



# OBSERVATORIO AMBIENTAL ARGENTINO



## INFORME IX

### La energía solar fotovoltaica: los problemas de una solución

Sobre el camino a recorrer para que la energía solar reemplace a los combustibles fósiles



# AZARA

DESCUBRÍ TU ESPÍRITU EXPLORADOR

[www.fundacionazara.org.ar](http://www.fundacionazara.org.ar)

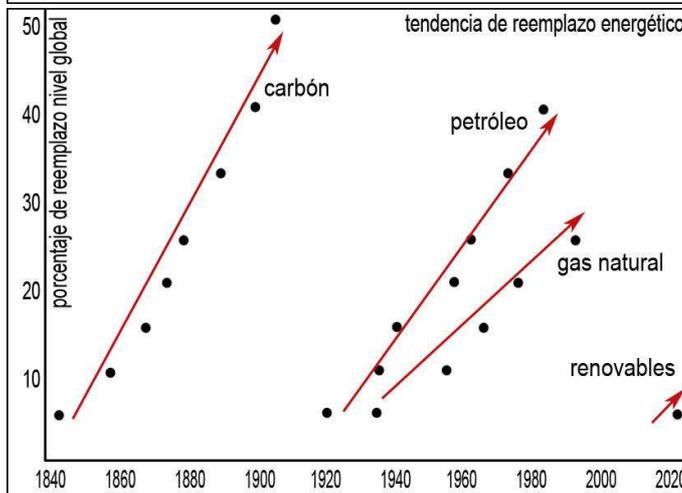
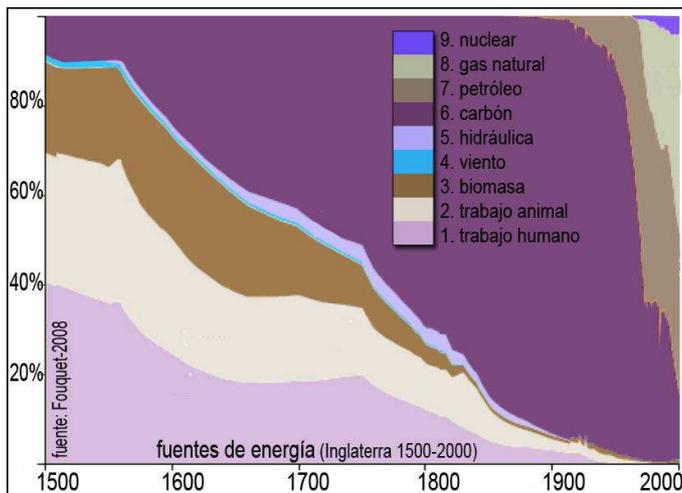


# La energía solar fotovoltaica: los problemas de una solución

Sobre el camino a recorrer para que la energía solar reemplace a los combustibles fósiles

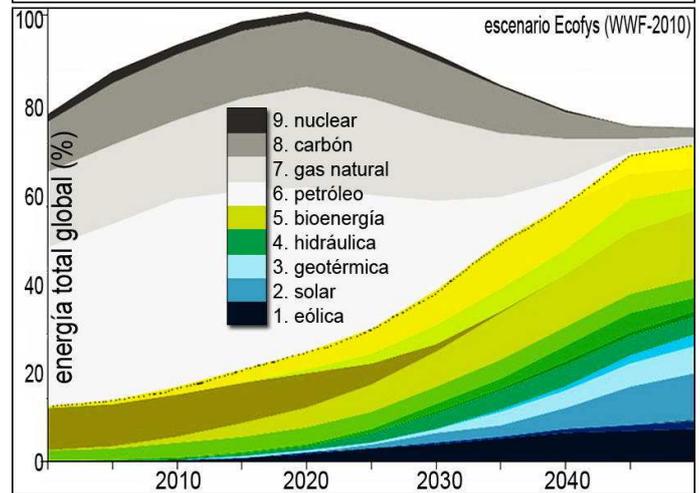
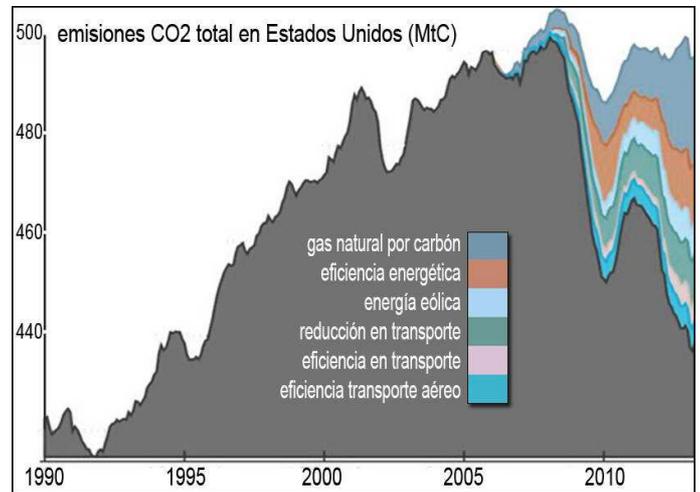
**La energía solar es la solución definitiva.** Las fuentes de energía tuvieron 3 olas históricas: (1) el uso de biomasa y fuerza animal (incluida la humana); (2) las fuentes fósiles desde 1750 (carbón, petróleo y gas, incluye la nuclear) y (3) las fuentes renovables (hidráulica, eólica, solar térmica y fotovoltaica, marina y geotérmica). La energía solar fotovoltaica ESFV es una de las muchas variantes de energías renovables, pero a la vez es una solución definitiva por su capacidad para generar energía en cualquier lugar donde se la necesite (puede ser tan distribuida como se quiera). En el 2016, Argentina se encuentra en un estado embrionario en el uso de ESFV para autogeneración (consumo local) y muy atrasada respecto de países vecinos. El reemplazo llevará décadas, de forma que el uso de fuentes fósiles tendrá un largo declive impulsado por la mejora en la eficiencia energética y la implementación de fuentes renovables.

móviles (no produce ruido) y no requiere casi mantenimiento como el caso de la energía eólica. El resto de este trabajo analiza los problemas y soluciones de la ESFV.



Las fuentes de energía se sucedieron en el tiempo. En Inglaterra 1500-2000 (arriba) se encadenaron la fuente vegetal (biomasa), animal y humana; dando lugar a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). La tendencia de reemplazo fue lenta, con un promedio de 50 años ocupar el 50% (abajo). En Europa, el cambio de madera por carbón tardó 96-160 años dependiendo del país, e imponer la electricidad tomó 47-69 años. Hay ejemplos de cambios rápidos: Ontario abandonó el carbón entre 2003-2014. Indonesia, cambió en 3 años el 60% de la población que usaba leña para estufas a querosene. Francia pasó del 4% de la energía nuclear en 1970 a 40% en 1982. Estos casos fueron posibles gracias a la intervención del gobierno mediante incentivos y presiones sobre los grupos de interés.

La ESFV convierte en forma directa la radiación solar en corriente continua. Como no hay pasajes intermedios, la conversión es "limpia" (no emite gases efecto invernadero); aunque tiene un costo inicial por fabricación medida como huella de carbono. Es una fuente inagotable y disponible en casi todas partes (la energía eólica solo se da en ciertos lugares); pero es intermitente porque depende de la presencia directa del sol. La conversión no tiene partes

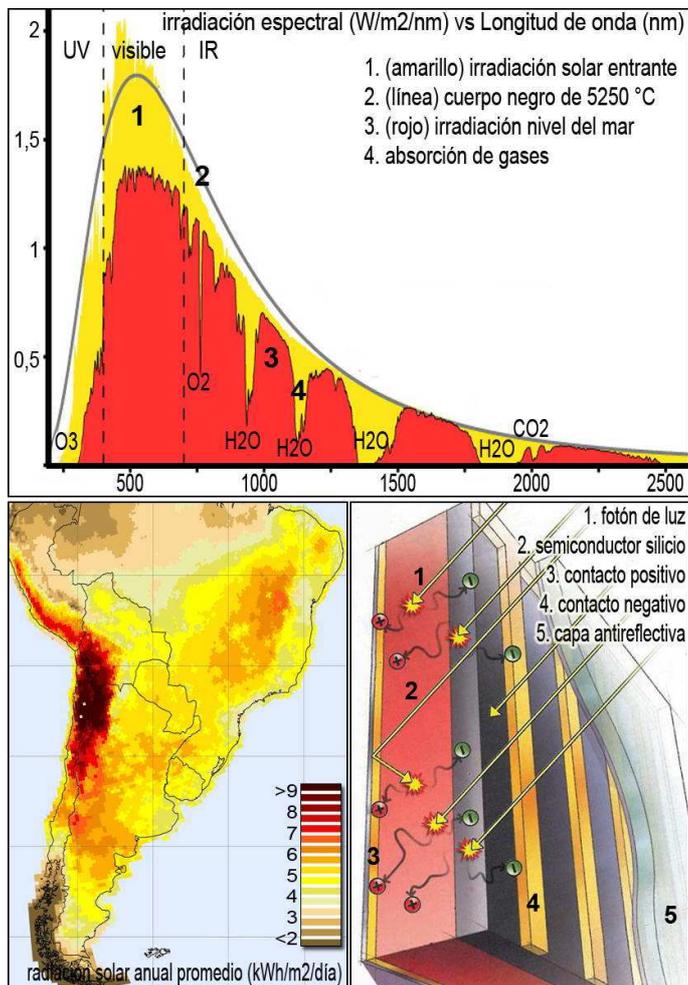


Las emisiones de CO<sub>2</sub> (arriba-zona gris) en Estados Unidos se redujeron en la última década gracias a las políticas de reemplazo energético (principalmente por energía eólica) y la eficiencia energética. El estudio Ecofys, preparado para la WWF, muestra una tendencia de reemplazo por energías renovables y de reducción global del consumo (hipótesis que lleva a la energía generada en el 2050 al valor del 2000).

**1. La ESFV es intermitente.** La radiación solar está disponible durante una parte del día, en condiciones de cielo despejado y dependiente de la estación del año. A cambio, está disponible, en mayor o menor grado, en todo el planeta. La radiación llega a la superficie de la Tierra luego de ser filtrada por los gases atmosféricos (ozono en el UV y oxígeno y agua en el IR). Esto determina mapas de irradiación, donde la zona de la puna andina (NEA) es una de las más favorecidas del planeta, con una energía anual mayor a 3.000 kWh/m<sup>2</sup>. En líneas generales, de las 12 horas de sol, solo 6-8 hs pueden considerarse que son aprovechadas por la ESFV. La generación depende del ángulo, con un máximo en el cenit. En algunos casos, si el consumo es mayor al atardecer, es conveniente orientar los paneles solares hacia el poniente para tener el máximo de captación en ese horario. La intermitencia (hora del día, días nublados) obliga a adoptar una solución externa (acumulación o fuente alternativa).

**2. La ESFV no es transportable.** Los combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas) son fuentes de energía densas (ocupa poco espacio), portátiles (transportable en tanques), almacenables (por mucho tiempo), fungibles (consumibles con el uso) y transformables (plásticos, movimiento, electricidad, calor). La ESFV cumple solo en parte con estas características. Algunos dicen que de los 3 ámbitos energéticos (electricidad, climatización y

transporte) solo la electricidad es accesible por la energía solar hoy día. Hablan de “transición eléctrica” en lugar de “energética”. Pero, la energía eléctrica puede ser acumulable y transportable en baterías o como hidrógeno (para “pilas de combustible”), aunque con costos más elevados. Además, los combustibles fósiles imponen costos externos derivados de las emisiones de carbono (una externalidad), como ser los costos del cuidado de la salud o los de infraestructuras que resultan de la elevación del nivel del mar.



La radiación solar es filtrada por los gases de la atmósfera antes de llegar a las celdas solares (arriba). La región del NEA es una de las más apropiadas del planeta para colocar celdas solares (abajo). Las celdas solares transforman los fotones de luz en corriente eléctrica continua.

**3. La intermitencia obliga a una fuente de respaldo.** La ESFV debe ser complementada con otras fuentes de energía: la eólica (que también es intermitente) o la hidroeléctrica (sirve como “acumulador”). Son las llamadas “copias de seguridad” porque deben estar disponibles para las eventualidades. Algunos proponen la energía nuclear para acompañar a la solar durante las horas de ausencia. Para llegar a una red única de ESFV se propuso una red mundial de transporte eléctrico a desplegarse en las próximas décadas. De esta forma se pueden aprovechar las mejores zonas del planeta para la generación (desiertos tropicales) en un anillo de 24 horas y la red global para distribuir la energía.

**4. La intermitencia obliga al almacenamiento.** En las aplicaciones de autogeneración en los techos de las casas (p.e., zonas aisladas de la red pública, llamadas *off-grid*), se debe disponer de un almacenamiento. Los elementos de almacenamiento son costosos y aumentan la inversión inicial (baterías de duración limitada y reciclaje obligatorio). Otra alternativa es disponer de fuentes complementaria, como un grupo electrógeno a gas o un generador eólico. El costo energético y económico a pagar por el uso de almacenamiento se justifica solo si el costo de la fuente es mayor. El almacenamiento en baterías es ideal para la ESFV debido a la modularidad, pero existen críticas por el costo ambiental de las baterías (materiales y reciclado). En centrales grandes solares se puede implementar el almacenamiento en tanque de sales líquidas (las sales se licuan a alta

temperatura) o en represas con hidrobombeo (se bombea agua a la represa cuando hay exceso de generación).

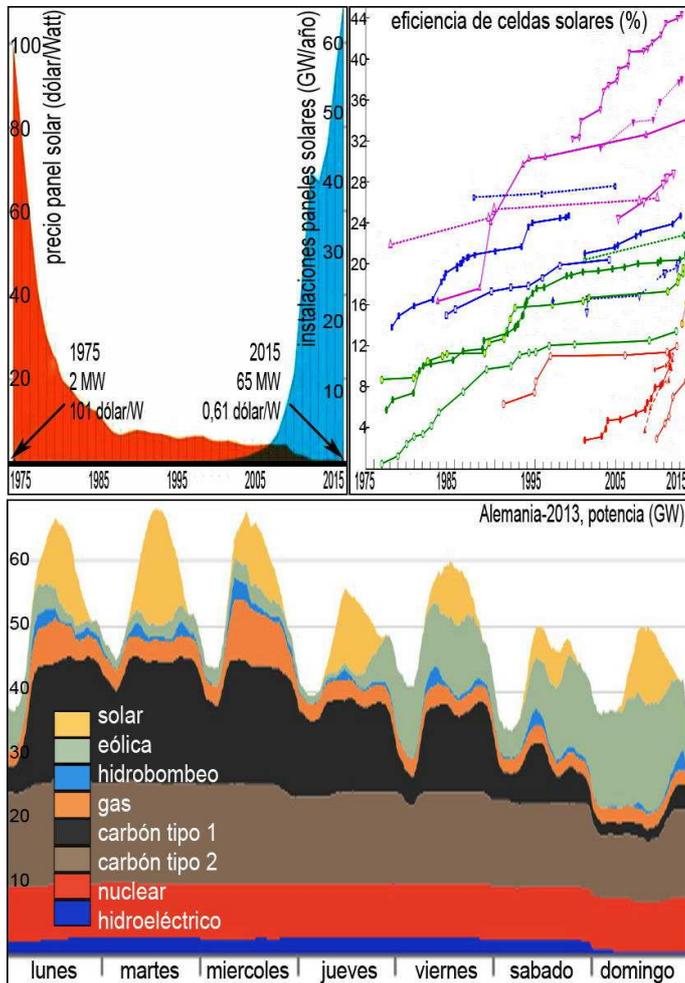
**5. La ESFV tiene una huella de carbono inicial.** Cuando se fabrican los paneles solares se produce una huella de carbono y por un largo tiempo fue una crítica dolorosa. La razón es que se consumen combustibles fósiles en la minería, producción e instalación de los paneles. Para una evaluación numérica se usa la cantidad de carbono liberado por unidad de energía generada. Se estimó que la ESFV libera durante la fabricación 35 kgCO<sub>2</sub> por cada MWh de energía eléctrica generada. En tanto, la construcción de una central térmica de combustible fósil tiene una huella 3 veces menor. Pero, mientras la energía solar entrega electricidad directa y no produce CO<sub>2</sub> adicional, la central térmica emite CO<sub>2</sub> extra al quemar el combustible durante la explotación. Por ejemplo, con gas natural se emiten 436 kgCO<sub>2</sub>/MWh adicionales y con carbón 915 kgCO<sub>2</sub>/MWh. Por el momento la energía usada para fabricar los paneles solares procede de combustibles fósiles (del carbón en China). Un informe reciente indica que la huella de carbono de los paneles fabricados en China es el doble de los europeos, debido a que usan energía eléctrica derivada del carbón. En un estudio se estimó que la electricidad generada por todas las fuentes ESFV del planeta superó en el 2015 la energía de fabricación de los módulos. Es el punto de cruce donde se libra de la huella de carbono acumulada. Con la tendencia actual, en el 2020 el 10% de la electricidad mundial será producida mediante sistemas ESFV, en tanto la producción e instalación de nuevos ESFV consumirá el 9% de la electricidad mundial. Pero, este valor podrá bajar al 2% debido a la caída de la intensidad energética usada en la fabricación.

**6. La ESFV tiene una tasa energética media.** Un indicador numérico importante es la Tasa Energética de Retorno TER. Este indicador compara la cantidad de energía que produce una tecnología con la energía necesaria para construir y mantener el sistema. Por ejemplo, una turbina eólica tiene una TER de 20-80 (genera entre 20 y 80 veces la electricidad necesaria para la fabricación, instalación, mantenimiento y desinstalación). En tanto, la ESFV tiene un TER de 5-20 veces. Las variaciones dependen de la zona del planeta de instalación. En los combustibles fósiles los valores van en decadencia debido a que los yacimientos son cada vez más difíciles de explotar. En el 2013 se aplicó este concepto a las arenas bituminosas de Alberta (Canadá) y se encontró un valor de 5; en tanto, el petróleo convencional está en 10-20 veces. Un estudio sobre la TER en la producción de hidrógeno desde celdas ESFV con convertidor electroquímico, tiene una eficiencia de conversión del 5% y requiere 5 años de trabajo para volverse TER positivo. La TER de la ESFV puede mejorarse con instalaciones en zonas de alta irradiación solar y con tecnologías de alta eficiencia.

**7. La ESFV tiene una huella hídrica reducida.** Durante la fabricación de los paneles solares se consume agua para refrigeración, procesos químicos y control de contaminación del aire. Un desperdicio mayor de agua ocurre durante la limpieza en la instalación y el mantenimiento de los paneles. Por ejemplo, un proyecto de 250-500 MW de potencia requiere hasta 1,5 millones de litros de agua para controlar el polvo durante la construcción y otros 26 millones de litros anuales para el lavado durante la operación. Sin embargo, este valor es solo una fracción de lo usado en las plantas termoeléctricas con combustibles fósiles.

**8. La ESFV requiere materiales críticos y tóxicos.** El proceso de fabricación actual de las celdas solares es costoso en energía (fósil) y demandante de materiales críticos y tóxicos. La mayoría de las celdas solares son de silicio. El cuarzo (dióxido de silicio) se extrae de las minas y se refina para obtener silicio. Los hornos eléctricos de refinación se calientan a 1650 °C y se usa ácido clorhídrico. El paso siguiente es formar lingotes y cortarlos en obleas e introducir impurezas para generar el efecto fotoeléctrico (absorción de radiación solar y generación de corriente eléctrica). Entre otros compuestos químicos, se usa ácido fluorhídrico para limpiar las obleas. Existieron denuncias en el 2011 en China de descontrol en el manejo de contaminantes que llevaron a establecer normas para reciclar el 98,5% de los residuos. En 2015 cerca del 50% de los paneles se fabricaban en China, lo que ponía en dudas la protección del ambiente y los trabajadores. La industria debe encontrar la forma de reemplazar los compuestos peligrosos para demostrar la sustentabilidad social y ambiental. En un tipo de celdas de película delgada se usan compuestos de cadmio, un metal pesado que es carcinógeno y que puede causar mutaciones heredables. Cada vez más, la tecnología busca celdas de película delgada que se basan en materiales abundantes (cobre, zinc, estaño y carbono). La ESFV podrá reducir y anular

la huella de carbono de fabricación cuando produzca la energía necesaria para fabricarlas. Pero existe una huella de carbono ligada a la minería y el reciclaje que debe ser contemplada en otros niveles de estudio. La SVTC (*Silicon Valley Toxics Coalition*) evalúa el impacto ambiental de los fabricantes de alta tecnología por una serie de criterios ambientales y de seguridad laboral. Se basa en datos de percepción subjetiva tales como emisiones, toxicidad química, el uso del agua y el reciclaje. En el futuro cercano se esperan avances en estos sentidos.



La primera celda comercial data de 1956 y el valor era de 300 dólares por Watt. En 1975 había instalado 2 MW y el valor era de 101 dólar/W; hacia el 2015 el valor descendió a 0,6 dólar/W. La instalación de ESFV en GW/año crece en la medida que el costo disminuye (arriba-izq). La eficiencia de las celdas es creciente desde hace 40 años (der) y en las celdas comerciales se encuentran entre 15-25%. La demanda de energía de Alemania muestra como la energía solar y eólica debe ser complementada con la nuclear y de carbón.

**9. Pueden existir problemas de rendimiento.** El rendimiento de los paneles solares es bajo (entre 15-25% de la energía solar se convierte en eléctrica). En tanto, otros factores externos reducen el rendimiento, como ser las sombras de los árboles; la suciedad del módulo (polvo u hollín) y heces de las aves. Los estudios muestran una pérdida de energía anual del 5% cuando no se hace una limpieza periódica. Existen problemas derivados de animales: insectos que hacen nidos; estiércol y nidos de las aves; roedores que pueden morder los cables. También están las hierbas que pueden tapar la parte baja de los módulos (en algunos casos se usan ovejas para comer el pasto). Hay causas internas al sistema que afectan al rendimiento: por calentamiento; una baja de la eficiencia del inversor; la caída de tensión del cableado; y el desajuste de los módulos. Una cámara de infrarrojos puede ser útil para detectar las zonas de pérdidas, ya que el calor generado por una celda dañada se mostrará como puntos brillantes.

**10. Los paneles tienen un envejecimiento mecánico.** ¿Cuánto tiempo dura un panel solar? La mayoría de los fabricantes garantizan una vida útil de hasta 25 años. Los ensayos en fábrica implica la exposición a altas temperaturas y cargas mecánicas, lo que predice la solidez de una muestra

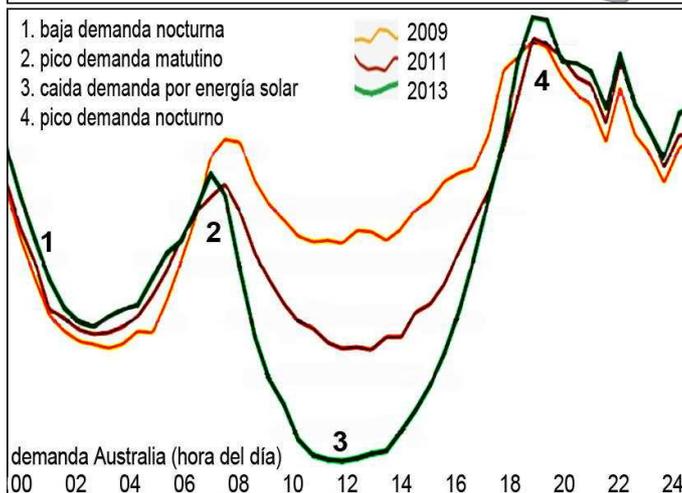
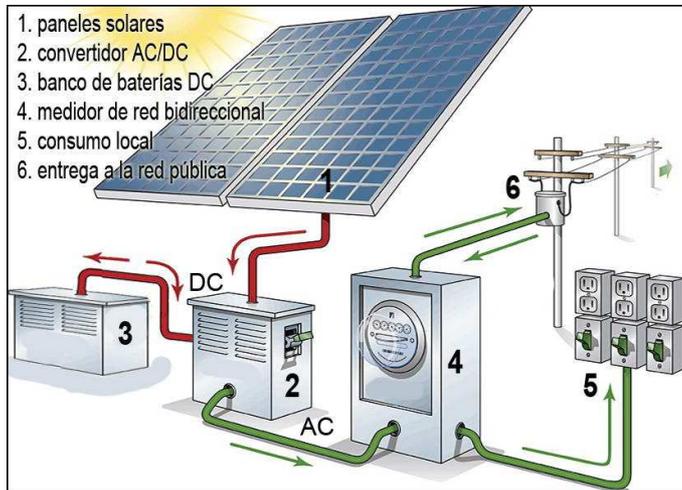
nueva respecto a cargas extremas a corto plazo. Por el contrario, los efectos relacionados con la edad aparecen a largo plazo (la fatiga del material). Para mejorar las estimaciones se analizaron los efectos de las cargas de nieve, fluctuaciones de temperatura, y ráfagas de viento que producen tensiones mecánicas y alargamiento. La muerte de una celda dentro de un panel o de un panel en un parque, afecta al conjunto y la acumulación del problema puede llevar a la paralización completa del servicio. Se encontró que cuanto mayor sea la temperatura, más pronunciadas son las oscilaciones del panel. La frecuencia de resonancia aumenta con la vejez debido a que los materiales plásticos se vuelven rígidos y frágiles por la radiación UV. Solo el paso del tiempo permitirá tener información estadística fiable.

**11. Los paneles deben reciclarse al fin de la vida útil.** En Europa, la industria estableció un sistema de recuperación y reciclado de paneles solares. Se puede recuperar hasta el 95% de ciertos materiales semiconductores y el vidrio, así como metales ferrosos y no ferrosos. La mayoría de los fabricantes trabajan con celdas de silicio cristalino que casi no contienen metales pesados y las soldaduras apenas usan plomo. En tanto, las celdas de telururo de cadmio, son de bajo costo pero contienen cadmio, que es tóxico y debe ser procesado con cuidado. El fabricante (Firstsolar) asegura que es inofensivo en el compuesto empleado. Desde 2010 una conferencia europea reúne a productores, recicladores e investigadores para debatir el futuro del reciclaje de los módulos fotovoltaicos. La legislación obliga al fabricante al reciclado, pero el proceso sufre el problema "del huevo y la gallina". No hay suficientes sitios para reciclar viejos paneles solares, y no hay suficientes paneles solares para que el reciclaje sea atractivo.

**12. El cambio en el uso de la tierra.** Hay quienes señalaron que la expansión de la ESFV en grandes parques puede complicar los esfuerzos para preservar el hábitat silvestre. Para determinar la magnitud del cambio de uso de la tierra se analizaron 4 escenarios para el año 2040: (1) un escenario sin cambios al actual; (2) uno con aumento de combustibles fósiles (gas natural) motivado por las técnicas no-conventionales (p.e., fracking en Vaca Muerta); (3) un recorte en el uso de combustibles fósiles y (4) un año 2040 solo con energías renovables. Se evaluó la cantidad de espacio requerido en cada caso (incluyendo infraestructura, carreteras, y líneas de transmisión). Se fijó una unidad en común: km<sup>2</sup>/TWh (kilómetros cuadrados necesarios para generar un TeraWatt.hora de energía). El valor de energía global requerido en el 2040 será cercano a los 250.000 TWh como suma de todos los tipos de energías. La opción (4) entregó el mayor valor de superficie requerida: 250.000 km<sup>2</sup> para alimentar a todo el planeta (Uruguay tiene 176.000 km<sup>2</sup>). Se suman las áreas destinadas a parques solares y eólicos. Si bien es el mayor, se trata de un cambio de uso de la tierra que es eterno; en el mismo lugar se renovarían los equipos, pero la superficie se mantendrá. La opción siguiente fue la (3) con 200.000 km<sup>2</sup> y la (1) con 190.000 km<sup>2</sup>. La opción (2) es la que menos ocuparía, con 175.000 km<sup>2</sup>. Pero, pasado el 2040 se requieren nuevas superficies cuando se acaben las reservas de combustibles fósiles en los lugares explotados; por lo que a largo plazo es la peor opción. La opción (4) puede generar más energía en el futuro en la misma superficie, en la medida que se hace un upgrade de tecnología con más rendimiento. La energía eólica puede compartir el uso de la tierra con la agricultura, pero la ESFV, no. Sin embargo, pueden usarse terrenos degradados o de muy baja calidad en cualquier lugar, cosa que no ocurre en la energía eólica. La eólica puede aprovechar las costas de mar en Patagonia, pero se necesita la red de transporte eléctrica. Muchas comunidades agrícolas de Europa, donde la tierra escasea, se han negado a la implantación de grandes granjas solares. En otros lugares, donde el paisaje tiene un valor importante se quejan de las instalaciones eólicas. La compatibilidad entre ESFV y el uso de la tierra debe ser tenida en cuenta.

**13. La competencia con la vida silvestre y los alimentos.** En California, donde se proyectaron innumerables parques solares, se estudiaron 161 proyectos y se aplicó un mismo algoritmo para determinar el grado de compatibilidad con el ambiente. Primero se clasificó la zona en 10 categorías (desarrollada, estéril, agricultura, hábitats salvajes, etc.); se analizó la tecnología (fotovoltaica o de concentración térmica) y la proximidad a infraestructura existente o tierras protegidas. Se encontró que solo el 15% estaban en zonas compatibles. La gran mayoría fueron diseñados en zona de matorral o monte bajo, que son puntos calientes de biodiversidad (*hotspot*). La segunda área más común eran las tierras agrícolas, por lo que compiten con los alimentos. El estudio concluyó en una falta de pensamiento holístico en los proyectos solares. El estudio priorizaba las zonas ya

desarrolladas o alteradas, frente a las naturales o aquellas que perturban los recursos de agua. La amplia mayoría se encontraban a menos de 10 km de zonas protegidas (demasiado cerca se considera que puede tener efectos nocivos). Se concluyó que el desarrollo de ESFV a gran escala en los techos de galpones y fábricas no perturba el hábitat y no sustituyen tierras de cultivo. Además están cerca de infraestructura eléctrica disponible. Otra buena opción es construir en tierras degradadas o contaminadas sin capacidad de recuperación. Una consecuencia desprevénida ocurrió en uno de los grandes parques solares donde se encontró que los patos chocaban con los paneles fotovoltaicos. Se presume que el reflejo del cielo los lleva a confundirlos con lagunas.



El diagrama de una instalación domiciliar incluye la posibilidad de entregar el exceso de generación hacia la red pública (arriba). Este exceso de energía solar reduce la demanda en las horas del día, pero se mantiene durante la noche (abajo). Esto crea un conflicto en la red de distribución, donde los picos de la curva consumo vs tiempo (llamada "curva de pato") determinan las inversiones en infraestructura de transporte.

**14. Los techos generan una energía limitada.** Los sistemas de autoconsumo en los techos de las casas no consumen tierra, como los grandes parques. Pero, como la eficiencia de las celdas solares es baja, la capacidad de generar energía no es suficiente para un hogar. En promedio, se requieren 8-12 m<sup>2</sup> por cada kW de potencia. Este valor depende de la zona de instalación, la orientación, los obstáculos y de la eficiencia de las celdas (15-25% en las celdas comerciales). Por ejemplo, el techo de una casa podría disponer de 30 m<sup>2</sup> para generar energía; lo que equivale a 3 kW de potencia. Con un valor promedio diario de 3 horas de irradiación (horas de luz, inclinación solar, días sin sol), entregaría 300 kWh/mes promedio. Suficiente para un hogar sin aire acondicionado y con responsabilidad en el consumo. La climatización del hogar debe encararse con otras alternativas (desde una red externa). Aun así, hay pueblos en Alemania que se independizaron de la red combinando sistema ESFV con eólicos y biomasa.

Alemania poseía 183 GW de potencia instalada en el 2015 y los objetivos de la *Energywende* indican que la energía eléctrica debe ser cubierta en un 40-45% mediante energía renovable en el 2025. En paralelo, se propone reducir

el consumo en 10% en el 2020 respecto del 2008. Estos objetivos solo pueden materializarse gracias a millones de actores que generan y demandan en forma reversibles. Es la *Bürger-energie* (ciudadanía energética). En el 2012 en Alemania los puntos de generación de energía eran 1,3 millones (hogares y pequeñas cooperativas) con un total del 22% de la energía eléctrica del país. Tenía 33 GW de ESFV y un domingo de sol llegaban a generar el 60% del consumo. Un techo no genera mucha energía, pero, ¿Qué pasa cuando son millones?

**15. La autogeneración tiene un costo económico inicial elevado.** Entre el 2001 y 2012 la producción de celdas solares se duplicó cada 2 años. Si la tendencia pudiera continuar llegaría al 10% del consumo energético mundial en el 2018 y al 100% en el 2027. En tanto, el coste de las celdas de silicio cristalino descendió desde 76 us\$/Watt en 1977 a 0,74 en 2013 (100 veces menos en 35 años). Se estima que los precios descienden un 20% cuando se duplica la capacidad de la industria (la "Ley de Moore"). El requerimiento de baterías puede ser una objeción de importancia desde el punto de vista ambiental y económico, ya que necesitan reciclarse cada 5 años. Cuando la instalación se realiza en una casa particular, el costo inicial debe incluir la implementación mecánica. En Argentina se puede estimar en 4 dólares por watt el costo total de equipos e instalación de celdas, baterías y electrónica (dato del 2016). El costo final depende de otras variables: necesidad total de energía; artefactos instalados; disponibilidad de alternativas convencionales. Puede estimarse que la mitad de los costos actuales evolucionan a la baja o a la mejora en eficiencia.

**16. Existe un riesgo tecnológico.** La evolución tecnológica es un riesgo para cualquier implementación que espera vivir 25 años. Un sistema mejor y más barato está por salir el año próximo, cualquiera sea el año. Es imposible trasladar la experiencia en computadoras a este mercado, ya que el recambio tecnológico en electrónica es de 2-3 años. Esta barrera de "esperar la próxima generación" solo se supera con la decisión de actuar en beneficio del ambiente. Si solo se observa el aspecto económico se encontrarán argumentos para esperar. Este aspecto se enlaza con la excusa negacionista: "no actuaré solo, solo actuaré si otros actúan, actuaré solo si todos actúan".

**17. La sustentabilidad social.** El empleo que genera la ESFV se divide en la investigación-fabricación, y en instalación-mantenimiento. Por ejemplo, un parque eólico marino requiere 0,23 empleos-año por cada GWh generado. Una central térmica (carbón o gas natural) tienen un valor de 0,11 y una central nuclear 0,14 empleo-año/GWh. La ESFV de autoconsumo (en los techos de las casas) requiere 1,42 unidades de empleo por unidad de energía, usa 10 veces más mano de obra que el resto. A cambio, reduce las exigencias sobre una red eléctrica de distribución. Desde el punto de vista social, la ESFV genera una sustentabilidad laboral distribuida en el territorio y no concentrada. En Inglaterra se empleó a 14.000 personas en 2013, lo que equivalía a 20 puestos de trabajo por cada MWh instalado. En Estados Unidos la necesidad de empleo fue más del doble que cualquier otra fuente de energía renovable. La ESFV puede ayudar al crecimiento de las economías locales, generar puestos de trabajo locales y aumentar el gasto local. También, puede proporcionar un baluarte contra la pobreza energética mediante actividades en cooperativas eléctricas e instalaciones para vivienda social. Puede verse como una fuerza democratizadora en el sistema de suministro de energía.

**18. Los paneles refrigeran los techos.** El uso de imágenes térmicas permitió determinar que durante el día el techo de un edificio estuvo 3 °C más frío debajo de paneles solares que con el techo expuesto. Por la noche, los paneles ayudan a mantener el calor y reducir la calefacción. Se calculó que el ahorro en climatización durante la vida útil, equivalía al 5% del valor del proyecto solar. El beneficio aumenta si existe una separación por donde circula el aire para refrigerar el techo, por lo que los paneles inclinados proporcionan más refrigeración que los colocados directamente sobre el techo. Durante los días de invierno, los paneles impiden que el sol llegue al techo, lo cual entorpece la climatización interior. Pero, también impiden la pérdida de calor durante la noche. Este efecto de los paneles solares sobre la climatización requiere estudios más detallados en cuanto hace al ahorro y la forma de ensamblarlo a los techos verdes.

**19. La autogeneración y los problemas en la red pública.** Donde está disponible, el programa de "medición neta de energía" permite a los

propietarios recibir un dinero por el exceso de energía que producen y vuelcan a la red. Una casa consume energía de la red por la noche y la compensa en parte durante el día. La conexión desde el hogar a la red requiere medidas de seguridad especiales ya que cada hogar conectado se convierte en un generador de 220 Volt y que alimenta a los vecinos. Además la corriente alterna AC debe tener una frecuencia y fase igual a la red de distribución. En Argentina, la provincia de Santa Fe fue primera en legislar el sistema distribuido de energía renovable (2013) y siguieron Salta y San Luis (2014). La firma de servicios financieros Barclays rebajó la calificación de todo el sector de la electricidad de Estados Unidos en 2014, en parte por la competencia de la energía solar distribuida y almacenamiento en baterías. Sin embargo, la reducción de ingresos de las empresas eléctricas no las libra de la responsabilidad de mantener la red de distribución, lo cual es un problema a resolver.

debió en parte a la falta de flexibilidad en el sistema. Algunas fuentes renovables se pueden desconectar de la red, pero las nucleares y plantas a carbón no se pueden apagar rápidamente, siendo preferible perder la energía que apagar y reiniciar los generadores. En Dinamarca los picos de energía eólica en julio del 2015 llegaron al 140% de las necesidades de la nación nórdica. En Noruega se acumulará el exceso de generación renovable de Alemania y Dinamarca en las represas hidroeléctricas: se cargan durante las horas de sol y se descargan en la noche. La red de transporte es bidireccional.



paneles solares de Mir luego de colisión con Progress-M34 (sept. 1997)

Problemas en la vida real de los paneles solares (ii). Los fuertes vientos pueden derrumbar los soportes o golpear los paneles y romperlos (arriba). La colisión de la Estación Espacial Mir con la Progress M-34 en 1997 destruyó algunos paneles solares.

**Problemas en la vida real de los paneles solares (i).** La suciedad de polvo acumulado y las heces de aves, reducen la eficiencia (arriba). Una capa de nieve puede causar un apagón de las celdas solares, pero a veces la nieve ayuda a las células solares. Cuando la luz solar se refleja en la nieve cercana, las celdas pueden generar energía desde la luz difusa. Un estudio en Ontario (Canadá) indicó que las pérdidas de potencia son mínimas. Otro problema son los cortocircuitos e incendios, en algunos casos producidos por la mordedura de roedores.

**20. La ESFV tiene un techo de generación.** Puede existir un límite económico al crecimiento de la ESFV. Como tiene un momento preciso de generación, cuanto más se inyecta a la red, menos vale la energía. La energía solar compite con sí misma, bajando el precio que las empresas energéticas están dispuestas a pagar a los generadores en la hora pico. Una solución es el uso de almacenamiento (público o privado) para reducir el pico de consumo nocturno. Solo una red mundial que genere las 24 hs del día puede dar a la ESFV la posibilidad de llegar a satisfacer el 100% de la demanda. Un ejemplo extremo fue el domingo 8 de mayo de 2016 en Alemania. Ocurrió por primera vez que la suma de energías renovables (54.6 GW) llegó al 80% del consumo (68.4 GW). Como resultado el precio de la energía se desplomó y fue negativo, tocando fondo a las 13hs. Los proveedores de energía llegaron a pagar para que los consumidores tomaran energía desde una red fuera de control. La razón de este precio negativo se

**21. La ESFV puede acelerar la demanda global.** La instalación de sistema domiciliarios puede generar energía "gratis" y esto llevar a un aumento del consumo. La "Paradoja de Jevons" dice que toda mejora en la generación de energía impulsa a las formas de consumirla. El aumento de generación de energía limpia no debe hacer olvidar que el objetivo final es reducir el consumo. Si deseamos reducir la huella energética no basta con reemplazar los combustibles fósiles, debe reducirse el consumo global de energía, aun la limpia. Cualquier estrategia de conservación de energía es mejor que el desarrollo de energía renovable adicionales. La ESFV es tolerada porque se compara con las energías fósiles, pero no debe soslayarse el "lado oscuro" de esta tecnología. La ESFV necesita tiempo para llegar a un estado de energía (realmente) verde. Pero la ESFV de autogeneración puede ser la única alternativa para el despliegue de los automóviles eléctricos, donde las actuales redes de energía locales están saturadas y las inversiones se hacen en cámara lenta.

**22. La ESFV obliga a una red de distribución inteligente.** Las empresas de servicios públicos (*Public-Utility*) son empresas que mantienen la infraestructura a cambio de la exclusividad. Están sujetas a regulación y control público. Se refiere a electricidad, gas, agua potable, etc. Las empresas de electricidad estarán obligadas a implementar una nueva "red inteligente" (*Smart-Grid*) de forma de absorber a los usuarios que generan

energía. La red inteligente es una forma de reducir la necesidad de almacenar energía. En lugar de ajustar el suministro a la demanda, una red inteligente ajustaría la demanda para mantenerla casi constante. Los usuarios generadores obligan a pensar en una red con flujo de energía bidireccional, una topología flexible y el almacenamiento distribuido. Las estrategias de red inteligentes no están aún cerradas. Por ejemplo: (1) se pueden segmentar consumidores en sectores autónomos; (2) incorporar informática descentralizada para administrar la carga de cada sector; (3) comunicar de cada consumidor con la red para hacer ajustes anticipados; (4) incorporar unidades de almacenamiento para estabilizar la generación y demanda; (5) cambiar la configuración de la red en forma autónoma; (6) usar políticas tarifarias que nivelen el consumo de energía eléctrica. Para algunos, estas acciones generan preocupaciones sobre la privacidad y el uso de la información sobre el consumo de un hogar; sobre la disponibilidad equitativa de la electricidad; el uso de tasas variables complejas inentendibles para el usuario; la incorporación de tecnología para el control a distancia de los medidores inteligentes; problemas de seguridad contra ataques cibernéticos; etc. La industria piensa en redes eléctricas con capacidad para comunicarse entre todos los puntos (como en Internet); el uso de predicción del tiempo (nublado, vientos) para anticipar quien requerirá energía y quien podrá entregarla. Las empresas eléctricas deben invertir en sistemas inteligentes y elevarán el costo de la energía al usuario final, quienes culparán a las empresas, aumentando el deseo de autoalimentarse (hace años que ocurre en Alemania). Un problema importante es que las redes son muy inerciales, las innovaciones aparecerán solo en las nuevas inversiones con décadas de retraso.

**23. La ESFV se adapta a las plataformas para intercambio energético.** La plataforma holandesa Vandebron tenía en el 2015 más de 38.000

suscriptores. Los consumidores pagan una cuota mensual para poder contratar directamente a los proveedores de energías limpias por una cantidad fija durante un período determinado. Los consumidores pueden elegir su proveedor energético y los productores pueden fijar sus propios precios. La plataforma británica Open Utility conecta consumidores (solo comerciales) con productores. La plataforma norteamericana Yeloha hace lo mismo otorgando créditos a los generadores de energía renovable a la red eléctrica. La plataforma alemana Sonnenbatterie permite comprar y vender energía que se incorpora a un sistema de almacenaje energético. Cuando los suscriptores generen más energía de la que pueden gastar el software la incorporará a la reserva de energía disponible. Los consumidores pagan menos que a las empresas de electricidad, pero más que la tarifa de inyección. Sonnenbatterie utiliza un precio fijo, pero otras plataformas permiten negociar el precio. Los sistemas basados en la oferta y demanda podrían evitar los problemas del balance neto.

**En suma.** Cuando se presentan los distintos aspectos que relacionan a la ESFV con la vida real, nos encontramos con una nube interdisciplinaria que excede largamente los aspectos tecnológicos y que requiere la intervención de las ciencias sociales y ambientales.

Documento elaborado por el Ing. Roberto Ares (2016).