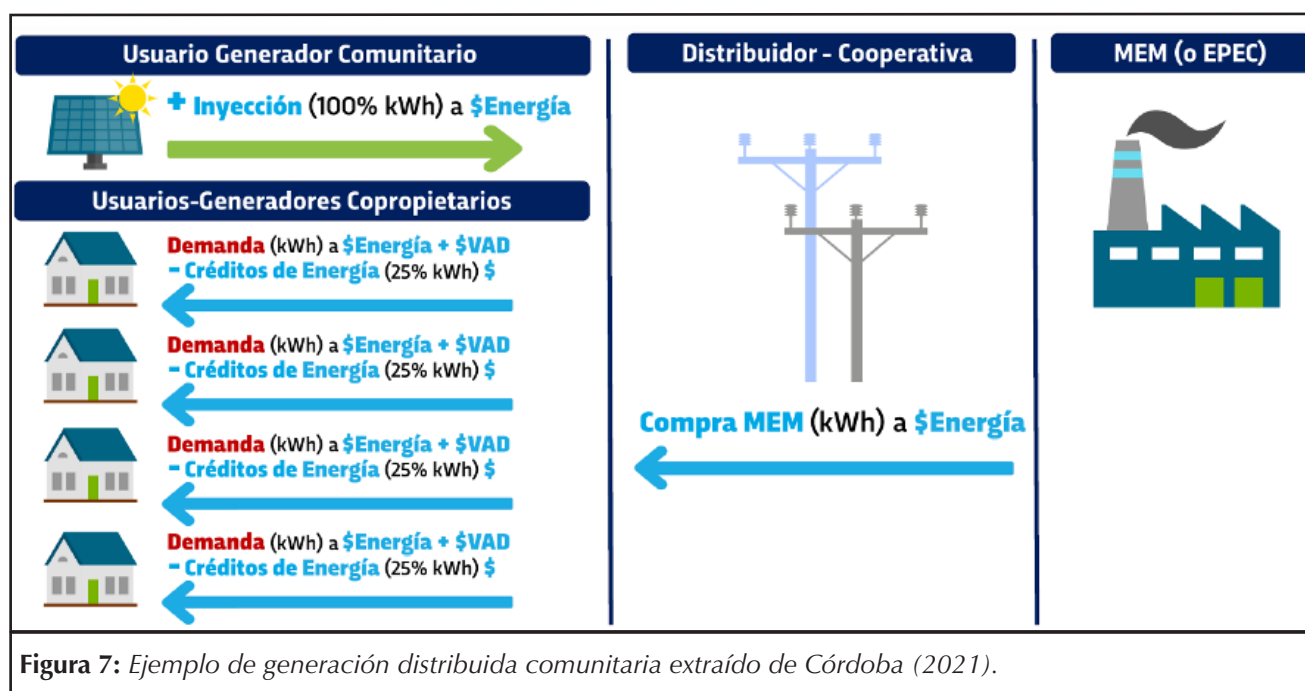


Figura 7: Ejemplo de generación distribuida comunitaria extraído de Córdoba (2021).

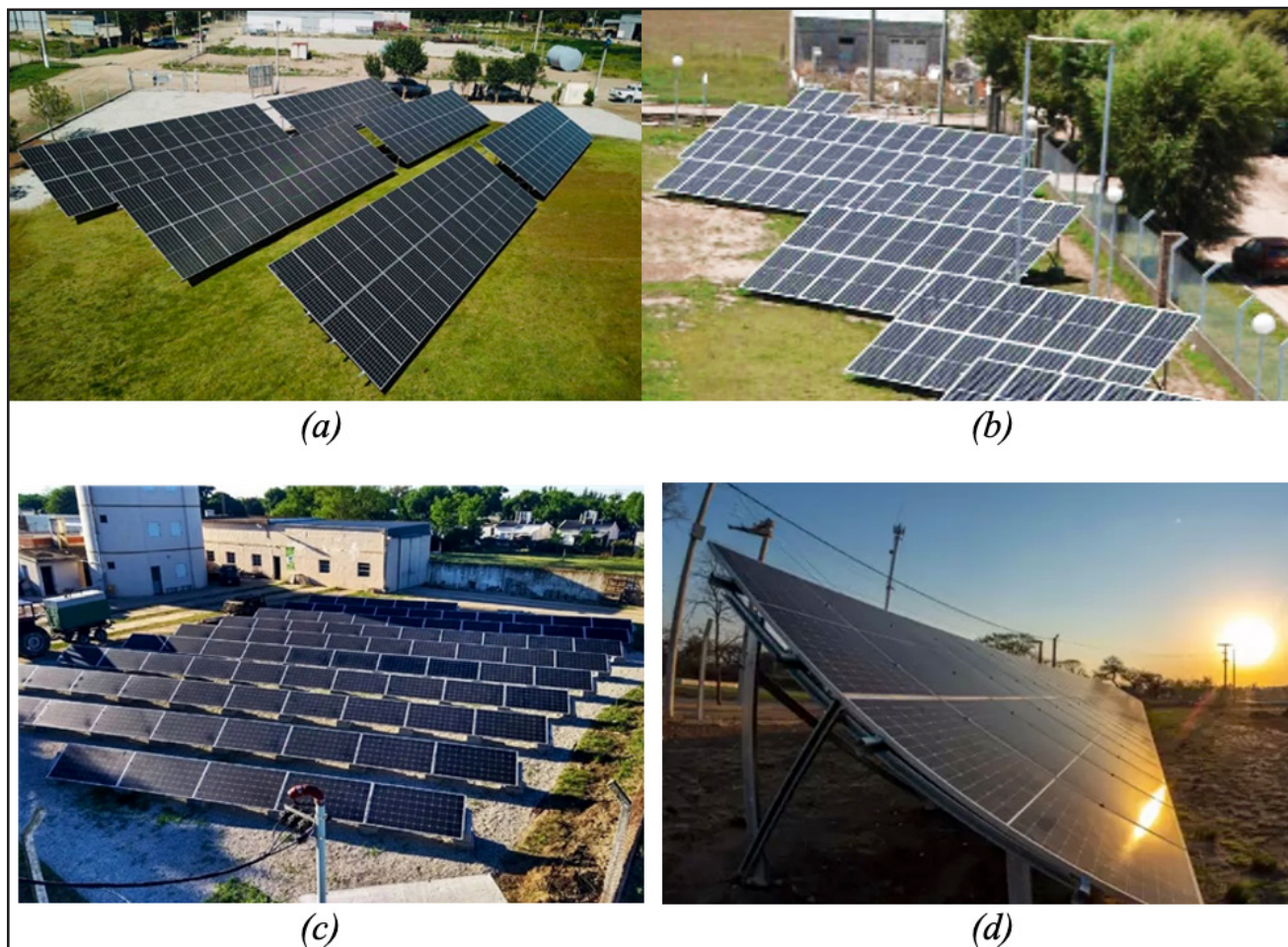


Figura 8: Proyectos Piloto de generación distribuida en la Provincia de Córdoba: (a) Parque Solar Oncativo (77 kW), (b) Parque Solar Arroyo Cabral (70 kW), (c) Parque Solar Luque (40 kW) y (d) Parque Solar Villa del Rosario (35 kW).

en conjunto con el gobierno de la Provincia de Córdoba con financiamiento del Consejo Federal de Energía Eléctrica (CFEE).

■ PROVINCIA DE BUENOS AIRES

La Provincia de Buenos Aires impulsa la generación distribuida desde el año 2009 a través del Programa Provincial de Incentivo a la Generación Distribuida (PROINGED, 2023). Este programa se basa en una gestión público-privada coordinada por el Ministerio de Infraestructura y el Foro Regional Eléctrico de la Provincia de Buenos Aires (FREBA). La financiación de los proyectos se realiza a través del fideicomiso financiero

FITBA (Fondo de Innovación Tecnológica de Buenos Aires), con el aporte de las empresas de distribución de energía eléctrica, distribuidores provinciales y municipales, inversores externos y los usuarios (mediante un cargo específico en las tarifas) (FREBA, 2020). El objetivo principal del programa consiste en mejorar el servicio eléctrico, especialmente en sitios críticos tales como puntas de líneas o sitios de demanda concentrada. Las instalaciones fotovoltaicas del PROINGED son pequeñas plantas solares, habiéndose instalado hasta fin de 2022 un total de 8,7 MW distribuidos en 26 parques, y se encontraban en construcción tres nuevos parques con una potencia

total de 990 kW. La Figura 9 muestra el Parque solar Cazón Saladillo de 330 kW de la Cooperativa Eléctrica de Saladillo y la Escuela N° 2.

A diferencia de las demás provincias, la proliferación de generación distribuida en Buenos Aires se encuentra directamente relacionada con las mejoras en la red de distribución eléctrica. En este caso los principales impulsores son el Ministerio de Infraestructura y las pequeñas empresas distribuidoras de energía eléctrica. Dentro del mismo plan se están llevando a cabo diferentes proyectos piloto, entre ellos un bombeo solar de agua para consumo de ganado bovino en la Chacra Experi-

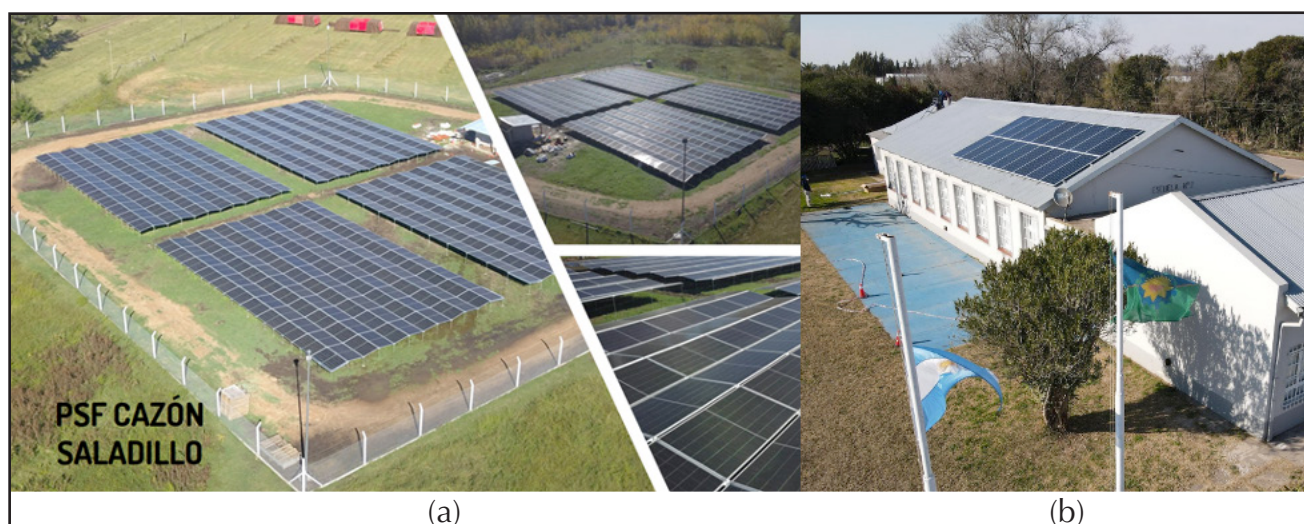


Figura 9: (a). Parque solar Cazón Saladillo de 330 kW de la Cooperativa Eléctrica de Saladillo. (b) Escuela N°2 PBA. Foto extraída de FREBA, 2022.

mental Patagones, y la instalación de un sistema fotovoltaico híbrido en la isla Martín García de 207 kW, cuyo banco de baterías de litio dispone de un almacenamiento de 799 kWh, y un grupo electrógeno diésel de respaldo. En el ámbito de las pequeñas instalaciones existe un programa para escuelas en donde se han instalado 831 kW distribuidos en 128 establecimientos. (FREBA, 2022).

La provincia promulgó la Ley 12.603 en el año 2000 donde habilitaba la incorporación de generación distribuida a partir de fuentes renovables por parte de usuarios particulares, aunque recién en el año 2022 adhirió a la Ley 27.424.

Por otra parte, resulta particularmente relevante la inminente puesta en marcha de UniLIB, la primera Planta Nacional de Desarrollo Tecnológico de Celdas y Baterías de Litio, un proyecto conjunto entre la empresa estatal Y-Tec (YPF-CONICET) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), con una capacidad anual de producción de 13 MWh (UNLP, 2022). Uno de los primeros proyectos en el que se aplicará la producción de baterías de Li de la

planta, de particular relevancia social, es la provisión de energía eléctrica en la Isla Paulino (Municipio de Berisso) por medio de la instalación de una central FV con acumulación (Garriga, 2023).

Dicha central fue dimensionada para abastecer de energía eléctrica a 60 usuarios potenciales, con previsión del crecimiento de la población y/o de la demanda, considerando el consumo mensual medio actual por usuario y los valores promedio mensuales de irradiancia solar en el sitio. A partir de estos datos, fueron evaluados distintos escenarios definiéndose una potencia FV de 133 kW y una capacidad de acumulación de 480 kWh, con distribución en media y baja tensión (Porello, 2022). Esta solución viene a dar respuesta a una población que carece de red para el servicio eléctrico, y que hasta el momento se abastece en casos aislados con equipos Diesel o bien con sistemas FV de baja potencia.

■ PROVINCIA DE SAN JUAN

El caso de la Provincia de San Juan es de particular importancia en el desarrollo de la energía solar FV en

el país, dada la decisión estratégica del estado provincial de desarrollar toda la cadena de valor de la tecnología FV basada en el silicio a través del Proyecto Solar San Juan ejecutado por la empresa provincial de energía EPSE (EPSE, 2023a). Más allá del importante desarrollo de centrales de potencia FV en la provincia (con 322,8 MW es la primera en términos de potencia FV instalada en el país; ver CAMMESA, 2023), parte de los objetivos del Proyecto están dirigidos a la GD: “Promover la instalación de paneles fotovoltaicos en el sector residencial, comercial e industrial y la instalación de centrales de generación fotovoltaica para la provisión de energía y bombeo de agua”.

En este sentido, aunque desde el punto de vista del desarrollo de GD es incipiente, EPSE tiene en ejecución pruebas piloto de generación distribuida en la localidad de Caucete dirigidas a la “evaluación del desempeño del sistema Fotovoltaico ante distintos escenarios de consumo, generación y modalidades de inyección a la red, en conjunto con condiciones meteorológicas ambientales” (EPSE, 2023b), así como

aplicaciones del mismo tipo en el riego agrícola, cuyo objetivo es “plantear el estudio, análisis, ensayos, pruebas y mediciones en la temática de extracción de agua para riego agrícola utilizando energía solar Fotovoltaica conectada a la red eléctrica como Generación Distribuida” (EPSE, 2023c).

■ CONCLUSIONES

La humanidad ha tomado conciencia de la necesidad de producir una transición energética hacia tecnologías de menor emisión de gases de efecto invernadero a fin de mitigar los efectos catastróficos del cambio climático causado por dichas emisiones. La Argentina, firmante del Acuerdo de París de 2015, ratificado mediante la Ley 27.270/16, se ha comprometido consecuentemente fijando metas de reducción de las emisiones de GEI, las cuales fueron ulteriormente ratificadas y fortalecidas en 2020 en el marco de la Ley 27.520 de Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global.

La tecnología solar FV emerge como una de las principales alternativas para contribuir a la transición energética, tal como se muestra en los escenarios prospectivos mencionados en la introducción del presente artículo. En Argentina la participación de la generación solar FV y otras fuentes renovables en la matriz energética comienza a ser significativa.

Mientras que un importante grupo de países (China, Alemania, Estados Unidos, Japón, India y Australia, entre los principales) han tenido políticas estratégicas que implicaron un fuerte impulso al desarrollo de la tecnología solar FV, en Latinoamérica se observa un desarrollo incipiente. En términos de potencia instalada, este desarrollo es liderado por Brasil, México, Chile y Argentina.

A pesar de los problemas recurrentes de inestabilidad macroeconómica del país, se han observado desarrollos de la GD utilizando la tecnología solar FV en varias provincias, haciendo uso de instrumentos legales, regulatorios y de promoción apropiados según la decisión política de cada jurisdicción. En el presente artículo se pasó revista a los casos más importantes, sea por razones históricas, por potencia instalada, o bien por la generación de proyectos que hacen al desarrollo de la GD FV.

En el marco de tarifas eléctricas que continúan siendo mayormente subsidiadas y entendiendo que la primera prioridad es el acceso universal a la energía, resulta necesario considerar incentivos económicos particulares para la generación FV, de tal manera que pueda competir en condiciones más favorables con las fuentes de generación convencionales. En el mismo sentido, serían extremadamente necesarias líneas de crédito preferenciales para la financiación de los equipos que constituyen las instalaciones en GD, de manera que se estimule su proliferación.

Una de las principales virtudes de la GD FV es su modularidad, que abre un abanico de opciones de aplicación. Algunas de ellas fueron mencionadas anteriormente en este artículo: generación comunitaria, fortalecimiento de la red eléctrica, pequeñas centrales asociadas a la oferta de cooperativas eléctricas, instalaciones domiciliarias, bombeo de agua para aplicaciones agrícolas, etc.. Cada una de estas opciones requiere un tratamiento económico, legal y regulatorio que haga posible su desarrollo.

Entre las numerosas ventajas de las energías renovables cabe destacar el aumento de la seguridad energética, la disminución de costos de

generación, el ahorro de divisas, el desarrollo de industria nacional, la generación de empleo y la mitigación del cambio climático, lo cual demuestra claramente la necesidad de profundizar políticas de estado que impulsen el desarrollo y la utilización en la Argentina de este tipo de fuentes.

La generación de energía proveniente de fuentes renovables (las fuentes de generación eléctrica más económicas a nivel mundial) y la reducción de gases de efecto invernadero deben jugar un rol fundamental en esta coyuntura. Estas tecnologías aportan al desarrollo social y pueden constituir una herramienta para fomentar un orden económico comunitario, en línea con la idea de soberanía energética en el sentido más amplio: no solo nacional sino también ciudadana. La generación de energía por parte de los propios usuarios resulta un cambio de paradigma respecto de la propiedad de las fuentes de generación de energía, dejando de ser la comunidad, las cooperativas o asociaciones y los ciudadanos meros usuarios para transformarse en productores de la energía que consumen.

La sanción de las Leyes 26.190, 27.191 y 27.424 por el Congreso Nacional con el apoyo de todos los bloques parlamentarios, los programas GENREN y RENOVAR, las convocatorias específicas para la financiación de proyectos de energías renovables de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, y las múltiples leyes y políticas provinciales de promoción de las energías renovables parecen indicar que la Argentina ha comenzado a transitar la transición hacia una matriz energética más limpia, económica y segura. Las condiciones están dadas para dar un salto de calidad en esta dirección, que excede el tema energético por sus implican-

cias en el cuidado del medio ambiente y en el desarrollo económico y social del país. La tecnología solar FV, y particularmente en GD, tiene un enorme potencial y debe ser un actor de importancia en la transición energética Argentina.

■ REFERENCIAS

- Ackerman T., Andersson G., Söder L. (2001). "Distributed Generation: A Definition", *Electric Power Systems Research* 57, pp. 195-204. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(01\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(01)00101-8)
- AEA (2015). AEA 90364 - Parte 7 - Sección 712, "Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos", Asociación Electrotécnica Argentina. <https://aea.org.ar/wp-content/uploads/2017/10/90364-7-712-1.pdf>
- BloombergNEF (2022). Cost of New Renewables Temporarily Rises as Inflation Starts to Bite, Bloomberg New Energy Finance; 30 de junio de 2022. <https://about.bnef.com/blog/cost-of-new-renewables-temporarily-rises-as-inflation-starts-to-bite/>
- Borenstein, S. (2020). What Can Distributed Generation Do For the Grid? Energy Institute Blog, UC Berkeley; 28 de septiembre de 2020. <https://energyathaas.wordpress.com/2020/09/28/what-can-distributed-generation-do-for-the-grid/>
- CAMMESA (2022a). Informe Anual 2021. Mercado Eléctrico Mayorista. Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico; mayo de 2022. <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>
- CAMMESA (2022b). Informe Mensual Diciembre 2022. Mercado Eléctrico Mayorista. Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-sintesis-mensual/>
- CAMMESA (2023). Informe Mensual Enero 2023. Generación Renovable Variable. Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. <https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/RenovablesIMGRV/Informe%20Mensual%20de%20Generaci%C3%B3n%20Renovable%20Variable%20-%20Enero%202023%20-%20CAMMESA.pdf>
- Colthorpe, A. (2021). BloombergNEF: Average battery pack prices to drop below US\$100/kWh by 2024 despite near-term spikes; 1 de diciembre de 2021. <https://www.energy-storage.news/bloombergnef-average-battery-pack-prices-to-drop-below-us100-kwh-by-2024-despite-near-term-spikes/>
- Córdoba (2021). Futuro Córdoba Sostenible, Ministerio de Servicios Públicos, Gobierno de la Provincia de Córdoba. <https://ministeriodeserviciospublicos.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2021/07/generacion-distribuida-comunitaria.pdf>
- DNP (2022). "Población urbana en Argentina – Evolución y distribución espacial a partir de datos censales", Dirección Nacional de Población. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/poblacion_urbana_dnp.pptx.pdf
- Enkhardt, S. (2022). "Global solar capacity additions hit 268 GW in 2022, says BNEF". *PV-Magazine*, 23 de diciembre de 2022. <https://www.pv-magazine.com/2022/12/23/global-solar-capacity-additions-hit-268-gw-in-2022-says-bnef/>
- EPE (2013). Resolución 442/13 Generación en isla o en paralelo, Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe. <https://www.epe.santafe.gov.ar/index.php?id=resolucion442>
- EPE (2020). Prosumidores EPE, Datos Abiertos Santa Fe. <https://datos.santafe.gob.ar/dataset/prosumidores-epe>
- EPRE (2022). Recursos Energía Distribuida, Octubre 2022. Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE). Provincia de Mendoza. <https://www.epremendoza.gov.ar/2019/usuariogenerador/>
- EPSE (2023a). Proyecto Solar San Juan. Energía Provincial Sociedad del Estado. Provincia de San Juan. <https://www.epse.com.ar/web/proyecto/proyecto-solar-san-juan-5>
- EPSE (2023b). Pruebas Piloto Generación Distribuida. Energía Provincial Sociedad del Estado. Provincia de San Juan. <https://www.epse.com.ar/web/proyecto/pruebas-piloto-generacion-distribuida/4>
- EPSE (2023c). Pruebas Piloto Generación Distribuida, Riego Agrícola. Energía Provincial Sociedad del Estado. Provincia de San Juan. <https://www.epse.com.ar/web/proyecto/pruebas-piloto-generacion-distribuida-riego-agricola/10>
- Eyras, R. y Durán, J.C. (2014). Proyecto IRESUD: "Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Seleccionado del 1º Encuentro

- Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013, pp. 159-165. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2013/2013-t013-a017.pdf>
- Fitzgerald, G., Mandel, J., Morris, J., Touati, H. (2015). The Economics of Battery Energy Storage: How multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid. Rocky Mountain Institute, September 2015. <https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/03/RMI-TheEconomicsOfBatteryEnergyStorage-FullReport-FINAL.pdf>
- Fortune Business Insights (2022). Battery Energy Storage Market, informe generado por Fortune Business Insights; ID: FBI100489. www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/battery-energy-storage-market-100489
- FREBA (2020). Informe Institucional, Año 2020. Foro Regional Eléctrico de Buenos Aires. <https://www.freba.org.ar/wp-content/uploads/2020/02/INFORME-INSTITUCIONAL-ENE-2020-FREBA.pdf>
- FREBA (2022). Informe asamblea anual FREBA. Mayo 2022. <https://www.freba.org.ar/wp-content/uploads/2022/05/PROINGED-Asamblea-FREBA-2022.pdf>
- Galluci, G. y Giubergia, J. (2022). Realidad Energética Provincial Salta. Secretaría de Energía, Ministerio de Producción, Trabajo y Desarrollo Sustentable, Gobierno de la Provincia de Salta. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/secretaria_de_energia_salta.pdf
- Garriga, G. (2023). Todo listo en Berisso para fabricar baterías. Página12, 14 de enero de 2023. <https://www.pagina12.com.ar/515617-todo-listo-en-berisso-para-fabricar-baterias>
- Godfrin, E.M., Krautner, A., Durán, J.C. (2022). Análisis de un sistema fotovoltaico con almacenamiento conectado a red en una vivienda unifamiliar en la Ciudad de Buenos Aires: autoconsumo, inyección a red y ahorros en la factura del servicio eléctrico, AVERMA 2022, en prensa.
- Green, M.A. (2019). How did solar cells get so cheap? Joule 3 (3), 631-633. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.02.010>
- IEA (2022a). World Energy Outlook 2022. International Energy Agency, Paris. Octubre de 2022. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>, License: CC BY 4.0 (report).
- IEA (2022b). 2022 Snapshot of Global PV Markets. International Energy Agency. Abril de 2022. <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2022/>
- IEA (2022c). Grid-Scale Storage, International Energy Agency (IEA). Septiembre de 2022. <https://www.iea.org/reports/grid-scale-storage>
- IRAM (2016). Norma IRAM 210013 Parte 21 "Inversores para conexión a la red de distribución - Requisitos generales". <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/12398>
- Lazard (2021). Levelized Cost Of Energy, Levelized Cost Of Storage, and Levelized Cost Of Hydrogen, Lazard Financial Advisory and Asset Management. 28 de octubre de 2021. <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/>
- Medinilla, M. (2022). "El gobierno actualizó el Certificado de Crédito Fiscal para la distribuida en Argentina", Energía Estratégica, 19 de julio de 2022. <https://www.energiaestrategica.com/el-gobierno-actualizo-el-certificado-de-credito-fiscal-para-la-distribuida-en-argentina/>
- Porello, N. (2022). "Desarrollo de un sistema de abastecimiento para demandas aisladas de la red eléctrica - Caso Isla Paulino", Documento Interno, Y-TEC.
- PROINGED (2023). Programa Provincial de Incentivos a la Generación de Energía Distribuida. Energías Renovables, Provincia de Buenos Aires. <https://www.freba.org.ar/proinged/>
- REN21 (2013). Renewables 2013 Global Status Report, editado por REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, ISBN 978-3-9815934-0-2. <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2013-Full-Report-English.pdf>
- REN21 (2017). Renewables 2017 Global Status Report, editado por REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, ISBN 978-3-9818107-6-9. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- REN21 (2022). Renewables 2022 Global Status Report, editado por REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, ISBN 978-3-948393-04-5.

<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

Salta (2021). Salta expuso las fortalezas de la ley de Balance Neto de energía eléctrica con fuentes renovables. Ministerio de Producción y Desarrollo Sustentable, Gobierno de Salta, 27/10/2021. <https://www.salta.gob.ar/prensa/noticias/salta-expuso-las-fortalezas-de-la-ley-de-balance-neto-de-energia-electrica-con-fuentes-renovables-78808>

Santa Fe (2016). Programa “Prosumidores Santa Fe”, Decreto N° 1565, Gobierno de la Provincia de Santa Fe. <https://www.santafe.gov.ar/boletinoficial/ver.php?seccion=12-07-2016decreto1565-2016.html>

Santa Fe (2020). Decreto 1098/2020. Provincia de Santa Fe. <https://epe.santafe.gov.ar/programa-era/wp-content/themes/prosumidores/documentos/2020%20-%20Decreto%201098%20-%20Programa%20ERA%20-%20Rev.2.pdf>

SE (2022). Generación Distribuida en Argentina, Reporte Anual

2022, Secretaría de Energía. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/reporte-anual_202226012023.pdf

SISol (2023). Sistema de Información Solar Salta. <http://sisol.salta.gob.ar/>

SMA (2017). Ventajas de la batería de alta tensión conectada en CA sobre otras soluciones alternativas. <https://www.sma-sunny.com/es/ventajas-de-la-bateria-de-alta-tension-conectada-en-ca-sobre-otras-soluciones-alternativas/>

UNLP (2022). Ya instalan el equipamiento y es inminente la puesta en marcha de la primera Planta de Baterías de Litio de Latinoamérica. 9 de diciembre de 2022. <https://unlp.edu.ar/institucional/ya-instalan-el-equipamiento-y-es-inminente-la-puesta-en-marcha-de-la-primera-planta-de-baterias-de-litio-de-latinoamerica-55243/>

Victron (2022). Manual de diseño es instalación de ESS, Rev 06 09/2022, Victron Energy. https://www.victronenergy.com/upload/documents/Energy_Storage_System/6292-ESS_design_and_installation_manual-pdf-es.pdf

[System/6292-ESS design and installation manual-pdf-es.pdf](https://www.victronenergy.com/upload/documents/Energy_Storage_System/6292-ESS_design_and_installation_manual-pdf-es.pdf)

■ NOTAS

1 La potencia FV se expresa habitualmente en Wp (Watt pico) y corresponde a la potencia eléctrica generada por un elemento FV (celda solar, módulo fotovoltaico o sistema fotovoltaico) en condiciones normalizadas: irradiancia solar de 1 kW/m², espectro de radiación solar AM1.5G y temperatura de operación de 25 °C.

2 La Ley 27.191 no considera fuente renovable a la energía hidráulica de potencia superior a 50 MW.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista CIENCIA E INVESTIGACION

Ciencia e Investigación, órgano de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC), es una revista de divulgación científica y tecnológica destinada al mundo académico, a educadores, estudiantes universitarios, profesionales y público educado en general. La temática abarcada por sus artículos es amplia y va desde el tratamiento accesible de temas de investigación básica y tecnológica, hasta comentarios analíticos y/o bibliográficos, sin restricción de ciencias o tecnologías. En principio, se excluyen artículos de investigación puntual y originales, que son objeto de revistas especializadas. Desde el año 2009 la revista tiene difusión en versión on line (www.aargentinapciencias.org)

Las contribuciones centrales de temas básicos y tecnológicos son habitualmente solicitadas por los Editores y, en la mayoría de los casos, agrupadas en números temáticos coordinados por los Editores o Editores invitados. Los miembros de la AAPC, y eventualmente otros del ambiente académico, pueden sugerir temas de interés general o someter un artículo de especial relevancia para eventual publicación en un número temático. También se puede proponer a los Editores o a cualquiera de los miembros del Comité Editorial, la evaluación para su eventual publicación de notas cortas (hasta 2500 palabras) de especial interés, debiendo ser de actualidad y/o interés amplio como: entrevistas, historia de las ciencias, crónicas de actualidad, biografías, obituarios y comentarios bibliográficos. La propuesta se deberá acompañar con una nota (conteniendo correo electrónico y teléfono) explicando su importancia. Se considerarán también eventuales Cartas al Editor y/o al Autor, referidas a artículos publicados (aspectos técnicos o teorías). Todos los artículos y notas serán arbitrados y una vez aprobados para su publicación, la versión eventualmente corregida (con posibles sugerencias de los árbitros) deberá ser nuevamente enviada por los autores. Las páginas deben numerarse (arriba a la derecha) en forma corrida, incluyendo el texto, glosario, bibliografía o referencias y las leyendas de las figuras y tablas.

PRESENTACIÓN DEL MANUSCRITO

El artículo se presentará vía correo electrónico a (cienciaeinvestigacion@aargentinapciencias.org), como documento adjunto, escrito con procesador de texto word (extensión «doc») en castellano o inglés, en hoja tamaño A4, a doble espacio, con márgenes de por lo menos 2,5 cm en cada lado, letra Time New Roman tamaño 12.

La primera página deberá contener:

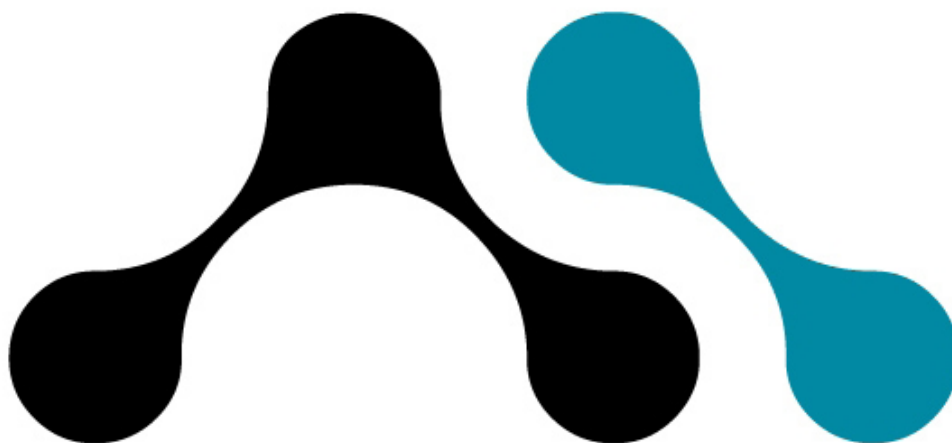
- (a) Título del trabajo (Puede haber un título general seguido de sub-título)
- (b) Nombre y apellido de los autores, indicando pertenencia institucional con índices. (Ejemplo: Juan N.Pandolfi^{1,2}).
- (c) Institución(es) a la(s) que pertenecen y lugar(es) de trabajo, con los respectivos números
- (d) Correo electrónico del autor corresponsal (con asterisco en el nombre del autor a quien pertenece)
- (e) Entre 4 y 8 palabras claves en castellano y su correspondiente traducción en inglés.

La segunda página incluirá un resumen del trabajo, en castellano y en inglés, con un máximo de 250 palabras para cada idioma.

El texto del trabajo comenzará en la tercera página, y finalizará con el posible glosario, la bibliografía y las leyendas de las figuras. Colocar las ilustraciones numeradas (figuras y tablas) al final (páginas con numeración romana). Por tratarse de artículos de predominante divulgación científica aconsejamos acompañar el trabajo con un glosario de los términos que puedan resultar desconocidos para los lectores no especialistas en el tema. La extensión de los artículos, salvo excepción, no excederá las 10.000 palabras, (incluyendo título, autores, resumen, glosario y bibliografía). Otras notas relacionados con actividades científicas, bibliografías, historia de la ciencia, crónicas o notas de actualidad, etc, en principio no deberán excederse de 2.500 palabras.

El material gráfico se presentará como: a) figuras (dibujos e imágenes en formato JPG) y se numerarán correlativamente (Ej. Figura 1) y b) tablas numeradas en forma correlativa independiente de las figuras (Ej. Tabla 1). En el caso de las ilustraciones que no sean originales, éstas deberán citar su origen/autor en la leyenda correspondiente (cita bibliográfica o de página web). Los autores deberán acompañar, si fuera necesaria, la autorización para utilizar dichas figuras. Es importante que las figuras y cualquier tipo de ilustración sean de buena calidad.

En caso de utilización de datos significativos que no sean propios se debe siempre indicar la fuente en las Referencias. En el texto del trabajo se indicará el lugar donde el autor ubica cada figura y cada tabla (poniendo en la parte media de un renglón Figura... o Tabla..., en negrita y tamaño de letra 14). La lista de trabajos citados en el texto deberá ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el apellido del primer autor, seguido por las iniciales de los nombres, restantes autores separados por comas, año de publicación entre paréntesis, título completo de la contribución, título de la revista o libro donde fue publicada, volumen y página(s). Ejemplos: Benin L. W., Hurste J. A., Eigenel P. (2008) The non Lineal Hypercicle. *Nature* 277, 108 –115. Tinbergen N. (1951) *The Study of Instinct*. Oxford: Clarendon Press.



FUNDACION ARGENTINA DE
NANOTECNOLOGIA

(5411) 4518-1715/4518-1716 - 25 de Mayo 1021. C.P. 1650.
San Martín. Provincia de Buenos Aires. Argentina - www.fan.org.ar - info@fan.org.ar

El artículo 41 de la Constitución Nacional expresa:

Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano, y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes, sin comprometer las de las generaciones futuras.

Para ello, trabajamos en el Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA) en docencia, investigación y desarrollo tecnológico.

3iA



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL
www.unsam.edu.ar