



**¿Brilla el Sol para Todos?:
Paradojas Verdes de las Cadenas Solares
Fotovoltaicas en Puerto Rico**

Maribel Aponte García¹

Serie Crecimiento Verde e Inclusivo
Working Paper #177
Septiembre 2015

ISSN 2222-4823

Con el apoyo de:



¿Brilla el Sol para Todos?: Paradojas Verdes de las Cadenas Solares Fotovoltaicas en Puerto Rico

Convocatoria LATN: “CADENAS DE VALOR Y SOSTENIBILIDAD EN AMÉRICA LATINA”

Maribel Aponte García¹

Palabras clave: Puerto Rico - Energía fotovoltaica – Paradoja verdes – Crisis energética – Cadena de valor

Keywords: Puerto Rico – Photovoltaic energy – Green paradox – energetic crisis – Supply chain

¹ Centro de Investigaciones Sociales y Escuela Graduada de Administración de Empresas; Universidad de Puerto Rico. Maribelapontegarcia@gmail.com

Abstract:

El objetivo general de esta investigación es analizar la cadena de valor de los sistemas fotovoltaicos en Puerto Rico, contextualizando el análisis en las paradojas verdes (económica, social y ambiental) y las alternativas a éstas. Dichas paradojas imponen retos para el futuro de la energía solar. El diseño de la investigación integró tres componentes y métodos mixtos. Un primer componente es la presentación del concepto general de la cadena de valor, los modelos de negocios solares y las paradojas verdes. Un segundo componente es el del Estudio de Caso Múltiple. Un tercer componente es el del análisis cuantitativo de los datos. Se utilizaron métodos cuantitativos descriptivos para compilar datos sobre la cadena fotovoltaica de Puerto Rico. El caso estudiado muestra las paradojas comunes y los retos de políticas públicas para el avance de las cadenas solares fotovoltaicas como sistemas verdes e inclusivos.

Introducción

El objetivo general de esta investigación es analizar la cadena de valor de los sistemas fotovoltaicos en Puerto Rico, contextualizando el análisis en las paradojas verdes y las alternativas a éstas. Este trabajo se enmarca en el proyecto de la Red LATN (*Latin American Trade Network*) que analiza las posibilidades y los desafíos para alcanzar un crecimiento verde con inclusión social en América Latina.

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Las celdas solares fotovoltaicas se definen como "dispositivos basados en silicio y semiconductores que generan electricidad cuando se exponen a la luz solar" (Lorenzo, 1994; Camarota, 2011). Dado que la industria solar fotovoltaica está constituida por las empresas cuya actividad principal es la producción y aplicación de tecnologías solares fotovoltaicas eléctricas (Camarota, 2011: 23), la cadena de valor de dichos sistemas puede establecer vínculos importantes con la sustentabilidad, la inclusión y el crecimiento de las pequeñas y medianas empresas.

El desarrollo de celdas solares fotovoltaicas comenzó en la década de 1960 como parte de los programas espaciales estadounidenses y ruso y, posteriormente, la tecnología se adaptó para satisfacer las necesidades de edificios remotos y aplicaciones fuera de la red (Tester *et. al.*, 2005). La industria de la energía solar fotovoltaica surgió en 1970 en respuesta a la creciente necesidad de electricidad generada a partir de fuentes renovables y no contaminantes, impulsando aún más la evolución para satisfacer las necesidades de los hogares y las empresas (Tester *et. al.*, 2005).

La industria de energías renovables cobra más importancia en el siglo 21 a medida que los combustibles fósiles se agotan. A las tasas de consumo actuales, el planeta cuenta con petróleo para cuarenta años y con gas suficiente para 55 años. El uso continuado de combustibles fósiles resultará en niveles de emisiones de gases de efecto invernadero que van a cambiar el clima global (Patterson, 2007; Camarota, 2011).

La cadena de valor de sistemas solares fotovoltaicos se caracteriza por tres paradojas verdes. La primera es la ecológica, ya que la industria utiliza y promueve un producto verde pero la tecnología no es verde. La segunda es la económica, ya que la energía del sol es gratis pero la adopción de sistemas fotovoltaicos es cara y entonces no redundaría necesariamente en una alternativa incluyente para los pobres. La tercera es la política, ya que aunque el sistema político y corporativo debería estar sesgado hacia la energía renovable, éste favorece la energía de combustibles fósiles afectando la incorporación de la energía solar a la matriz energética de los países, además de obstaculizar el beneficio potencial de inclusión social.

El diseño de la investigación integró tres componentes y métodos mixtos. Un primer componente es la presentación del concepto general de la cadena de valor, los modelos de negocios solares y las paradojas verdes. El concepto de las cadenas de valor se integró con el abordaje de la evaluación del ciclo de vida del producto. Este componente fue el resultado de la revisión de literatura.

Un segundo componente es el del Estudio de Caso Múltiple. Esta investigación recoge los hallazgos del estudio de dos empresas dentro del sector de energía solar, ambas localizadas en Puerto Rico. Inicialmente se llevaron a cabo entrevistas semi-estructuradas de tres empresas: dos dedicadas a la energía solar fotovoltaica y una dedicada a la

distribución de los compactadores solares de basura.²

Los dos casos escogidos se ubican en el tipo de empresa solar que establece lo que se denominan los sistemas fotovoltaicos interconectados de generación de electricidad. Estos sistemas se instalan en estructuras o terrenos y se conectan a la red de electricidad de energía operada por el gobierno. El primer caso es el de Solartek, Inc., una empresa de propiedad individual del ingeniero Gerardo Cosme dedicada a la fase de diseño e instalación de sistemas solares y pionera del sector en Puerto Rico. El segundo caso es el del Grupo Ciro, una empresa local que articula alianzas con empresas extranjeras para establecer una finca solar para generar y venderle energía al gobierno de Puerto Rico.

Un tercer componente es el del análisis cuantitativo de los datos. Se utilizaron métodos cuantitativos descriptivos para compilar datos sobre la cadena fotovoltaica de Puerto Rico. Además, se analizaron los datos de importaciones y exportaciones utilizando las bases de USA Tradeonline y de la Compañía de Comercio y Exportación de Puerto Rico. Se aplicó la categorización de Wind (2009) para identificar todos los códigos del Sistema Armonizado de Tarifas 2007, relacionados con los distintos componentes de la cadena de valor solar fotovoltaica. La codificación provista por la Organización Mundial del Comercio y el Banco Mundial. Luego se aplicó la metodología original desarrollada por esta autora (Aponte García, 2011) para analizar las cadenas.

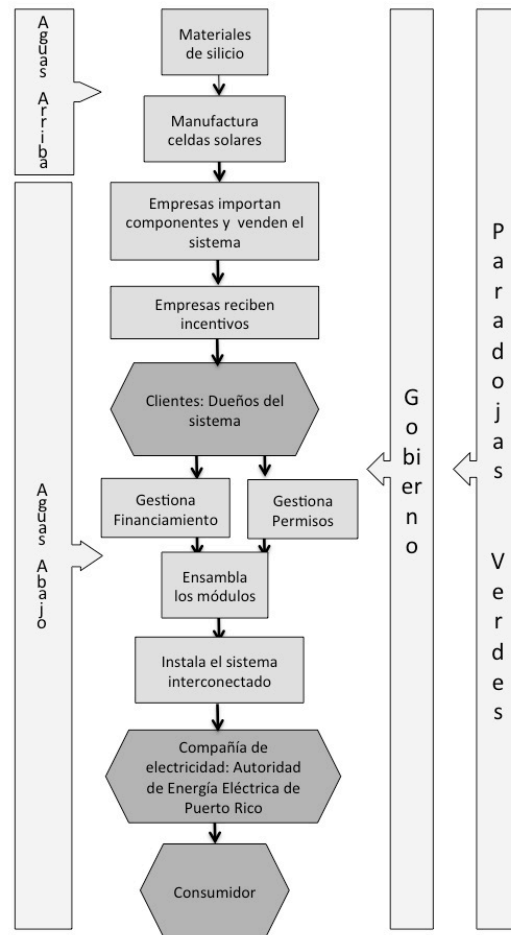
El trabajo se divide en cinco secciones a partir de esta Introducción: la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica; la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica en Puerto Rico; las paradojas verdes; las alternativas a las paradojas verdes; y las conclusiones.

La Cadena de Valor de los Sistemas Solares Fotovoltaicos

Los componentes aguas arriba y aguas abajo de la cadena de suministro de productos fotovoltaicos incluyen desde la entrada del material de silicio en bruto hasta la instalación del sistema final (Frantzis *et. al.*, 2008). El Diagrama 1 ilustra los componentes básicos de la cadena de sistemas fotovoltaicos. En la sección sobre Puerto Rico, este diagrama se aplicará para analizar los casos de Solartek y del Grupo Ciro.

² No se incluyó el caso de los compactadores por dos razones: la cadena de valor es bastante diferente y el caso de energía solar fotovoltaica ejemplifica mejor todas las complejidades de la cadena que queríamos destacar en la discusión de la sustentabilidad y la inclusión.

Diagrama 1 Los componentes básicos de la cadena de sistemas fotovoltaicos y las paradojas



Nota: Los rectángulos representan actividades de la cadena de la empresa solar fotovoltaica. Los hexágonos representan otros actores o instituciones con los cuales la empresa interactúa.

Fuente: Elaboración propia en base a Frantzis *et. al.* 2008: 4-1, 4-2. Disponible electrónicamente en <http://www.osti.gov/bridge>.

El diagrama incluye las tres paradojas verdes y el impacto del gobierno a lo largo de la cadena.

La cadena aguas arriba está constituida por dos componentes, la manufactura de los materiales de silicio y la manufactura de celdas solares. La cadena aguas abajo incorpora los siguientes eslabones: la importación de los componentes y la venta de sistemas; el diseño y el ensamblaje de los módulos, la gestión de financiamiento y permisos; el componente del distribuidor y del instalador del sistema fotovoltaico; el/la dueño/a del sistema, la compañía de electricidad y el consumidor.

Los componentes de la cadena aguas abajo están en manos de diversos modelos de propiedad y de operación de sistemas fotovoltaicos, que incluyen al usuario final. Para mayor claridad, cada elemento de la red de valor se muestra por separado, pero muchos podrían combinarse. En particular, el propietario del sistema y el consumidor final pueden ser la misma entidad. El instalador del sistema puede asumir un rol en las

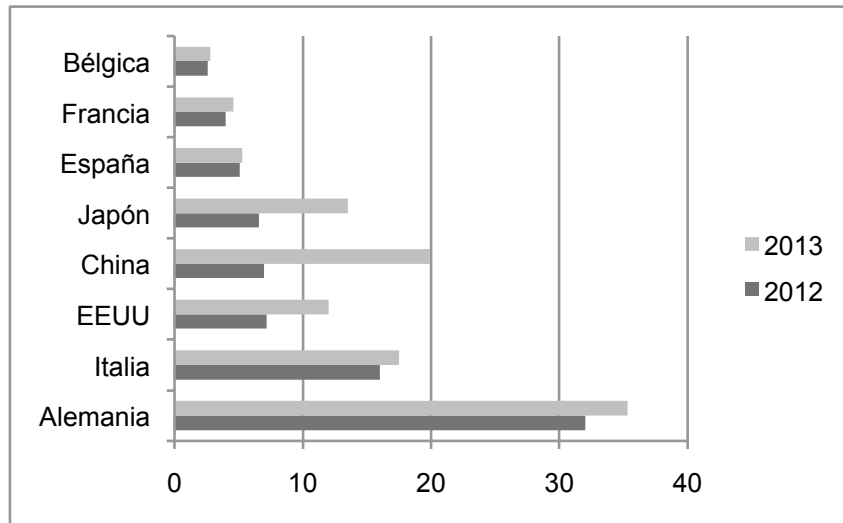
operaciones de la propiedad o puede proporcionar otros servicios. Del mismo modo, un participante de la cadena puede proporcionar la instalación fotovoltaica o también ofrecer servicios, por ejemplo, mediante la solicitud de permisos de construcción del gobierno local y los incentivos del gobierno estatal (Frantzis, *et.al.* 2008).

El dueño del sistema puede ser una familia, una empresa o un gobierno. La compañía de electricidad mantiene relaciones con el dueño del sistema en algunos casos. Estas relaciones se afectarán dependiendo si la compañía de electricidad es pública o privada, si es un monopolio o si en una región operan muchas empresas privadas.

Finalmente, el consumidor representa en algunos casos al dueño del sistema solar fotovoltaico. En otros casos, el consumidor se beneficia de la operación de los otros dueños del sistema en la medida que éstos le venden el exceso de la energía solar a la compañía y está le trasfiere el beneficio de precios más bajos al consumidor.

En el mundo, Europa y los Estados Unidos, y más recientemente China y Japón lideran el proceso en la capacidad fotovoltaica instalada (Gráfico 1).

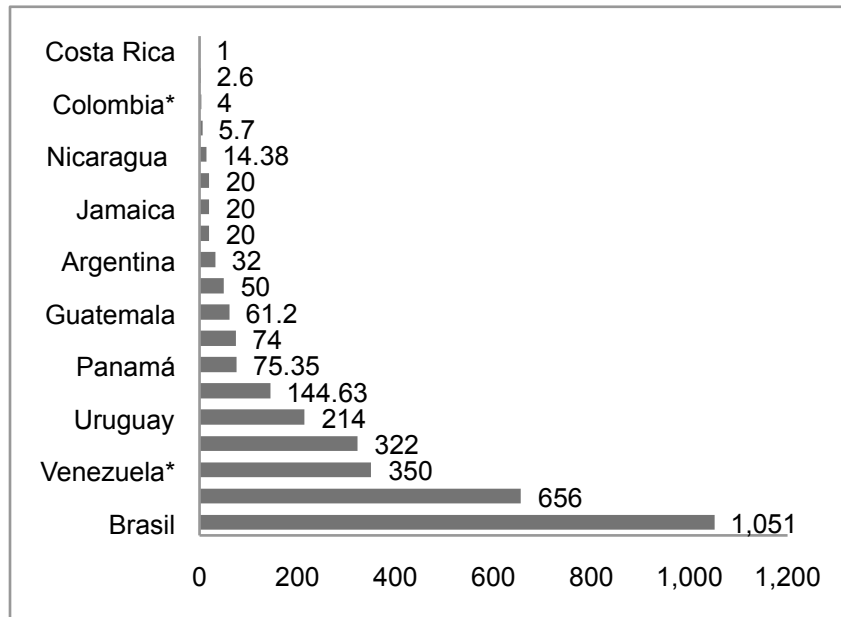
Gráfico 2 Capacidad Solar Fotovoltaica Instalada. En Gigavatios, Selección de Países



Fuente: Elaboración propia y de Yarlier Y. López Correa sobre la base de: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_KeysFindings_low%20res.pdf - <http://peakenergy.blogspot.com/2014/08/solar-power-installations-jump-to-new.html>

Aunque América Latina y el Caribe (ALC) muestran datos muy por debajo de las demás regiones, la capacidad de energía solar fotovoltaica está creciendo en la región y ahora supera los 22 GW de proyectos en todas las fases del desarrollo (Gráfico 2). Durante los próximos cinco años, se instalarán aproximadamente 9 gigavatios (GW) de proyectos, 1 GW de proyectos ya están en construcción, y 5 GW de proyectos han recibido la aprobación para proceder y podría comenzar la construcción en breve.

Gráfico 3 Capacidad Fotovoltaica Instalada (o proyectada para construirse) en América Latina y el Caribe. En Megavatios, Selección de Países



Fuente: Elaboración propia y de Melanie Figueroa Benítez. * proyectada.

Anteriormente, las aplicaciones de energía solar fotovoltaica en la región de ALC se limitaban a sistemas de pequeña escala y fuera de la red, incluyendo la electrificación rural. En la actualidad, la energía solar fotovoltaica está desarrollándose mediante proyectos a gran escala, principalmente en Brasil y Chile. Muchos de estos proyectos están siendo desarrollados por empresas internacionales, incluyendo las principales empresas con sede en EE.UU., First Solar, Sun Power y Sun Edison y desarrolladores europeos como Mainstream, Enel, y Solaria.. Puerto Rico aparece en el Gráfico 2 con una capacidad de 74 MW, mostrando un número respetable para una isla pequeña, aunque parte de esta capacidad es proyectada (aún no instalada).

El estudio de la cadena de valor de sistemas fotovoltaicos en un país del Caribe puede arrojar perspectivas sobre las relaciones entre el establecimiento de la misma y la sustentabilidad que puedan ser de utilidad para la región. Aunque el crecimiento y la inversión en la cadena de abastecimiento aguas arriba son actualmente un foco importante de la industria, este trabajo se centra en los componentes aguas abajo de la cadena --cualquier actividad a partir del ensamblaje de los módulos- debido a que en Puerto Rico no se manufacturan celdas solares.

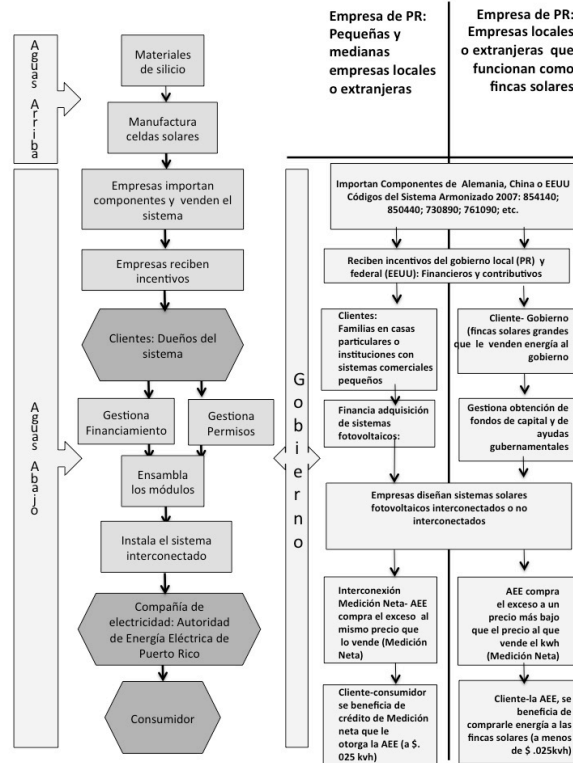
La Cadena de Valor de los Sistemas Solares Fotovoltaicos en Puerto Rico

Esta sección incluye una discusión de la caracterización; el marco regulatorio en Puerto Rico; las empresas, los eslabones, y las actividades económicas que conforman la cadena de valor, y algunas consideraciones sobre la economía de la cadena.

Caracterización

El Diagrama 2 ilustra la caracterización de la cadena solar fotovoltaica en Puerto Rico:

Diagrama 2. La cadena de Sistemas Solares Fotovoltaicos en Puerto Rico



Fuente: Elaboración propia

Los sistemas fotovoltaicos funcionan muy bien en Puerto Rico, ya que la isla está localizada en una zona de alta radiación solar, donde el recurso global horizontal promedio anual solar es de 5,5 kwh / m² / día (Salasovich y Mosey, 2011). Este número, sin embargo, no es la cantidad de energía que puede ser producida por un panel fotovoltaico, ya que ésta depende de varios factores: el tipo de colector, la inclinación del colector, la temperatura, el nivel de la luz solar y las condiciones meteorológicas. Se requiere un inversor para convertir la corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) de la tensión deseada compatible con los sistemas de energía de construcción y de servicios públicos. El equilibrio del sistema se compone de conductores, interruptores, seccionadores y fusibles. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de alimentación del sistema eléctrico no incluyen las baterías (Salasovich y Mosey, 2011: 3).

Aunque Puerto Rico tiene este recurso gratis disponible durante prácticamente todo el año durante días largos, la isla es significativamente dependiente del petróleo y no ha promovido históricamente la utilización de energías renovables. En adición, el costo de energía en Puerto Rico es alto, con casi el doble del costo de la energía eléctrica por kilovatio hora de la de los EEUU y por lo menos un 33-50% más alta que la de sus homólogos caribeños.

Dentro del contexto de la crisis energética y de la depresión económica que experimenta el país desde hace años, la consideración de alternativas energéticas renovables se

presenta como una oportunidad de inclusión vista desde la posibilidad de acceder a la electricidad a precios más bajos. A ello se suma la compleja situación financiera que confronta la entidad pública dueña de los servicios y de las operaciones de energía eléctrica.

En Puerto Rico existen dos tipos de empresas solares fotovoltaicas: las pequeñas y medianas empresas locales o extranjeras que diseñan e instalan los sistemas solares fotovoltaicos para hogares o instituciones; y las empresas locales o extranjeras que funcionan como sistemas comerciales grandes o fincas solares. Las fincas solares le venden la energía al gobierno de Puerto Rico.

La Tabla 1 presenta la lista de las empresas de la cadena solar fotovoltaica establecidas en Puerto Rico, distinguiendo si estas empresas son fincas solares o no, locales o extranjeras. Todas estas empresas operan en los eslabonamientos aguas abajo de la cadena.

Tabla 1 Empresas establecidas en Puerto Rico, cadena Solar Fotovoltaica (selección)

Nombre de Compañía	Local/ Extranjera	Referencia
Fincas Solares		
AES Ilumina	Extranjera	http://newsismybusiness.com/aes-ilumina-powers-up-guayama-solar-energy-farm/
Ciro Energy	Local/Extranjera	http://sincomillas.com/construyen-parques-solares-en-salinas-y-guayama/
Coqui Power	Local/Extranjera	http://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/larga-esperaporenenergiasolar-1651478/
Windmar Renewable Energy	Local	http://www.windmarpv.com
Pequeñas y medianas empresas (no fincas solares)		
Solartek	Local	http://www.uprm.edu/news/articles/as2009132.html
Solargen	Local	http://puertoricotequero.com/cooperativa-de-energia-renovable/Cooperativa de Energía Renovable
Caribbean Renewable Technologies	Local	http://www.crtenergy.com
Asd	Local	http://www.asd-pr.com/about_us.html
Renewable & Integrated Solutions, Inc.	Local	http://www.yanopaguesluz.com
New Energy Consultants & Contractors Inc	Local	https://pr.linkedin.com/pub/new-energy-consultants/58/35b/590
Aor Solar	Local	http://www.caribbeanbusinesspr.com/prnt_ed/aor-solar-co-op-jesus-obrero-power-up-bright-agreement-10703.html
Ecologicall	Local	http://ecologicall.net/nuestra-empresa/
Energía y Sol	Local	http://www.energiaysolpr.com
Renewable Solutions	Local	www.rsenergiasolar.com
Eco Solar Solution Pr Corp	Local	http://ecosolarsolutionpr.com
Maximo Solar Industries	Local	http://www.maximosolar.com/index.php/es/
Synerlution, Inc.	Local	http://www.synerlution.com/mission
Dynamic Solar Solution	Local	http://www.dynamicsolarpr.net/
Sol Del Caribe Energy	Local	https://www.facebook.com/soldelcaribeenergy
Solares Energy Solution	Extranjera	http://www.solarispr.com/?gclid=CInht4eqpcMCFUc2gQodVKgA2g
J&J Solar Energy	Local	http://www.jjenergysolar.com
Green Energy Systems Corp	Local	http://www.greenergysys-pr.com
Solar Roots, Llc	Local	http://www.solarrootspr.com
Genesis Green Systems, Corp.	Local	http://genesissolar.com/website/nuestro-equipo-de-trabajo
Golden Solar Technologies Inc.	Local	http://www.solahartdelcaribe.com
Sun Pro Pr, Inc.	Local	http://www.sunproductspr.com/contact.htm
Apollo Renewable, Inc.	Extranjera	http://www.apollorenwable.com/about_us
Edison Energy Engineering	Local	http://www.edisonee.com
Fusion Energy Planners, Inc.	Local	http://www.fepinc.net/Sistemas.html
West Power Solutions	Local	http://www.westpowersolutions.com/about.html
Green Energy & Fuels Inc.	Local	http://www.gefpr.com/Sobre_nosotros.htm
Sunpass Energy Power, Llc.	Local	http://www.sunpassenergypower.com/services.html

Nombre de Compañía	Local/ Extranjera	Referencia
Sonnedix Solar Power Producer	Extranjera	http://www.sonnedix.com/company/vision-mission/

Fuente: Elaborado por Melanie Figueroa Benítez.

Ambos tipos de empresas importan los componentes, principalmente desde Alemania, China o los EEUU; e instalan la interconexión a la red de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE), una corporación pública que provee electricidad en Puerto Rico.

La Tabla 2 muestra las regiones de dónde provienen las importaciones de productos asociados con la industria solar fotovoltaica en Puerto Rico. También muestra el valor de las exportaciones por región.

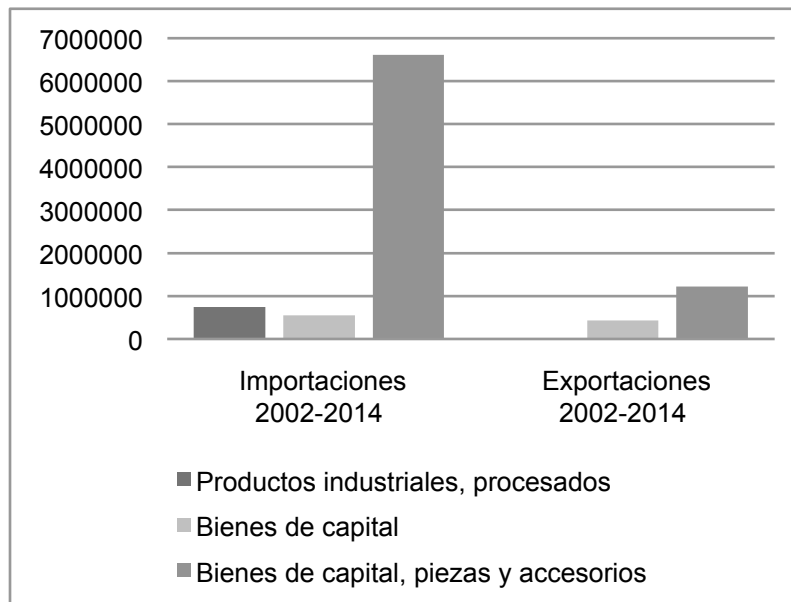
Tabla 2 Valor de las exportaciones e importaciones de Productos Asociados con la Cadena Solar Fotovoltaica, 2014. En miles de dólares a precios corrientes

Región	Valor de las Exportaciones	Valor de las Importaciones
América del Norte	22.597	292.535
Asia	1.908	46.275
Europa	8.331	11.762
América Latina y el Caribe	6.348	4.785
Total	39.184	355.358

Fuente: Elaboración propia en base a datos de <https://servicios.comercioyexportacion.com>.

El Gráfico 3 muestra las importaciones y las exportaciones de Puerto Rico de productos asociados a la cadena de valor de sistemas fotovoltaicos. Parte de estas importaciones son destinadas a las empresas que se analizan en este trabajo. En general, estos datos corresponden al componente de insumos aguas arriba en la cadena de los sistemas solares fotovoltaicos en Puerto Rico.

Gráfico 4 Puerto Rico - Importaciones y exportaciones de productos asociados con la cadena de valor de sistemas fotovoltaicos, En miles de dólares, a precios corrientes



Fuente: Elaboración propia en base a USATRADEONLINE y artículo de Wind (2009).

En el área de financiamiento existen tres modalidades. La empresa local o extranjera puede financiarle a un cliente la adquisición de un sistema fotovoltaico y brindarle servicio a lo largo de la vida útil del sistema. La segunda modalidad es que el cliente consiga el dinero o el financiamiento por su cuenta y contrate a una empresa solar para que diseñe y monte el sistema. La tercera modalidad es que las empresas vinculadas a las fincas solares o a los sistemas comerciales grandes consigan el capital mediante emisión de acciones u obtención de fondos federales o locales.

Los bancos locales y las Cooperativas de Ahorro y Crédito proveen una oferta variada de préstamos para que los consumidores. Sin embargo, no poseen un producto especial para el financiamiento de sistemas fotovoltaicos.³ Al menos una cooperativa, Camuy Coop, ofrece préstamos para proyectos fotovoltaicos menores de 15 KV a instalarse en residencias.

La otra modalidad existente en Puerto Rico es la de empresas dentro del sector de energía solar fotovoltaica que proveen los paneles, la instalación y el mantenimiento. El cliente le compra la energía directamente a estas empresas (ej. Sunnova). Las empresas se convierten en el proveedor principal de energía para la residencia. La compañía provee el equipo gratis y el cliente le paga a la compañía por un término establecido de 20-25 años. Por último, existe la modalidad donde la compañía ofrece financiamiento a largo plazo combinando las ventajas del programa local de medición neta y los incentivos del Fondo de Energía Verde para proveer entre un 70% a un 100% de los costos del equipo. Este tipo de empresa, como Sculler Energy, también ofrece financiamiento para proyectos comerciales de energía solar.

³ Información obtenida mediante llamadas telefónicas a cooperativas de ahorro y crédito y bancos locales.

En todos los casos, las empresas son las que diseñan los sistemas. Estas pueden subcontratar algunos componentes de la cadena tales como la instalación, o pueden internalizar componentes como en el caso de las fincas solares.

Los clientes pueden ser familias que interesen el sistema para producir y consumir la energía que generen en casas particulares o en instituciones comerciales pequeñas. En el caso de las fincas solares, el cliente es el gobierno, específicamente la AEE; la finca solar produce la energía y se la vende a la AEE.

Los sistemas solares fotovoltaicos pueden ser independientes (*off-grid*) o pueden estar interconectados a la red. Los sistemas independientes requieren la incorporación de baterías para asegurar el almacenamiento de la energía producida. Los sistemas que están conectados a la red eléctrica pueden estar distribuidos (en muchas casas ubicadas en diferentes municipios) o pueden estar concentrados en una finca solar (tipo *utility*). Todos los interconectados pueden beneficiarse de la Medición Neta, una alternativa que permite que el dueño del sistema solar fotovoltaico le venda a la AEE el exceso de energía que produce (por encima de lo que consume su casa). En Puerto Rico, entre 2009 y 2014, 1,304 abonados se acogieron a la producción independiente.⁴

Prácticamente, la única empresa eléctrica que sirve a Puerto Rico es la Autoridad de Energía Eléctrica Puerto Rico (AEE), una corporación pública. Según las estadísticas más recientes publicadas por la AEE, en marzo de 2015 las tarifas eléctricas residenciales promedio eran de \$ 0,21397 / kvh, las tarifas promedio comerciales eran de \$0,22948 / kvh, y las tarifas industriales promedio de \$ 0,18927 / kvh. Estas tarifas eléctricas son similares a las de Hawaii y son aproximadamente el doble de la tarifa eléctrica media en los Estados Unidos (Salasovich y Mosey, 2011: 2). En la actualidad, la AEE se encuentra prácticamente en quiebra, y esta situación complejiza las repercusiones de las paradojas verdes, según se discutirá más adelante.

Finalmente, el reciclaje de los paneles es una actividad de desarrollo futuro en Puerto Rico. En la actualidad no existe un mecanismo generalizado para el reciclaje de los sistemas solares fotovoltaicos, en parte porque estos sistemas comenzaron a incorporarse a la isla recientemente y no han extinguido su vida útil.

La sección que se presenta a continuación caracteriza el marco regulatorio existente en Puerto Rico.

Marco Regulatorio en Puerto Rico. Matriz de Normativa e Incentivos para Energía Verde

En Puerto Rico se han aprobado varias leyes en los últimos diez años que impactan el manejo de la cadena solar fotovoltaica y su sustentabilidad, según detalla la Tabla 3.

⁴ Ruiz Kuilan, Gloria, Mas Abonados Huyen de la AEE y buscan alivio, El Nuevo Día, 25 de mayo 2014, pp. 4-6.

Tabla 3 Leyes y Programas Públicos que impactan la cadena solar fotovoltaica en Puerto Rico

Leyes y programas públicos	Objetivos
Locales (de Puerto Rico)	
Ley No. 114 (16-08-2007) Ordena y autoriza a la AEE a establecer un programa de medición neta	Establece el programa de medición neta a través de la interconexión de sistemas fotovoltaicos instalados al sistema de transmisión y distribución eléctrica. Compensar por sobrantes de energía (excesos).
Ley No. 82 (19-07-2010) Ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en Puerto Rico	Crea la Comisión de Energía Renovable de Puerto Rico y las Carteras de Energía Renovable. Busca aumentar la generación de energía renovable a un 25% para 2035.
Ley 83 (19-07-2010) Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico y enmienda la Ley Núm. 70 de 1978	Diversificar las fuentes de electricidad y la infraestructura tecnológica a fin de reducir la dependencia de combustibles fósiles. Reducir el costo de la energía. Reducir las importaciones de combustibles fósiles. Preservar el medio ambiente.
Fondo de Energía Verde de Puerto Rico (derivado de la Ley 83)	Establece el fondo especial para incentivar el desarrollo de proyectos de energía renovable y sostenible. Emitir Certificados de Energía Renovable (CER) o (REC)
Estándares de interconexión	Establece requisitos de seguridad y rendimiento. Financia 50% de los costos del proyecto, o US\$ 100.000, lo que sea menor.
Federales (de los EEUU)	
Ley de Política Energética Federal (2005)	Estándar IEE 1547 Hasta US\$ 15.000 en sistemas residenciales. Crédito fiscal del 30%
Sección 1603 del Programa de Tesorería de los EE.UU.	El programa otorga a los desarrolladores de energía renovable una subvención federal. Expiró en diciembre de 2011.
Asistencia Técnica por medio de oficinas nacionales	El Departamento de Energía (DOE); y la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable (EERE) apoyan a desarrolladores de energía renovable.

Fuente: Elaboración propia y de Yarlier Y. López Correa en base a Lex Juris.

El surgimiento y desarrollo de la cadena solar fotovoltaica en Puerto Rico es reciente y está atado a cambios en la legislación local y a programas federales de EEUU que son aplicables en la isla. Es por ello que el desarrollo de la industria hay que contextualizarlo en el marco regulatorio que describió la Tabla 3 anteriormente. Este proceso también ha

sido asociado a la legislación introducida en los EEUU bajo el gobierno del presidente Barack Obama que busca inyectar 150 billones de dólares EEUU a la economía de ese país en una década.

En Puerto Rico, las leyes y los programas que más han impactado la creación de nuevas cadenas de valor de sistemas fotovoltaicos han sido: la Ley 114 de Medición Neta de 2007 y la Ley 83 del 2010, así como el Programa 1603 federal (de los EEUU).

Empresas, eslabones, y actividades económicas que conforman la cadena de valor

Esta sección presenta el análisis de las dos empresas foco del Estudio de Caso y de la AEE.

Las Dos Empresas Foco del Estudio de Caso Múltiple: Solartek y Ciro

Solartek se fundó en el año 1992. La empresa importa los insumos aguas arriba. Luego, aguas abajo, la empresa diseña, ensambla y monta el sistema fotovoltaico para el dueño del sistema.

La empresa provee el equipo, hace la planificación, el diseño, la instalación y brinda el servicio de consultoría. La empresa instala el sistema y funciona como distribuidor y proveedor de la operación y el mantenimiento, y monitorea el funcionamiento del sistema. Las actividades de Solartek incluyen desde instalar las placas solares, hasta diseñar e instalar el sistema de estructura de montaje, la cabling, los *breakers* y fusibles, y el inversor para la conexión a la red eléctrica. En la actualidad la empresa se especializa más en proyectos institucionales y comerciales. También se han trabajado propuestas de patentes, de equipos nuevos, y adiestramientos para estos sistemas. Solartek cuenta con su propio equipo de gente para instalar el sistema y en simultáneo subcontrata parte de la instalación.

El dueño del sistema puede ser el consumidor mismo. El consumidor o dueño se beneficia de los incentivos financieros y contributivos. A veces debe gestionar el permiso de instalación e inspección. En algunos casos, la empresa lleva a cabo estas gestiones. Puede obtener certificados de energía renovable bajo la ley 83 de 2010. El dueño del sistema y Solartek tienen que adaptarse a los códigos de construcción que influyen el diseño del sistema.

Dicha empresa conecta los sistemas al sistema eléctrico de la AEE para que el dueño y consumidor se beneficie de la medición neta. El consumidor se beneficia del crédito de medición neta que le otorga la AEE (a \$ 0.25 kvh).

En el 2008, la empresa inauguró el primer sistema de Medición Neta de Puerto Rico en Casa Pueblo.⁵ Casa Pueblo es un proyecto de autogestión comunitaria que se ha destacado en la isla y a nivel internacional (Premio Goldman) por sus luchas ambientales.⁶

El nuevo sistema de medición neta de Casa Pueblo no requiere baterías de almacenaje y el excedente de energía se le supe a la Autoridad de Energía Eléctrica. El sistema controla la emanación del dióxido de carbono para evitar el calentamiento global. Este

⁵ Eso le valió al ingeniero Gerardo Cosme el premio del Colegio de Ingenieros de Puerto Rico en el 2009 por haber diseñado y establecido la mejor obra de ingeniería durante ese año.

⁶ Nace para el 1980 para combatir el plan del gobierno de Puerto Rico de iniciar una explotación minera en 17 yacimientos de plata, oro y cobre en la zona de la montaña

sistema también le brinda energía renovable a Radio Casa Pueblo 1020AM, primera radio emisora ecológica-comunitaria en Puerto Rico y el Caribe. En algunos casos, se ha informado que Casa Pueblo termina pagando \$ 3 mensuales por su factura de energía eléctrica.

Solartek ha participado como empresa consultora a nivel internacional –en comunidades indígenas en Panamá- para llevar alternativas de energía eléctrica a comunidades aisladas. En este caso trabajó con la tecnología de micro-rejilla, una instalación solar que puede generar electricidad para una comunidad.

CIRO comienza como una empresa enfocada en la búsqueda de la diversificación energética para PR. CIRO ha desarrollado un proyecto a gran escala, pero también hace desarrollos de proyectos a nivel comercial, industrial y residencial. La empresa trabaja tanto con energía solar, así como con sistemas de conservación de energía. Un grupo de ingenieros y técnicos se encargan de elegir la mejor tecnología para satisfacer la necesidad de los clientes.

La finca solar de CIRO cae bajo lo que le llama generación a nivel de *utility*. CIRO Energy Group, junto a One Planet Caribbean y GCL Solar instalan lo que será uno de los proyectos de energía solar más grandes en Puerto Rico, el Caribe, Centro y Sur América: CIRO One Salinas.

La finca solar contempla una inversión inicial de 265 millones de dólares y se ubicará en una finca de 650 acres en el Barrio Aguirre de Salinas. Contará con unos 270,000 módulos solares instalados en sistemas de seguidores de sol (*trackers*) de un eje, reforzados para el clima local. El parque generaría 160 millones de kilovatios/hora al año y ofrecería energía a 13.000 residencias.

One Salinas generará aproximadamente 450 empleos durante la fase de construcción, 200 indirectos y 65 empleos a tiempo completo en la etapa de producción.

Por otro lado se estará ubicando en Guayama la compañía One Planet Caribbean la cual construirá Guayama Solar. Con una inversión de 75 millones de dólares se generarían 40 millones de kilovatios/hora al año.

El financiamiento de este proyecto proviene de GCL Solar y los terrenos son de CIRO Group. El acuerdo contractual de la empresa con la AEE es por 20 años y la corporación pública comprará el kilovatio a \$0.15 centavos.

CIRO, hay similitudes y diferencias con Solartek. Entre las similitudes se encuentran que debe adherirse a los códigos de construcción que influyen el diseño del sistema, debe obtener los permisos de instalación e inspección, puede solicitar los incentivos financieros y contributivos (aunque otros términos aplican debido a su tamaño y capacidad fotovoltaica instalada). Además, CIRO establece un sistema interconectado que se beneficia de la medición neta. Entre las diferencias está que CIRO es dueño del sistema de la finca solar fotovoltaica. Además, que la AEE le paga el exceso de energía generada a \$ 0.15 kvh y no a \$ 0.25 kvh como le paga al consumidor o dueños del sistema pequeño.

En la transacción de interconexión, la AEE se beneficia ya que está comprando a un precio menor del que le compra a los consumidores que montan sus propios sistemas (según el ejemplo de Solartek). Ello inserta un sesgo en el sistema, favorecer a los sistemas de *utility* concentrados en grandes parques solares versus los sistemas de generación distribuida por los cuales la AEE no genera ganancias y se le hace más compleja la interconexión.

La AEE podría pasar el beneficio de la ganancia obtenida a los abonados del sistema eléctrico en Puerto Rico. Sin embargo, esto no ocurre. Como la AEE confronta un serio problema financiero, estos ahorros no redundan en beneficios para la gente.

La AEE tiene un tope de 600 megavatios para aceptar insumos externos de energía renovable. Entre 2008-2012, la AEE firmó 63 contratos para proyectos de energía renovable. Ya se han renegociado 19, según el máximo de energía que se podía integrar al sistema, mientras que se espera prescindir de los restantes. Si se concretan los nuevos acuerdos con un grupo de empresas, ya la AEE alcanzaría el tope de la capacidad.

La Autoridad de Energía Eléctrica

Desde su formación en los años 1940, la Autoridad de Fuentes Fluviales (antiguo nombre de la AEE) fue una corporación vital para el desarrollo industrial y social de Puerto Rico. Recientemente, la casa acreditadora Moody's Investors Service degradó los bonos de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) a Caa3, clasificación que está a dos pasos del fondo crediticio. La determinación de la casa acreditadora responde a la posibilidad de que la AEE no pueda cumplir con sus pagos pese al acuerdo que retrasa la mayoría de sus obligaciones hasta el 2015. El análisis de Moody's sostiene que actualmente continúan las dudas en torno a la capacidad de la AEE de llevar a cabo su plan de convertir sus plantas generadoras a gas natural” (Cortés Chico, 2014). Además, se estima que la reestructuración de la deuda involucrará en cierto grado un impago de los bonos.

Además de la crisis financiera que enfrenta, la AEE se encuentra en incumplimiento con lo estipulado en la Ley 83 de 2010, que obliga a que el 12 por ciento de la energía que se usa en el país sea renovable para el 2015. Actualmente, poco más del 1% de la energía viene de fuentes renovables. Ante esta situación de incumplimiento, ya hay senadores que han sugerido que se podría enmendar esta ley para liberar parte de la responsabilidad que tiene la corporación pública con la legislación firmada en 2010 (Rivera Sánchez, 2014).

Como si estos problemas no fueran lo suficientemente complicados, recientemente se ha llevado a cabo un debate público sobre los contratos de energía renovable que ha suscrito la AEE. De un lado, tenemos a la AEE reclamando que dichos contratos la obligan a comprar electricidad producida con fuentes renovables a unos precios muy altos y que algunos contratos fueron otorgados a “especuladores” sin ninguna experiencia en o conocimiento de la industria energética (Marxuach 2013a). Del otro lado, tenemos a la Asociación de Productores de Energía Verde reclamando que los precios negociados son razonables y comparables con los precios en otras jurisdicciones. Alegan además que los contratistas tienen la experiencia y el capital necesario para llevar a cabo los proyectos (Marxuach 2013b).

De acuerdo con el *Preliminary Official Statement* (“POS”) de la emisión de bonos más reciente de la AEE, dicha entidad ha otorgado contratos para 63 proyectos de energía renovable con una capacidad agregada de 1,660.8 MW, y de éstos, 46 proyectos son de energía solar con una capacidad agregada de 1,157.4 MW. De los 63 proyectos, cuatro ya se encuentran en operación: (a) Windmar en Ponce (2 MW); (b) AES Ilumina en Guayama (20 MW); (c) Punta Lima en Naguabo (26 MW); y (d) Pattern en Santa Isabel (75 MW) (Marxuach 2013b).

La mayoría de los contratos son a un término de 25 años y que tienen que cumplir con ciertos requisitos técnicos para la interconexión con el sistema de la AEE. No se divulga nada sobre quiénes son los contratistas, qué experiencia tienen en esta industria, ni qué

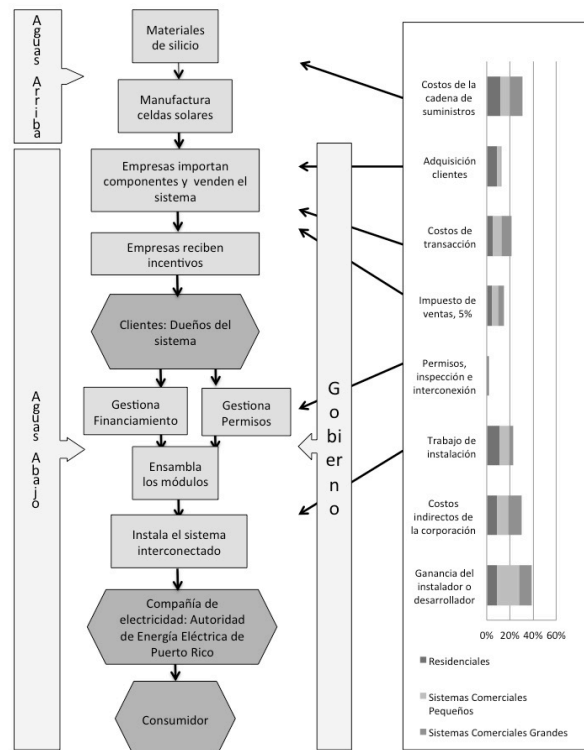
capacidad técnica y financiera tienen para llevar a cabo los proyectos” (Marxuach 2013a). Pero se conoce que el gobierno de los EEUU, bajo la sección 1603, ha otorgado sumas millonarias a algunas de las empresas (\$ EEUU 24 millones a AES Ilumina LLC con fecha de otorgación de 11 de junio de 2013; \$ 16 millones a PV Properties, Inc a 19 de febrero de 2015; y \$ 6 millones a Hannon Armstrong PR Solar LLC al 30 de abril de 2012)⁷.

Costos de la Cadena de Sistemas Fotovoltaicos

Al establecer una relación entre los costos y la cadena, podemos aseverar que los costos del *hardware* impactan la cadena aguas arriba y los costos blandos impactan la cadena aguas abajo. Desde esta perspectiva, entre un 36 a un 50 por ciento de los costos se destinan a los eslabones aguas abajo y entre un 64 a un 50 por ciento de los costos a las actividades de la cadena aguas arriba.

El gráfico 4 desglosa los componentes de los costos *soft* para los tres tipos de sistemas.

Gráfico 4 Componentes de los costos *soft*, en porcentaje



Fuente: Friedman, *et.al.* (2013: 31), disponible en: http://theenergycollective.com/sites/theenergycollective.com/files/SoftCost_Clean

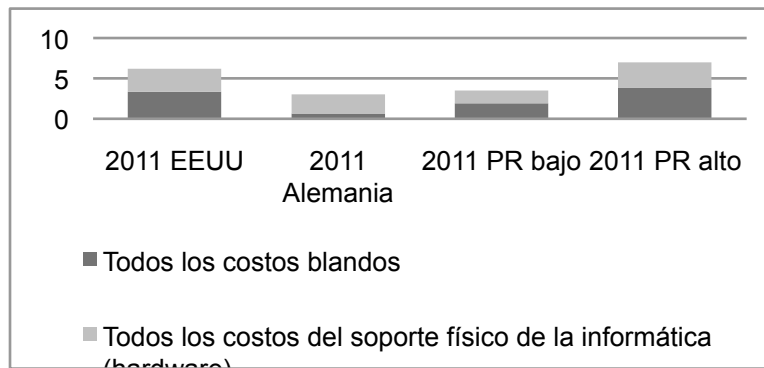
⁷ Fuente: <http://www.treasury.gov/initiatives/recovery/Documents/Section%201603%20Awards.xlsx>

La estructura de costos de la cadena solar fotovoltaica exhibe unas características y tendencias particulares. Cuando se establecen planteamientos sobre la tecnología solar fotovoltaica, es importante distinguir entre los tres sistemas –residenciales, no-residenciales, y *utility* (sistemas comerciales grandes o fincas solares). Esta distinción será importante en el estudio de la cadena solar fotovoltaica de Puerto Rico.

En términos generales, los costos han disminuido para los tres tipos de sistemas. Lo que ha arrojado la disminución significativa en los precios y en los costos, han sido sobre todo los avances tecnológicos asociados a las disminuciones en los costos del *hardware*, particularmente en los EEUU (Friedman et al, 2013: 31).

La estructura de costos varía por país. Los costos del *hardware* son mucho más bajos en Alemania y China y más altos para los EEUU. Los costos de PR están más cerca de los de EEUU, según ilustra el Gráfico 5. En el caso de Puerto Rico se presentan dos escenarios, uno de los costos bajos y otro de los costos altos. Ambos escenarios se derivaron del estudio de caso de Salasovich y Mosey (2011)⁸.

Ilustración 5 En \$ EEUU por VATio, Costos 2012, en pesos corrientes



Fuente: Salasovich James and Mosey Gail, 2011: p. 65; Friedman et al, 2013: 31.

El costo de los sistemas fotovoltaicos en Puerto Rico varía y por lo tanto se utilizaron dos estimaciones de costos. La primera estimación es en la gama baja de los costos actuales de los sistemas fotovoltaicos instalados y se basa en los costos del sistema de 20 MW que actualmente se está instalando en Guayama por AES Ilumina. La segunda estimación está en el rango más alto de los costos actuales de los sistemas fotovoltaicos instalados y se basa en los costos anteriores de sistemas de menor escala.

La economía de los sistemas fotovoltaicos vinculados a la red dependen de los incentivos, el costo de la electricidad, y el recurso solar, incluyendo la inclinación y orientación del panel. El análisis supuso que se recibían incentivos federales y estatales. La identificación y el aprovechamiento de los incentivos estatales y donaciones es una parte importante de hacer que los sistemas fotovoltaicos rentables.

Desde un punto de vista económico, las leyes actuales de medición neta en Puerto Rico

⁸ Salasovich y Mosey (2011) evaluaron la viabilidad de los Sistemas Fotovoltaicos establecidos en áreas previamente utilizadas como vertederos. La economía de los sistemas potenciales se analizó suponiendo que una alianza pública privada con la AEE sería utilizada y la AEE compraría de nuevo la tasa eléctrica de \$0.13 / kWh.

no son ventajosas para los sistemas fotovoltaicos que generan grandes cantidades de exceso de energía, debido a la relativamente baja tasa de recompra. La creación de un acuerdo de compra de energía (PPA), donde la AEE estaría de acuerdo para volver a comprar la energía a una tasa más alta sería mucho más beneficioso.

Dos ejemplos de proyectos de energía fotovoltaica a gran escala en Puerto Rico a los que Salasovich y Mosey hicieron referencia fueron: el de 20 MW de AES Ilumina en Guayama, donde la empresa estableció un contrato con la AEE y se acordó la compra de la electricidad a razón de \$ 0.13 / kWh; y el de 63 MW de Grupo Uno CIRO en Salinas, donde el Grupo estableció un contrato con la AEE, pero la tasa de recompra de acciones aún no se ha establecido.

Las Paradojas Verdes

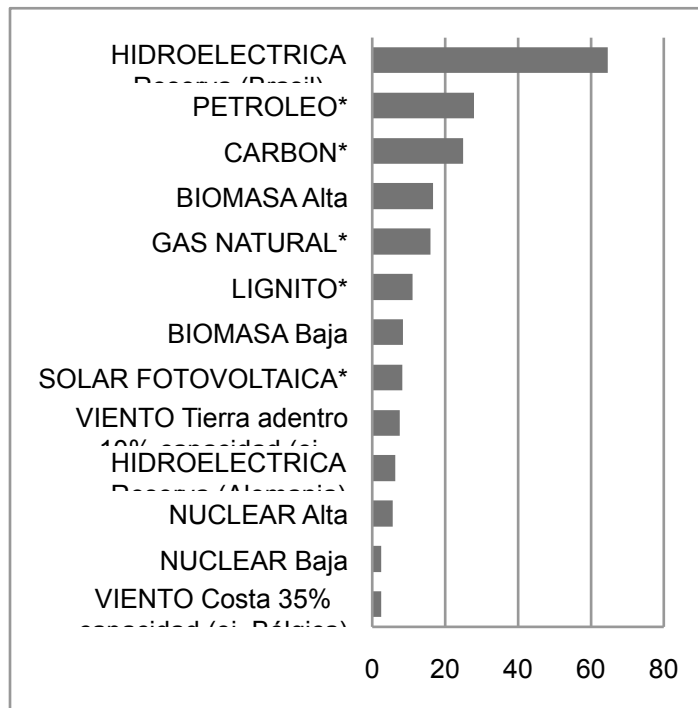
La cadena de valor de sistemas solares fotovoltaicos se caracteriza por tres paradojas verdes: la ecológica, la económica y la política. A continuación se presenta cada una de estas.

La Paradoja Ecológica: los sistemas fotovoltaicos son un producto verde pero la tecnología no es verde

Aunque la tecnología solar fotovoltaica ofrece muchos impactos positivos, existe una paradoja debido a los impactos ecológicos y sociales negativos asociados con las fases de la fabricación y de la eliminación de ciclo de vida de esta tecnología.

Por un lado, la tecnología solar fotovoltaica genera unas emisiones de gases tóxicos y de efecto invernadero mucho más bajas que el petróleo, el carbón, el lignito y el gas, según se ilustra en el Gráfico 6. Además, comparado con otros sistemas, disminuye la necesidad de la construcción y el mantenimiento de la transmisión eléctrica de líneas (Tsoutsos, Frantzeskaki, y Gekas, 2005). La tecnología solar fotovoltaica ha demostrado ser popular debido a su simplicidad, un funcionamiento silencioso, de bajo mantenimiento, la producción libre de emisiones de la electricidad, y la modularidad (Deshazo y Matulka, 2010; Camarota, 2011: 4).

Gráfico 6 Emisiones de gases Invernadero de Cadenas Generadoras de electricidad. Sistemas Comparados en Pasos de la Cadena, en gCeq/kWh (Grams carbon equivalent per kilowatt-hour)



Fuente: Spadaro, Langlois and Hamilton (2000: 21).
http://www.energienucleaire.ch/upload/cms/user/IAEA_GreenhouseGasEmissions.pdf

Sin embargo, “por otro lado, aunque su generación es controlada por instituciones que otorgan los permisos de aire y de agua, los procesos de fabricación fotovoltaica emiten hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre de gases, que son hasta 23.000 veces más activos que el dióxido de carbono en sus efectos de gases de efecto invernadero y pueden durar hasta 50.000 años en el ambiente” (Bartos y Burton, 2000; Conniff, 2008; Weiss *et al*, 2008; Fthenakis *et al*, 2008; Zude, 2010). “Además, los niveles de emisión de trifluoruro de nitrógeno⁹ relacionado con la fabricación de semiconductores utilizados en la industria fotovoltaica no están regulados en la actualidad” (Conniff, 2008; Scripps Institution of Oceanography, 2008).

Las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes asociados a todas las fases de la construcción, operación y desmantelamiento fotovoltaico de capacidad de generación eléctrica de gas solar y natural han sido objeto de muchos estudios. Las comparaciones se basan normalmente en equivalentes de CO₂ por unidad de electricidad generada. Las estimaciones resultantes varían ampliamente debido a las diferentes suposiciones relacionadas con diversas variables: los niveles de eficiencia y la vida útil

⁹ “El trifluoruro de nitrógeno se usa en el grabado de plasma de obleas de silicio, y se ha descubierto recientemente a ser un gas de efecto invernadero especialmente potente que es 17.200 veces más activo que el dióxido de carbono y dura entre 550 y 740 años en la atmósfera (Bartos y Burton, 2000; Zude, 2010).”

esperada de la planta; las condiciones climáticas locales y las necesidades de inversiones en la conexión de la central a la red (Olson, 2014: 16).

El análisis de casos sugiere que las inversiones en energía solar fotovoltaica y los subsidios deben enfocarse principalmente en inversión y desarrollo que pueda conducir a saltos cuánticos en la eficiencia del panel solar y en los costos de almacenamiento. Estas reducciones podrían proporcionar los atractivos rendimientos financieros que estimulen la adopción generalizada de esta fuente de energía limpia (Hardgadon y Kenney, 2012; Lomborg, 2011). Sin embargo, en algunos casos, el apoyo del gobierno hacia la industria solar fotovoltaica se ha enfocado en recortes de impuestos, garantías de préstamos, garantías de precios y mandatos renovables que han servido para para fomentar y / o forzar la fabricación de *hardware* y de plantas de energía solar que utilizan tecnologías no competitivas (Lipton y Krauss, 2011; Olson, 2014: 16).

En adición al problema antes señalado, la industria de la energía solar fotovoltaica actualmente carece de procesos de reciclaje adecuados. Esto significa que los paneles e inversores solares utilizados serán desechados, y en muchos casos, se enviarán a los países del tercer mundo en África y Asia (Walsh, 2009). Los materiales y metales pesados contenidos en estos productos envenenarán a la gente de los países menos desarrollados que traten de reciclar los elementos utilizados sin tomar las precauciones de seguridad adecuadas (Walsh, 2009). Por ejemplo, en algunos países como China, el manejo de estos desechos tóxicos no regulados está creando zonas muertas donde los cultivos no pueden crecer y las personas experimentan irritación química extrema (Yung, *et. al.*, 2008). First Solar Inc. es la única compañía en los Estados Unidos que ha puesto en marcha una tecnología de reciclaje, y esta tecnología se limita a los propios productos de la empresa (Camarota, 2011: 7)

Debido a esta paradoja, para algunos, la tecnología solar fotovoltaica puede que no cumpla con la definición de una fuente de energía sostenible. Tester *et. al.* (2005: 8) definieron la energía sostenible como "una armonía de vida entre la disponibilidad equitativa de los servicios de energía a todas las personas y la preservación de la tierra para las generaciones futuras". Alexander y Boyle (2004: 3) definen una fuente de energía sostenible como "aquella que no se agota sustancialmente por el uso continuado, no implica la emisión de contaminantes significativos u otros problemas ambientales, y no involucra la perpetuación de los riesgos de salud importantes o las injusticias sociales".

Mientras los impactos ecológicos negativos de la tecnología solar fotovoltaica se ubican en un orden de magnitud menor que la de la quema de combustibles fósiles, aún existen importantes impactos ecológicos y humanos de salud de los productos químicos utilizados en la producción de las celdas; y en la falta de una infraestructura de reciclaje en toda la industria para deshacerse de las celdas solares al final de su vida útil (Bartos y Burton, 2000; Conniff, 2008;. Fthenakis *et. al.*,2008; Weiss *et al.*, 2008; Zude, 2010).

Paradoja Económica: la energía del sol es gratis pero la adopción de sistemas fotovoltaicos es cara y entonces es una alternativa no incluyente para los pobres

La energía solar es dependiente de la masa y la velocidad de la radiación solar, que se diluye más del 90% en el momento en que se desplaza desde el sol a la tierra (Tucker, 2009, citado en Olson, 2013). Los mejores paneles solares fotovoltaicos de corriente normalmente recogen menos del 15% de esta energía solar diluida (es decir, paneles libres de polvo, sin nubosidad, horas diurnas), que luego pasa por una serie de

transformaciones de energía para una pérdida de eficiencia subsiguiente de 12-15% (Smil, 2008 pp 12-14; Tucker, 2009; citado en Olson, 2014: 12). Esto significa que las plantas de energía solar que utilizan la tecnología fotovoltaica actual se limitan a unos 10 watts de potencia por metro cuadrado de panel, aunque los días cortos y nublados pueden reducir esta cifra máxima en un 50% (Smil, 2008:16, citado en Olson, 2014: 11).

Por esto, la electricidad que se genera debe ser almacenada o redirigida hacia un sistema interconectado de electricidad público o privado. Pero las tecnologías de almacenamiento actuales no son suficientes para una variedad de climas y para una variedad de aplicaciones a mayor escala comercial e industrial; son caras. La amenaza tecnológica más significativa a la adopción generalizada de energía fotovoltaica es la falta de eficacia de almacenamiento de energía. Esta falta implica que la energía solar fotovoltaica no podría sustituir por completo la base potencial de carga actualmente suministrada por combustibles fósiles (Bradford, 2006; Smil, 2008).

Para el consumidor que adquiere los sistemas solares fotovoltaicos, esta tecnología puede resultar inasequible. Esto obliga al que la adquiere a depender de incentivos económicos y financieros (Faiers y Neame, 2006). Las instalaciones fotovoltaicas solares son una de las formas más intensivas en capital para generar electricidad (Bradford, 2006). Un sistema para reemplazar la cuadrícula basada en la electricidad para un hogar promedio requiere un pago inicial de entre \$ 15.000 y \$65.000, y el periodo de recuperación puede ser de hasta 20 años, dependiendo del desempeño del sistema (Bradford, 2006; Walsh, 2009).

Sin incentivos gubernamentales importantes, como los créditos fiscales, rebajas de inversión, acuerdos de compra de energía, tarifas *feed-in*, la medición neta y subvenciones, la electricidad solar fotovoltaica cuesta 300% a 1600% más que la del carbón o el petróleo (Bradford, 2006; Gamboni, Hugi, y Rosengren, 2008).

Estos incentivos económicos pueden hacer la energía solar fotovoltaica generada en electricidad competitiva con la electricidad basada en combustibles fósiles. Desafortunadamente, estos incentivos no se ofrecen ni otorgan todos en los mismos países o regiones. Las empresas de energía solar se enfrentan a un complejo y confuso conjunto de opciones de financiamiento para los clientes en diferentes ubicaciones (Bradford, 2006).

Mientras que un sistema solar fotovoltaico se puede instalar en menos de una semana, la compleja financiación de proyectos incluyendo reembolsos, créditos fiscales, contratos atípicos, préstamos y permisos, puede tomar más de cuatro meses en finalizar (Payne, 2010). Debido a la complejidad de la procesos de financiación, los retrasos excesivos son comunes para culminar las instalaciones de energía solar fotovoltaica (Baker, 2009; Camarota, 2011: 7-8).

Entonces la paradoja de inclusión verde que se crea es precisamente esa: el recurso del sol es gratis pero la adopción de sistemas fotovoltaicos es aún cara y entonces es una alternativa no incluyente para los pobres.

Paradoja Política: aunque el sistema político y corporativo debería estar sesgado hacia la energía renovable, éste favorece la energía de combustibles fósiles

El sistema político actual está sesgado hacia la electricidad dependiente de fuentes no renovables como el petróleo, gas y carbón. El desafío político clave es cómo superar los intereses creados de la red existente de los proveedores de energía de combustibles fósiles

(Scheer, 2009). Estos intereses son resistentes a un nuevo orden político y económico que surgirían de un sistema eléctrico solar. Las compañías de energía a base de combustibles fósiles han presionado a los gobiernos tanto a nivel local y federal para mantener unas normas de funcionamiento y subvenciones que crean importantes barreras de entrada para las empresas de energía solar (Camarota, 2011: 8).

Los mercados actuales para las energías renovables se enfrentan a los subsidios de los combustibles fósiles los cuales eliminan eficazmente los costos sociales de los precios energéticos y distorsionan los mercados de la energía, dificultando el que las tecnologías de energías renovables puedan competir en precio (Jacobsson y Bergek, 2004).

Los ambientalistas normalmente promueven los subsidios de tecnología verde por tres razones principales (Friedman 2008; Hardgadon y Kenney 2012; Kahouli-Brahmi 2009; Kerry y Graham 2009): alegan que las alternativas no-verdes tienen una ventaja injusta debido a su falta de pago de las externalidades negativas en forma de descargas "libres" de gases de efecto invernadero; las nuevas tecnologías verdes requieren de subsidios de inicio temporeros para competir de manera efectiva con las tecnologías convencionales más antiguas; y la tecnología verde crea industrias de alto valor y de empleos verdes (Olson, 2014: 16).

El otro elemento político es que los representantes del gobierno pueden establecer acuerdos con compañías que circunvalan las reglas del juego establecidas por la política pública y las leyes que deben regir la otorgación de los contratos a empresas.

Alternativas a las Paradojas Verdes

Las alternativas a las paradojas verdes hay que contextualizarla en el avance tecnológico de los sistemas solares fotovoltaicos y en la gestión ambiental de las empresas y los gobiernos en los diferentes países. Dentro de cada sección, se presentan algunas consideraciones con aplicaciones a Puerto Rico.

El avance tecnológico de los sistemas solares fotovoltaicos

La tecnología de los sistemas solares fotovoltaicos ha pasado por cuatro cambios generacionales. Algunos se preguntan si esas transformaciones, aunque han disminuido los costos significativamente, han logrado avances similares en el renglón de generar tecnologías más verdes. Las cuatro generaciones se identifican de la siguiente manera: la primera: silicio a granel (bulk silicon); la segunda: celdas solares de película delgada (thin film solar cells); la tercera: fotovoltaicos orgánicos (Organic PV); y la cuarta: celdas fotovoltaicas orgánicas con nano partículas (organic PV with NP).

El silicio a granel absorbe la energía de manera estable y más eficiente; es más duradero y resistente a las temperaturas y más fácil de instalar; es más fácil de reciclar y tiene menor impacto en el ambiente; pero la construcción de las placas es muy costosa y la tecnología es rígida, por lo tanto se limitaba su utilización.

Las celdas solares de película delgada tienen mejor capacidad de absorción de la luz pudiendo absorber el 90% de la energía a la que es expuesta; y es más flexible que la anterior; pero absorben el calor y esto provoca que produzcan menos energía (Dirjish (2012).

Los fotovoltaicos orgánicos (Myung-Su Kim, 2009) facilitan la manipulación de los compuestos químicos y la creación a gran escala de las placas solares y por esto disminuyen los costos de producción. Las placas solares son más flexibles y ligeras. Se pueden utilizar para crear diversos tipos de placas, no tienen que ser planas y pueden

crearse de distintos tamaños.

Los OPV con nano partículas tienen la particularidad de que sus lentes absorben más la energía solar mediante bandas de polímeros y esto incrementa la eficiencia en el uso de la energía solar. Esto hace que mejore la conductividad eléctrica utilizando nano partículas y metales como oro (AU) y plata (AG), aumentando la eficiencia de las placas solares en un 15% y reduciendo los costos de producción (Stratakis y Kymakis, 2013).

La producción de las placas solares crea contaminación a gran escala. Para poder crear las placas solares se requieren cuarzos. Para conseguir esta materia prima es necesario quemar gran cantidad de combustible y se producen gases de invernadero. Además es necesaria la utilización de metales pesados, productos tóxicos, ácidos y contaminantes orgánicos que pueden parar en los cuerpos de agua. Esto aumenta el costo de la producción ya que se tienen que tomar medidas especiales para controlar estos desperdicios tóxicos (Thermo Energy, 2015).

Alternativa: Gestión Ambiental de la Cadena en Diferentes Países

A nivel internacional, algunos países se acogen a acuerdos internacionales que abordan la reducción de gases invernadero. Entre estos se encuentran el Protocolo de Kioto, un acuerdo internacional para reducir los gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático; algunas disposiciones de la Comisión Europea; y políticas públicas implementadas en algunos países. Además, en algunos casos, las empresas de algunos países se acogen a prácticas de gestión ambiental, tales como la normativa ISO 14001: 2004, la cual exige a la empresa crear un plan de manejo ambiental. La ISO 14001 describe el proceso que debe seguir la empresa y le exige respetar las leyes ambientales nacionales. En ambos casos, estas regulaciones constituyen alternativas a la paradoja ecológica de los sistemas solares fotovoltaicos. España, China, Alemania e Italia cuentan con estas disposiciones.

España participa del Protocolo de Kioto. Este país se comprometió, dentro de la Unión Europea, a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. En España también se destaca la gestión ambiental de las empresas Isofoton y Krannich Solar.

En China, el gobierno ha promovido legislación en torno a Energías Renovables. La Ley Nacional de Energías Renovables, que entró en vigor en enero de 2006; el Plan de Desarrollo de Energías Renovables, lanzado en septiembre de 2007; y el Plan de Conservación de Energía a largo plazo, puesto en marcha en noviembre 2004, constituyen ejemplos de esto. Algunas de las empresas chinas que promueven la gestión ambiental son Yingli Solar y Trina Solar.

En Alemania, la Gerencia Ambiental es una práctica adoptada por la empresa con el fin de introducir un sistema de gestión medioambiental acorde con la norma ISO 14001. Entre las empresas alemanas se destacan el Grupo Schmid, la Empresa Bosch y la empresa Solar World. PV CYCLE Deutschland es la entidad responsable de todas las actividades operacionales y legales en el mercado fotovoltaico alemán. A partir de febrero 2014, los fabricantes y los importadores alemanes están obligados a garantizar el tratamiento de residuos de los módulos fotovoltaicos en el mercado alemán. Además del recogido y reciclaje de los módulos fotovoltaicos, sus obligaciones incluyen también generar informes, incluyendo información del producto y las necesidades de financiación. Italia establece un concepto de "responsabilidad extendida del productor." El decreto legislativo número 49/2014 le requiere a los productores, a las fábricas y a las compañías que hacen reventa bajo su propia marca comercial o que importan módulos

fotovoltaicos, que deben financiar el transporte y el reciclaje de los módulos fotovoltaicos que venden en Italia.

La Empresa Solar World introdujo un "Energy Management System" y la certificación de ISO 50001 la cual ayudará a cumplir los objetivos medioambientales y de reducción de emisiones de carbono como parte de una mejora en el desempeño energético.

En la Comisión Europea, en 2012, los módulos fotovoltaicos cayeron bajo el ámbito de aplicación de la Directiva RAEE por primera vez. El "Waste Shipment Regulation" especifica los procedimientos para los traslados de residuos dentro de la Unión Europea, y a terceros países. Mediante la regulación de los movimientos de residuos, la Unión Europea tiene por objeto mejorar la protección del medio ambiente y evitar los traslados incontrolados.

La Directiva Europea de Residuos establece un marco jurídico para la gestión de residuos en Europa "mediante el *"The Waste Framework Directive"* que tiene por objetivo el prevenir los efectos nocivos de la generación de residuos y el fomentar la gestión sostenible de los residuos. Asimismo, la directiva regula conceptos y definiciones relacionados con la gestión de residuos.

En los EEUU, tenemos la experiencia de SunShot y de la empresa Sunpower. SunShot es una iniciativa del Departamento de Energía que busca entre sus objetivos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, al igual que proveer energía solar fiable disponible para viviendas, comunidades, empresas y el gobierno. Sunpower emplea también la norma ISO 14001:2004. Cuenta con la certificación R2/RIOS™ que es una combinación entre *"Responsible Recycling Practices"* y *"Recycling Industry Operating Standard"*.

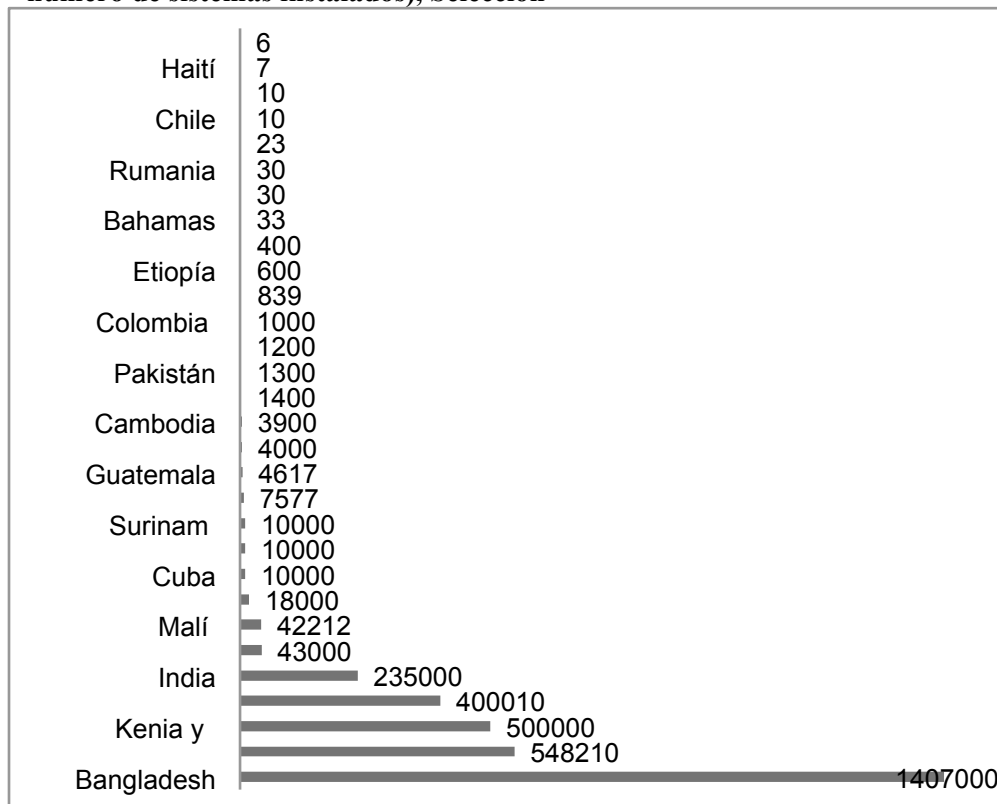
Alternativas a la Paradoja Económica: Energía Solar para los Pobres

En el mundo en desarrollo, que carece tanto de grandes plantas generadoras centrales y de redes de distribución extensas, la energía solar fotovoltaica tiene una oportunidad mucho mayor para influir en el crecimiento de la infraestructura rural y urbana (Hart, 2007). De hecho, en estos lugares, la energía solar fotovoltaica puede contribuir positivamente a la formación de pequeñas comunidades en las zonas rurales, reduciendo el nivel de desigualdad social y eliminando la quema de madera (Hart, 2007).

Hay varias aplicaciones para las que la energía solar fotovoltaica y la corriente de tecnologías de almacenamiento son suficientes: casas individuales y algunos espacios industriales de operaciones de baja energía que se pueden alimentar con éxito utilizando celdas fotovoltaicas solares desplegadas en el área de tierra y techo disponibles (Smil, 2008). El escenario más probable es que la tecnología solar fotovoltaica se adoptará dentro de una mezcla de varias tecnologías renovables como la eólica, geotérmica, y nuclear (EIA, 2012 Camarota, 2011: 38).

El gráfico 7 presenta una selección de países donde se han configurado sistemas fotovoltaicos para los pobres. Se ha tratado de uniformar la información utilizando el indicador de número de sistemas instalados por país seleccionado.

Gráfico 7 Sistemas Fotovoltaicos para los Pobres por País (estimado de número de sistemas instalados), Selección



Fuente: Elaboración propia y de Melanie Figueroa Benítez.

La importancia de este gráfico es que apunta a unas prácticas empresariales alternativas en la industria solar fotovoltaica que contribuyen a resolver la paradoja económica. En algunos países, las alternativas se estructuran en torno a iniciativas gubernamentales, mientras que en otros estas descansan en organizaciones no gubernamentales. El financiamiento proviene de diversas fuentes. Entre estas fuentes se encuentran el gobierno, instituciones de la arquitectura financiera internacional como el Banco Mundial, y prácticas alternativas de recaudación de fondos. Del gráfico se desprende que esta alternativa asume una forma importante en Asia con Bangladesh, China y la India en las primeras posiciones. En la región de América Latina y el Caribe, Perú resalta.

Alternativas a la Paradoja Política

El siglo XXI será recordado en la historia como un periodo de lucha por las reservas restantes de hidrocarburos (petróleo y gas). El Cuadro 4 ilustra la matriz energética para una selección de países, en orden descendiente de dependencia del petróleo y en orden descendiente de energías renovables. En este cuadro, Puerto Rico aparece en una cuarta posición. Pero su vulnerabilidad y dependencia es más fuerte que la que refleja el cuadro en la medida que, de los otros tres países que le anteceden (Jamaica, Singapur y Ecuador), Ecuador tiene petróleo y Jamaica pertenece a Petrocaribe, el acuerdo de integración energética bajo el cual Venezuela ofrece términos favorables de compra de

combustible a precios preferenciales a los 18 países miembros. El caso de Singapur es similar al de Puerto Rico ya que también es una isla sin reservas de petróleo.

Cuadro 4 Matriz Energética por Fuente de Energía. Selección de Cinco Países que más dependen de cada fuente de energía. En por cientos y en orden descendiente de dependencia del petróleo, hidroenergía y energías renovables.

Año	País	Petróleo	Gas Natural	Carbón	Hidroenergía	Renovable
2008	Jamaica	95	n.d	n.d	n.d	5
2011	Singapur	90	10	n.d	n.d	n.d
2010	Ecuador	70	3	n.d	15	12
2011	Puerto Rico	68	16	15	1	n.d
2014	Honduras	57	4	1	33	n.d
Año	País	Petróleo	Gas Natural	Carbón	Hidroenergía	Renovable
2014	Costa Rica	n.d	13	n.d	60	n.d
2014	Belice	n.d	n.d	n.d	51	n.d
2014	Panamá	n.d	8	n.d	47	n.d
2014	Guatemala	n.d	10	6	36	n.d
2014	Honduras	57	4	1	33	n.d
Año	País	Petróleo	Gas Natural	Carbón	Hidroenergía	Renovable
2012	Reino Unido	37	33	16	n.d	14
2010	Ecuador	70	3	n.d	15	12
2013	Estados Unidos	36	27	19	n.d	10
2011	Rusia	19	56	15	n.d	10
2008	Jamaica	95	n.d	n.d	n.d	5

Fuente: Elaboración propia y de Melanie Figueroa Benítez. Las referencias para cada caso se incluyen como el Apéndice.

Las alternativas a la paradoja política hay que articularlas en torno a una reestructuración de la matriz energética que favorezca la energía renovable. El cuadro presenta información sobre algunos países que bien puede ser útil para mostrar la transición necesaria. Tal es el caso de Costa Rica, Belice, Guatemala y El Salvador en hidroenergía; y el de Reino Unido, Estados Unidos y Rusia en energías renovables.

De igual forma, hay que formular políticas públicas que impulsen el que la gente pueda tener acceso a las nuevas tecnologías de energías renovables, es decir, energías renovables para los pobres. Esto puede lograrse democratizando el acceso al conocimiento asociado a estas tecnologías, tal como ilustra el caso de Barefoot College en Bangladesh.

Además, pueden articularse políticas públicas que canalicen las rentas asociadas a la adquisición de estas tecnologías, hacia la gente, y no hacia solventar los problemas financieros de las corporaciones eléctricas (públicas o privadas).

Conclusiones

Al contextualizar la cadena solar fotovoltaica de Puerto Rico con las paradojas verdes, se

identifican algunos retos.

Las cadenas solares fotovoltaicas de Puerto Rico entrañan un gran potencial para que el sol brille para todos. Sin embargo, la contextualización de ese potencial en las tres paradojas verdes genera resultados complejos y contradictorios. La paradoja ecológica se expresa en la isla en la medida que aguas arriba, no se producen los componentes que se importan para el ensamblaje de los sistemas fotovoltaicos. Aguas abajo tampoco se reciclan los desechos de los componentes de forma tal que el ciclo del producto arroja un resultado no verde.

La paradoja económica también genera resultados complejos y contradictorios. Si bien los sistemas fotovoltaicos entrañan el potencial para que la gente pueda abaratar los costos de pagar la electricidad, la adquisición de estos sistemas es cara. Para poder instalarlos se requiere obtener créditos, permisos y financiamiento que vuelve el proceso burocrático y no accesible. La paradoja política, contextualizada a su vez en la crisis de la AEE, entraña procesos que favorecen en algunos casos a empresas más grandes y perjudican a las pymes locales así como a los dueños individuales potenciales. La AEE prefiere los contratos *utility* porque le impone a la corporación pública menos complejidades de interconexión de generación distribuida y además, porque los contratos *utility* los paga a \$0.15 mientras que los de generación distribuida debe pagarlos a \$0.25.

El primer reto es cómo lograr reducir los costos de energía eléctrica en Puerto Rico en un contexto de crisis económica en el país y de crisis en la Autoridad de Energía Eléctrica, entidad pública que ofrece los servicios a los consumidores y negocios en la isla. El segundo reto implica resolver cómo instalar equipos a precios accesibles y cómo almacenar la energía solar que se genera de manera que otros puedan aprovecharla también. La solución a los retos depende tanto de la contribución de las cadenas a la solución de los problemas ambientales como a la sustentabilidad. Implica además la articulación de políticas públicas y la implantación de legislación dirigida a atender las necesidades de la población.

El incentivo de medición neta es una medida que le dio vida a la industria solar en Puerto Rico porque eliminó la necesidad de almacenar energía. El sistema de medición neta genera unas contradicciones para la AEE y éstas contribuyen a que la misma AEE no quiera impulsar y promover el sistema en la cadena de valor solar para perjuicio de los consumidores, la sustentabilidad y la inclusión. De una parte, porque la medición neta facilita que más gente opte por alejarse de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) y coloquen en sus residencias paneles fotovoltaicos que representen un alivio a la alta factura de la luz. A medida que aumenta la cantidad de usuarios de generación distribuida, la AEE se vería obligada a producir menos electricidad.

De otra parte, porque bajo el sistema de medición neta, la AEE obtiene una ganancia de \$ 0.015 realizando transacciones con las fincas solares mientras que con los consumidores no. Las plantas tipo *utility*, como la de los proyectos grandes como fincas solares, cubren una amplia extensión de terreno con placas solares. Esa electricidad se vende directamente a la AEE, y a su vez esta institución la vende a sus clientes. En este tipo de proyecto sí se generan ganancias. La AEE prefiere este tipo de proyecto porque así pueden cumplir con el aspecto ambiental, y además generar ganancias.

La AEE puede favorecer el desarrollo de múltiples proyectos de fincas solares para cumplir con la capacidad de proyectos solares establecida por ley. Eso beneficiaría económicamente a la AEE y no a los clientes de dicha organización. También podría

afectar a las numerosas pequeñas empresas nuevas dedicadas mayormente a la generación distribuida.

En el caso de Puerto Rico es crucial y urgente que se formulen políticas públicas que impulsen el que la gente pueda tener acceso a las nuevas tecnologías de energías renovables, es decir, energías renovables para la población con menos recursos. Además, es imprescindible que las rentas asociadas a la adquisición de estas tecnologías se canalicen en beneficio de la gente, y no se utilicen para solventar los problemas financieros de las corporaciones eléctricas (públicas o privadas).

El caso de Puerto Rico muestra las paradojas comunes así como los retos de políticas públicas para el avance de las cadenas solares fotovoltaicas como sistemas verdes e inclusivos. Las paradojas imponen retos para el futuro de la energía solar.

Bibliografía

- Alexander, G. & Boyle, G. (2004); "Introducing renewable energy". In G. Boyle (Ed.), *Renewable energy: Power for a sustainable future* (2nd ed., pp. 2-17). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Aponte García, M. (2011); "Intra-regional trade and grand national enterprises in the Bolivarian Alliance: conceptual framework, methodology and preliminary analysis"; *International Journal of Cuban Studies* (2011): 181-197.
- Baker, D. R. (2009); "Bureaucracy trips up renewable energy projects". *San Francisco Chronicle*. November 27. Retrieved from http://articles.sfgate.com/2009-11-27/news/17181573_1_plants-power-developers
- Bartos, S. B. & Burton, C. S. (2000); "PFC, HFC and SF6 emissions from semiconductor manufacturing". In J. Penman (Ed.), *Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories* (pp. 3.69-3.78). Montreal, Canada: Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/3_Industry.pdf
- Benchmarking Non-Hardware Balance-of-System (Soft) Costs for U.S. Photovoltaic Systems, Using a Bottom-Up Approach and Installer Survey – Second Edition National Renewable Energy Laboratory Jarett Zuboy, Independent Consultant, Octubre 2013, <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60412.pdf>
- Bradford, T. (2006); *Solar revolution: The economic transformation of the global energy industry*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Camarota, A. (2011); *Exploring the Elements of Sustainability Management in the Solar Photovoltaic Industry*. Doctoral Dissertation, Arizona: Northcentral University, Graduate Faculty of the School of Business and Technology Management, Prescott Valley, March.
- Conniff, R. (2008); *The greenhouse gas that nobody knew*. Retrieved from <http://e360.yale.edu/content/feature.msp?id=2085>
- Cortés Chico, R. (2014); "Moody's degrada nuevamente bonos de la AEE. La casa acreditadora los bajó a Caa3, clasificación que está a dos pasos del fondo crediticio". *El Nuevo Día*. 17 de septiembre de 2014.
- DeShazo, J.R. & Matulka, R. (2010); *Designing an effective feed-in tariff for greater Los Angeles*. Retrieved from http://labusinesscouncil.org/online_documents/_/2010/Designing-an-Effective-Feed-in-Tariff-for-Greater-Los-Angeles-040110.pdf
- Dirjish, M. (2012); *What's The Difference Between Thin-Film And Crystalline-Silicon Solar Panels*; Available at: <http://electronicdesign.com/power-sources/what-s-difference-between-thin-film-and-crystalline-silicon-solar-panels>, [26 de enero de 2015]
- EIA, (2012); "Annual Energy Outlook 2012. US Energy Information Agency." July 12. Retrieved from: http://www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.cfm. accessed February 17, 2013 report DOE/EIA-0383
- Faiers, A. & Neame, C. (2006); Consumer attitudes towards domestic solar power systems; *Energy Policy*, 34, 1797-1806.

- Frantzis, L.; Graham, S.; Katofsky, R.; and Sawyer, H. (2008); Photovoltaics Business Models Navigant Consulting Inc. Burlington; Massachusetts Subcontract Report.
- Friedman, T., (2008); *Hot, Flat and Crowded: Why the World Needs a Green Revolution – and How We Can Renew Our Global Future*; London: Allen Lane.
- Fthenakis, V. M., Kim, H. C, & Alsema, E. (2008); Emissions from photovoltaic life cycles; *Environmental Science & Technology*, 42(6), 2168-2174. doi:10.1021/es071763q.
- Fthenakis, V., Mason, J. E., & Zweibel, K. (2008); The technical, geographical, and economic feasibility for solar energy to supply the energy needs of the U.S. *Energy Policy*, 37, 387-389.
- Gamboni, G., Hugi, C, & Rosengren, A. (2008); *Investing in sustainable energy part I: Renewable energies*. Retrieved from <http://www.cleantechsandiego.org/reports.php>
- Hardgadon, A. & Kenney, M. (2012); “Misguided Policy? Following Venture Capital into Clean Technology”; *California Management Review*. forthcoming
- Hart, S. L. (2007); *Capitalism at the crossroads: Aligning business, earth and humanity* (2nd ed.); Upper Saddle River, Wharton School Publishing.
- Jacobsson, S., & Bergek, A. (2004); Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology; *Industrial and Corporate Change*, 13(5), 815-849.
- Kahouli-Brahmi, S. (2009); Testing for the Presence of Some Features of Increasing Returns to Adoption Factors in Energy System Dynamics: An Analysis via the Learning Curve Approach; *Ecological Economics*. 68, 1195-1212.
- Kerry, J. & Graham, L. (2009); Yes We Can (Pass Climate Change Legislation); *New York Times*. Oct. 11.
- Lipton, E. & C. Krauss, (2011); A Gold Rush of Subsidies in Search of Clean Energy; *New York Times*, November 12, A1.
- Lomborg, B. (2011); Government shouldn't be picking Solyndras; USA Today October 24, accessed April 18, 2012 at: <http://www.usatoday.com/news/opinion/forum/story/2011-10-24/solyndra-green-energy-research/50894932/1>.
- Lorenzo, E. (1994); *Solar electricity: Engineering of solar photovoltaic systems*. Spain, Artes Graficas Gala.
- Marxuach, S. (2013a); Repensando la AEE; *Center for the New Economy*. February 11. Retrieved February 13, 2013.
- Marxuach, S. (2013b); La AEE, energía renovable y transparencia; *Center for the New Economy*. August, 15 en <http://grupocne.org/2013/08/15/la-aee-energia-renovable-y-transparencia/>
- Myung-Su K. (2009); Understanding Organic Photovoltaic Cells: Electrode, Nanostructure, Reliability, and Performance; Retrieved from http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/62335/myungsu_1.pdf Accessed 27/January/2015
- NREL/SR-581-42304 February 2008, *National Renewable Energy Laboratory* 1617 Cole Boulevard, Golden, Colorado 80401-3393 303-275-3000 • www.nrel.gov

- Olson, E. L. (2014); Green innovation value chain analysis of PV solar power; *Journal of Cleaner Production*; 64(2014)1:73-80 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.050>
- Patterson, W. (2007); Keeping the lights on: Towards sustainable electricity; Baltimore, Brookings Institution Press.
- Payne, D. (2010); *Taking it to the bank*. Paper presented at the Greentech
- Rivera Sánchez, M. (2014); “Acomodo Razonable para AEE”; Available at: <http://elvocero.com/acomodado-razonable-para-AEE/>
- Salasovich, J. & Mosey, G. (2011); Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics in the Commonwealth of Puerto Rico. *A Study Prepared in Partnership with the Environmental Protection Agency for the RE-Powering America’s Land Initiative: Siting Renewable Energy on Potentially Contaminated Land and Mine Sites*. U.S. Department of Energy: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Prepared under Task No. WFD6.1000. Available electronically at <http://www.osti.gov/bridge>
- Scheer, H. (2009); In praise of creative destruction; *Ode Magazine*, 10-11, October. Retrieved from <http://solutionsweneednow.com/in-praise-of-creative-destruction/>
- Scripps Institution of Oceanography. (2008). “Potent greenhouse gas more prevalent in atmosphere than previously assumed”. Retrieved from <http://scrippsnews.ucsd.edu/Releases/?releaseID=933>
- Smil, V. (2008); *Energy in nature and society: General energetics of complex systems*; Cambridge, The MIT Press.
- Spadaro, J., Langlois, L. and Hamilton, B. (2000); Iaea Greenhouse Gas Emissions Of Electricity Generation Chains Assessing, The Difference Bulletin
- Stratakis, E. & Kymakis, E. (2013); “Nanoparticle-based plasmonic organic photovoltaic devices”, Available at: http://ac.els-cdn.com/S1369702113001065/1-s2.0-S1369702113001065-main.pdf?_tid=e9a52692-aff4-11e4-8004-00000aab0f6c&acdnat=1423442895_1a37c6de52f74333ee9873783adfe2f2. [Consultado el 6 de febrero de 2015]
- Tester, J. W., Drake, E. M., Driscoll, M. J., Golay, M. W., & Peters, W. A. (2005); *Sustainable energy: Choosing among options*. Cambridge, MIT Press.
- Thermo Energy (2015); <http://www.thermoenergy.com/wastewater-recovery/applications/pv-solar-panel-manufacturing>
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005); Environmental impacts from the solar energy technologies; *Energy Policy*, 33, 289-296. doi:10.1016/S0301-4215(03)00241-6
- Tucker, W., (2009); “Understanding E = mc². Energy Tribune”; October 21, accessed April 18, 2012 at: <http://www.energytribune.com/articles.cfm/2469/Understanding-E=-mc2>.
- Walsh, B. (2009); “E-waste not.”; *Time*, January 8 Retrieved from <http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,1870485,00.html>
- Weiss, R. F., Muhle, J., Salameh, P. K., & Harm, C. M. (2008); “Nitrogen trifluoride in the global atmosphere”; *Geophysical Research Letters*, 35, 20821-20824. doi:10.1029/2008GL035913
- Wind, I. (2009); *HS Cordes and the Renewable Energy Sector*. ICTSD

- Programme on Trade and Environment. Geneva: ICTSD.
- Yung, W. K. C., Chan, H. K., Choi, A. C. K., Yue, T. M., Mazhar, M. I. (2008); “An environmental assessment framework with respect to the Requirements of Energy-using, Products Directive, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers”, Part B; *Journal of Engineering Manufacture*, 222(2008)5, 643-651.
 - Zude, A. (2010); Introduction to PV manufacturing and product life cycle. Paper presented at the SSHA Northern California PV Mini-Conference. Retrieved from http://www.semi.org/en/issues/ehs/ctr_03456

Páginas Web consultadas:

- http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php
- <http://www.ft.com/cms/s/0/dab951a0-194b-11dc-a961-000b5df10621.html#axzz3O0G7yQsq>
- <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/review-by-energy-type/natural-gas/natural-gas-reserves.html>
- <http://www.solarbuzz.com/news/recent-findings/latin-america-and-caribbean-region-install-9-gigawatts-solar-pv-within-five-year>
- <http://www.solarbuzz.com/news/recent-findings/latin-america-and-caribbean-region-install-9-gigawatts-solar-pv-within-five-year>
- <https://www.camuycoop.com/tu-gente-esta-contigo/proyecto-de-placas-solares/>
- http://www.caribbeanbusinesspr.com/prnt_ed/planet-solar-and-fi-nancing-by-sunnova-give-industry-new-lease-on-life-9336.html
- <http://dynamicsolarpr.com/index.php/nuevo-modelo-financiero-para-proyectos-comerciales-de-energia-solar>
- www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/Estadisticas/InventariodeEstadisticas/tabid/186/ctl/view_detail/mid/775/report_id/c9ec95dd-e300-483d-b988-24ec66dfc9c5/Default.aspx
- <http://casapueblo.org/index.php/reserva-puertorriquena-de-la-biosfera-en-tierras-adjuntas/>
- <http://casapueblo.org/index.php/reserva-puertorriquena-de-la-biosfera-en-tierras-adjuntas/>
- <http://sincomillas.com/construyen-parques-solares-en-salinas-y-guayama/>
- <http://puertorico.univision.com/ultima-hora/puerto-rico/article/2014-09-01/revelan-extorsiones-y-corrupcion-en-companias-de-energia-solar>
- <http://www.treasury.gov/initiatives/recovery/Documents/Section%201603%20Awards.xlsx>
- http://www.isofoton.com/sites/default/files/presentacion-corporativa-ES_.pdf
- http://sociedad.elpais.com/sociedad/2014/02/10/actualidad/1392063239_031080.html
- <http://www.worldwatch.org/bookstore/publication/worldwatch-report-182-renewable-energy-and-energy-efficiency-china-current-sta>
- <http://www.schmid-group.com/en/company/fanta4.html>
- http://www.bosch.com/en/com/sustainability/environment/environmental_management_5/environmental_management_7.html
- <http://germany.pvcycle.org/press/new-pv-cycle-entity-to-take-on-all-business->

- [activities-in-germany/](#)
- <http://germany.pvcycle.org/press/pv-cycle-italy-requiring-solar-module-recycling-a-key-step-in-photovoltaic-energy/>
 - <http://www.solarworld.de/en/group/sustainable-management/core-topics/energy-and-climate-protection/>; http://www.solarworld.de/nc/en/group/sustainable-management/core-topics/energy-and-climate-protection/?sword_list%5B0%5D=energy&sword_list%5B1%5D=management&sword_list%5B2%5D=system
 - <http://www.bsigroup.com/es-ES/ISO-50001-Gestion-Energetica/Requisitos-de-la-norma-ISO-50001/>
 - <http://www.pvcycle.org/legal-obligations/>
 - <http://www.pvcycle.org/legal-obligations/>
 - <http://www.pvcycle.org/legal-obligations/>
 - <https://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42509.pdf>;
<http://energy.gov/eere/sunshot/about>
 - http://www.energienucleaire.ch/upload/cms/user/IAEA_GreenhouseGasEmissions.pdf



www.redlatn.org

FLACSO ARGENTINA

Ayacucho 555, C1026AAC | Buenos Aires, Argentina
Teléfono: + 54 11 52 38 93 00 | Fax: + 54 11 43 75 13 73
Contacto y suscripciones: redlatn@redlatn.org