



TRABAJO DE TESIS
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

Escuela de Postgrado del ITBA

ESTUDIO PROSPECTIVO DE LA GENERACION DE EMPLEO,
VALOR AGREGADO Y REDUCCION DE EMISIONES POR
DESPLIEGUE DE LA ENERGIA SOLAR PV DISTRIBUIDA EN
ARGENTINA 2030

Franco Antonio Suarez
Ingeniero Ambiental
Universidad Nacional del Litoral

Tutor

MSc. Lic. Roque Pedace (UBA), Prof. Invitado ITBA 2016

Jurado

Dra. Ing. Cecilia Smoglie (ITBA)

MSc. Ing. Ruben Bufanio (UTN), Prof. Invitado ITBA 2016

Ciudad Autonoma de Buenos Aires

11/4/2017

Agradecimientos

A mi familia, por el apoyo incondicional y la paciencia en mis largas ausencias durante el desarrollo de esta etapa.

A la Dra. Cecilia Smoglie y el ITBA, por permitirme ser parte de este programa al cual considero una experiencia superadora.

A mi director de Tesis Profesor Roque Pedace, por aceptarme como tesista, entusiasmarse con mis ideas y guiarme de forma sabia y paciente a lo largo de estos meses. Siempre supo empujar mi visión de las cosas un poco mas allá.

Al Ing. Zitzer, MSc. Matias Irigoyen y todo el equipo de IRESUD por acompañarme todo el tiempo y compartir conmigo su experiencia con total generosidad.

A todos Uds.:

Gracias!

Franco

Marzo de 2017

Resumen

En el presente trabajo se lleva a cabo una prospección cuantitativa de la generación de empleo, valor agregado y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que potencialmente se podría alcanzar por el despliegue de energía solar fotovoltaica distribuida en Argentina en el mediano plazo. Se toma como objeto de estudio las instalaciones en baja y media tensión (220 V – 33 kV) y de 0 – 10 MW, situadas en zonas urbanas o peri-urbanas. Se considera que los tres indicadores simulados son de interés crítico para el soporte a la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo en el ámbito nacional, de cara a una situación de pobreza energética estructural y el compromiso asumido contra el Cambio Climático en París 2015. Bajo este panorama, disponer de información cuantitativa sobre el futuro es esencial.

Para la estimación de la generación de empleo se utilizó el método del Factor de Empleo del Institute for Sustainable Futures de la Universidad Tecnológica de Sydney. Este es un método lineal que predice empleo directo bruto. Los inputs fueron: una curva de tipo exponencial para el despliegue de potencia instalada PV (Buitrago, 2014) que propone el 8% de participación solar en la matriz energética argentina para el 2030, información de elaboración propia basado en fuentes bibliográficas y entrevistas con actores nacionales de trayectoria.

Para la estimación de la generación de Valor Agregado se llevaron a cabo extrapolaciones macroeconómicas basadas en información oficial Argentina y de diferentes organismos internacionales, fundamentalmente de las publicaciones de INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo) y la base de datos OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development).

Para la estimación de las emisiones evitadas se utilizó el método del Factor de Emisiones, nivel 1, propuesto por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), bajo la hipótesis simplificadora de que la generación fotovoltaica hará trabajar en “fuel saving mode” a la potencia instalada de ciclos combinados a gas natural.

Los resultados para el 2030 informan 1118 empleos directos totales, 964 Mton de CO_{2,eq} en emisiones evitadas, y entre US\$ 2.120.789.895 y US\$ 4.316.057.842 según el escenario de desarrollo económico argentino en el periodo de simulación sin contabilizar aquel proveniente de la venta de energía.

Tabla de contenido

Resumen.....	1
Objetivo.....	4
Introducción.....	4
Metodología.....	5
Del análisis de antecedentes.....	5
De los métodos prospectivos utilizados.....	5
Método del Factor de Empleo.....	5
Método del Factor de Emisiones.....	7
Método de la Proyección del Valor Agregado.....	7
Desarrollo.....	8
Análisis de antecedentes.....	8
Estimación del empleo generado.....	10
Determinación de valores de los Inputs.....	10
Resultados.....	27
Estimación de las emisiones evitadas.....	29
1. Cálculo de la producción anual de energía eléctrica PV.....	29
2. Cálculo del Gas Natural equivalente.....	29
3. Cálculo de las emisiones evitadas.....	29
4. Cálculo de la masa de Gas Natural ahorrado.....	30
5. Impacto en la huella de carbono personal.....	30
Resultados.....	31
Estimación del Valor Agregado Generado.....	32
Estimación del Valor Agregado per cápita argentino.....	32
Estimación del Valor Agregado total generado al 2030.....	33
Conclusiones y Recomendaciones.....	38
Referencias.....	42
Anexo I: Hoja de cálculo de Generación de Empleo.....	44
Anexo II: Hoja de cálculo de Valor Agregado.....	46
Obtención del Valor Agregado por trabajador promedio del sector.....	46

Ilustración 1 Escenario de Alta Penetración ARG PV 2030	11
Ilustración 2: Participación constante	12
Ilustración 3: Participación linealmente creciente.....	12
Ilustración 4: Participación exponencialmente creciente.....	13
Ilustración 5: Participación con comportamiento logístico.	13
Ilustración 6: Comparación de modelos de participación.....	14
Ilustración 7: Análisis de Factor de Empleo	19
Ilustración 8: Tendencia de los precios LEM PV en Argentina	22
Ilustración 9: Beneficio neto vs tamaño del proyecto	24
Ilustración 10: Evolución del empleo directo en PV distribuida en Argentina 2018 - 2030	27
Ilustración 11: Sensibilidad de Empleos 2030 al porcentaje de participación.....	28
Ilustración 12: Sensibilidad de Empleos 2030 al Factor de Empleo de instalación adoptado. ...	28
Ilustración 13: Sensibilidad de Empleos 2030 al factor de localidad.	28
Ilustración 14: Potencia Acumulada, Emisiones evitadas y ahorro de gas natural.....	31
Ilustración 15: Productividad del trabajador argentino promedio de los sectores afectados (V.A. per cápita)	33
Ilustración 16: Posibles tendencias de la productividad argentina.....	35
Ilustración 17: US IPC 1980-2015. Elaboración propia en base a datos del U.S. B.L.S.....	36
Ilustración 18: V.A. US\$ corrientes.....	36
Ecuación 1: Ecuación general del método del Factor de Empleo	6
Ecuación 2: Ecuación general de emisiones de GEI	7
Ecuación 3: Porcentaje de Participación	11
Ecuación 4: Factor de Empleo Instalación Argentina 2016.....	19
Ecuación 5: Definición de Factor de Aprendizaje (Decline Factor)	25
Ecuación 6: Factor de aprendizaje para Argentina	25
Tabla 1 Despliegue de Potencia PV	10
Tabla 2: Fuerza de trabajo necesaria para la Instalación PV	17
Tabla 3: Desglose del factor de empleo España 2013 (Llera, Scarpellini, Aranda, & Zabalza, 2013).	18
Tabla 4: Resumen de Factores de Empleo básicos y MAR al 2015-2017	20
Tabla 5: Correlación de las Evoluciones MAR LA - MAR ARG.....	21
Tabla 6: Estimación del beneficio neto de los diferentes tamaños de proyectos PV.	23
Tabla 7: Tendencia del factor de localidad.	25
Tabla 8: Total de Empleos generados por Escenario de participación de la industria nacional .	27
Tabla 9: Emisiones Evitadas y valores asociados.	31
Tabla 10: Correspondencia de sectores PV y economía nacional.....	32
Tabla 11: Valor Agregado US\$ corrientes	37

Objetivo

El objetivo de esta tesis es estimar la generación de empleo directo, valor agregado nacional y reducción de emisiones, como resultado del despliegue de la energía solar fotovoltaica distribuida en Argentina en el periodo 2018–2030.

Introducción

El cambio climático es el problema más grave con el que nos enfrentamos en la actualidad. Desde hace ya algunos años podemos percibir sus efectos y de no actuar diligentemente nos enfrentaremos a consecuencias inciertas. En este marco, las naciones realizan esfuerzos y fijan metas para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

A lo largo y ancho del mundo, de forma invariable, el sector que más emisiones genera es tal vez también el más imprescindible: el sector energético. De esta manera, es crucial para detener el cambio climático, migrar a formas de energía limpia, baja o libre de emisiones.

Una tecnología emblemática de esta revolución es la energía solar fotovoltaica. Esta tiene la ventaja de ser muy fácilmente descentralizable para su aplicación a pequeña escala, que al implementarse de forma masiva puede alcanzar efectos importantes. Varios de los países más avanzados en materia energética ya están implementando la instalación de paneles solares fotovoltaicos en techos de edificios desde hace ya muchos años con buenos resultados y aun en crecimiento. Muchos otros países están empezando ahora a implementar esta modalidad, entre ellos Argentina.

La idea de esta tesis surge en Argentina 2016. Un país que enfrenta una serie de desafíos políticos sociales y económicos. Todos parecen ser temas centrales y la demanda de soluciones a corto plazo es intensa desde todos los sectores. Ningún tema parece estar tan presente como la inseguridad laboral y las energías renovables.

En un contexto en el que la desocupación, el bajo poder adquisitivo, la pobreza e inseguridad energética y la urgencia de cumplir con los acuerdos internacionales sobre reducción de emisiones son generalizados en un país que está apostando a un rápido alineamiento con las tendencias mundiales, es interesante conocer el potencial de solución de cada problema. Más aún lo es el estudio de soluciones sistémicas integrales que permitan optimizar esfuerzos resolviendo varios problemas al mismo tiempo.

La energía fotovoltaica distribuida es la que mayores empleos por unidad de potencia instalada genera de todas las tecnologías energéticas convencionales (IRENA, 2016) (EY, 2015) y con esto trae aparejados los beneficios socio-económicos importantes como ser la reactivación de las economías regionales y movilización de todo el aparato macroeconómico, aumento en la seguridad energética de las regiones sobre todo en las aisladas y extremos de red, una relación más cercana de los usuarios con la generación impactando fuertemente en la cultura. Además, conlleva una ventaja técnico-económica: al ser silenciosa, libre de emisiones y en general segura, es ideal para instalar en áreas urbanas y peri-urbanas eliminando de esta forma la necesidad de transportarla grandes distancias y consecuentemente de invertir en infraestructura para tal fin. De esta forma, es sumamente atractiva para un país como Argentina por una serie de razones, pero fundamentalmente porque ofrece energía barata, de rápida disponibilidad y libre de emisiones, una inversión reducida y una importante generación de empleos de calidad.

Metodología

Del análisis de antecedentes

Para el logro del objetivo propuesto se comienza con un análisis expeditivo de antecedentes, a saber:

- Las experiencias de los países avanzados en el tema
- Las experiencias nacionales
- El marco normativo vigente y propuesto al momento de la realización de la presente tesis
- El ejercicio Escenarios Energéticos Argentina 2030
- Publicaciones sobre el tema

No se realiza una discusión exhaustiva de cada fuente dado que no forma parte del objetivo de este trabajo. De este análisis se forma criterio y se reconocen parámetros y modelos necesarios para realizar las estimaciones objetivo. Para cada indicador objetivo se adopta un modelo de estimación pertinente, generalizado en los antecedentes, de modo de aplicar métodos bien conocidos y avalados por la comunidad internacional.

De los métodos prospectivos utilizados

Método del Factor de Empleo

Para la estimación del empleo generado, se utilizará el método del Factor de Empleo en su actualización metodológica 2015, desarrollado en el Institute for Sustainable Futures de la Universidad Tecnológica de Sydney para Greenpeace International. El mismo fue hecho específicamente para la estimación de los empleos en los reportes Energy [R]evolution, y tiene trayectoria la comunidad internacional.

Se aspira a que la información generada en este trabajo sirva para la complementación a la toma de decisiones y generación de marco normativo a nivel nacional. Para esos fines, son mejores las estimaciones de empleo neto por evaluar el resultado global en la economía. Sin embargo, “estimar impactos netos en el empleo nacional requiere una significativa cantidad de datos y son estudios relativamente caros” (IRENA, 2011). Este método predice solamente empleo directo bruto, pero al momento de la realización del presente trabajo, Argentina se encuentra trabajando a pleno en incrementar la potencia total instalada en la red nacional, concentrándose en las fuentes renovables mediante el programa RENOVAR, pero sin ir en detrimento de las fuentes convencionales. En este sentido se considera que no existe riesgo de destrucción de empleo en el sector de las energías convencionales y que la migración al sector renovable es despreciable. De esta forma no es necesario un enfoque de generación neta de empleo, un enfoque de generación bruta es igualmente válido.

Este método lineal consiste en relacionar los empleos generados con las potencias instaladas, y se ajusta por una serie de multiplicadores que contemplan otros factores fundamentales que afectan al empleo generado, a saber:

- Eficiencia de la mano de obra local
- Proporción de mano de obra y capital local o importado
- Curva de aprendizaje de la tecnología en cuestión

Este modelo distingue entre 3 actividades o sectores según su papel en la cadena de valor:

- Manufactura
- Instalación
- Operación y Mantenimiento

Por cuestiones de escala y vida útil, el análisis de la generación de empleo por renovación de equipos y cierre de los parques son explícitamente dejados fuera del método.

Un esquema general para el uso de este modelo puede presentarse de la siguiente manera:

Ecuación 1: Ecuación general del método del Factor de Empleo

$$E_I = P_{inst} \cdot E_{f,I} \cdot MAR \cdot D_f$$

$$E_M = P_{inst} \cdot E_{f,M} \cdot MAR \cdot D_f \cdot \%L$$

$$E_{O\&M} = P_{acum} \cdot E_{f,O\&M} \cdot MAR \cdot D_f$$

$$E = E_I + E_M + E_{O\&M}$$

Elaboración propia basada en la versión original (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015).

Donde:

- E es el empleo generado en un año para I, M y O&M (instalación, manufactura y O&M).
- P_{inst} : Es la potencia instalada en el año de cálculo.
- P_{acum} : es la potencia instalada acumulada al año de cálculo.
- E_f : Es el "Factor de Empleo" para un año dado, que indica los empleos directos generados por unidad de potencia.
- MAR: es el Multiplicador de Ajuste Regional para un dado año, que corrige el factor de empleo por desarrollo de la economía a lo largo del tiempo.
- D_f : es el Factor de aprendizaje, que corrige el factor de empleo por curva de aprendizaje.
- L_f : es el Factor de localidad, que corrige la cifra para indicar cuando del empleo proviene efectivamente del país.

**Todas son funciones del tiempo.*

Más adelante se desarrolla un apartado específico para cada variable. Para una lectura más profunda sobre el método, el lector puede referirse a la fuente original disponible en Referencias

Método del Factor de Emisiones

Es el método más generalizado para estimar las emisiones de G.E.I. (Gases de Efecto Invernadero), existiendo diferentes niveles de resolución. En el presente trabajo se aplica el nivel 1, apuntando a obtener un resultado orientativo, acompañando la precisión del método anterior y el nivel de incertidumbre respecto a la efectiva conformación de la matriz energética Argentina en cada momento del futuro.

Basado en la conformación de dicha matriz al momento de la realización de este documento, se considerarán las emisiones evitadas como provenientes de centrales de ciclo combinado a gas natural, usando parámetros genéricos, válidos para Argentina.

La bibliografía de referencia para este apartado es: “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” (IPCC, 2006). De esta forma, la ecuación fundamental para este método es la siguiente:

Ecuación 2: Ecuación general de emisiones de GEI

$$Emisiones_{GEI} = Combustible \cdot Factor\ de\ emision_{GEI,combustible}$$

Donde:

- Emisiones_{GEI}: emisiones de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg GEI)
- Consumo combustible = cantidad de combustible quemado (TJ)
- Factor de emisión_{GEI,combustible} = factor de emisión por defecto de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg gas/TJ). Para el caso del CO₂, incluye el factor de oxidación del carbono, que se supone es 1.

Reproducción textual de la fuente.

Como se mencionó anteriormente, se efectúa la simplificación de que el único combustible considerado será gas natural por lo que el único gas de efecto invernadero emitido será dióxido de carbono.

Método de la Proyección del Valor Agregado

Para la estimación del Valor Agregado generado por las actividades implicadas, se toma ventaja de las proyecciones internacionales y regionales oficiales disponibles. Cuando no estuvieren disponibles, se efectúan correlaciones con las mismas y cuidadosas extrapolaciones desde información estadística nacional e internacional.

Ante la imposibilidad de predecir a ciencia cierta el comportamiento del P.B.I. Argentino, no se intenta acotar el mismo. Se expresa el Valor Agregado del sector, según diferentes escenarios de racional probabilidad.

Desarrollo

Análisis de antecedentes

En esta sección se comentan brevemente los “highlights” de las lecturas realizadas, que se tienen en consideración para la elaboración del documento.

La Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) habla de dos cuestiones importantes respecto del despliegue de las energías renovables en el mundo: la velocidad y los costos de la decarbonización de la matriz energética mundial. Por un lado, la velocidad debe ser tal que permita duplicar la participación de las renovables para el año 2030 en línea con el Acuerdo de París. Si bien es un gran desafío, este organismo evalúa que podría lograrse aún más rápido, pero depende fuertemente del compromiso de los países, especialmente de los miembros del G20. Esto afecta directamente a Argentina como país miembro. Por otro lado, los costos de tal velocidad de despliegue son elevados, pero no bien evaluados. Según el organismo, los precios de mercado no reflejan adecuadamente el detrimento social de los combustibles fósiles. Si se considerara en el cálculo el impacto a la salud de la población mundial como enfermedades derivadas de la polución atmosférica que generan los combustibles fósiles, entonces los costos derivados en salud superarían en 10 a 30 veces los costos de la decarbonización energética (IRENA, 2016).

El reporte “Solar PV Jobs & Value Added in Europe” (EY, 2015), se encuentra una correlación directa entre el valor agregado y el empleo generado llegando a la conclusión de que “lo que genera uno, genera también el otro”.

Otra importante conclusión es que, en la experiencia de la UE (Unión Europea) y su futuro previsto, la generación solar fotovoltaica distribuida genera el triple de empleos y valor agregado. Esto, justificado en las economías de escala alcanzables en instalaciones tamaño parque. La generación distribuida de esta forma tiene también un poderoso efecto distributivo, al llamar más actores de menor tamaño a la cadena de valor.

Cerca del 85% tanto del empleo generado como del valor agregado generado, corresponden a las actividades *downstream* (en la cadena de valor, desde el insumo terminado hasta la operación). Por lo que si lo que interesa es la generación de ambas cosas, es más urgente acelerar la instalación de potencia que la industrialización nacional avanzada. De igual modo, un alto grado de generación local de componentes tiene un gran efecto positivo en la balanza comercial.

Toda la bibliografía y experiencias disponibles revelan unívocamente la relación directa que hay entre la instalación de potencia y los estímulos de mercado. Financiación, tarifas diferenciales y otros instrumentos tienen un efecto dramático en la velocidad de despliegue en todos los tamaños por lo que las decisiones político-económicas en Argentina no pueden permitirse el lujo de dudar en su implementación. Poco a poco, la aplicación de un esquema de incentivo tipo “*feed in tariff*” pareciera estar volviéndose un requisito indispensable para el éxito de un despliegue tecnológico distribuido. Lo recíproco también es verdad: un escenario económico y financieramente adverso puede devenir en casos como Brasil, que, aun disponiendo de bastedad de todos los recursos, incluso la reserva de silicio más importante del mundo y la capacidad potencial de desarrollar una industria de silicio propia, el despliegue solar es dificultoso debido a la enorme carga impositiva, los problemas de corrupción y la falta de incentivo económico (Spatuzza, 2016).

El LCOE (Levelized Cost of Electricity) ponderado mundial de las instalaciones PV (PhotoVoltaic) residenciales en 2014 fue de 0,46 USD/kWh significando una reducción de entre 40% y el 66% entre 2008 y 2014, dependiendo de la región. Dentro de esto y en ese último año, se registró que América del Norte y del Sur tienen los promedios ponderados de LCOE más bajos del mundo, de alrededor de 0,12 USD/kWh. Estas grandes reducciones tuvieron como driver principal al abaratamiento de los módulos, llevando a Alemania, Italia y algunas regiones de Australia a la paridad de red. Alemania y China son en promedio los mercados más competitivos en el sector residencial en el mundo. Los costos alemanes de sistemas residenciales cayeron de 7200 USD/kWh en 2008 a 2200 USD/kWh en 2014. Ahora bien, con los precios de los módulos casi estabilizados producto de un decremento marginal absoluto muy pequeño por el avanzado grado de experiencia, el futuro de las reducciones de costos cae sobre los BoS (Balance of System), siendo los softBoS y el abaratamiento de la financiación los más prometedores. La experiencia en Alemania e Italia sugiere que se puede alcanzar una estructura de costos para sistemas residenciales muy eficiente a través de disminuciones de la FIT (Feed In Tariff) y el aumento de la escala. Basado en todo esto, cabe el interrogante de si los BoS costs en Alemania se pueden considerar como el límite inferior de ese parámetro. De ser así, lo que pase en los años siguientes (al 2014) con esos costos en Alemania y China será un buen indicador de hasta donde se debe seguir trabajando en el resto del mundo para reducir los costos regionales (IRENA, 2015).

La aparición en este año de la Ley 27.191 de Energías Renovables es un hecho que no puede ser pasado sin mención. Sin embargo, es poca la información que realmente aporta para el análisis presente, más allá de la meta de 8% de energías renovables en la matriz energética argentina para 2017.

Los antecedentes prácticos con los que podemos contar en el país se corresponden con las experiencias del consorcio IRESUD y los actores que en él participan y el programa PROSUMIDORES de la provincia de Santa Fe. Ambos esfuerzos tienen el mismo objetivo: el fomento y la generación de experiencia local en energía solar distribuida, considerando el incipiente estado de desarrollo de la misma en el país.

El consorcio IRESUD y sus participantes son también los principales contribuidores tanto del presente trabajo como el de la tesis de maestría de Jenyfeer Andrea Martínez Buitrago, en la que se propone y valida un escenario de alta penetración de la tecnología fotovoltaica en Argentina, basada en los resultados del ejercicio Escenarios Energéticos Argentina 2030. En su trabajo, Buitrago también arriba a la conclusión de la factibilidad de un crecimiento exponencial de la tecnología fotovoltaica a la luz de las experiencias internacionales y la opinión de expertos, siempre y cuando el despliegue se dé en un escenario de incentivos y reglas claras. Por su parte, la reglamentación del programa PROSUMIDORES de Santa Fe establece una convocatoria de dos años con un cupo anual máximo de 150 participantes y una potencia nominal máxima para el inversor de la instalación de 1,5 kW, tratándose claramente de los primeros pasos.

Finalmente, Escenarios Energéticos Argentina 2030, el ejercicio prospectivo más importante llevado a cabo en el país hasta el momento ofrece un abanico de escenarios posibles realizados por diferentes instituciones como escenaristas. El despliegue de potencia solar utilizado como punto de partida de esta tesis fue propuesto por Buitrago a partir de una evaluación optimista de los resultados de dicho ejercicio.

Estimación del empleo generado

La estimación de los empleos generados se efectúa en este trabajo mediante el método del Factor de Empleo desarrollado en el Institute for Sustainable Futures para Greenpeace International. Una breve introducción al método se describe en la sección Metodología. Para más detalles el lector puede referirse al texto original que se toma como guía para esta sección (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015).

En esta sección se detalla la selección de inputs y los procedimientos de cálculo, y se presentan los resultados. Las hojas de cálculo pueden encontrarse en Anexo I: Hoja de cálculo de Generación de Empleo.

Determinación de valores de los Inputs

Potencia instalada

La potencia instalada es el input maestro y debe ser seleccionada con total criterio. Afortunadamente, la potencia a instalar para las diferentes fuentes de energía renovable en el país en los años venideros ha sido estudiada en el ejercicio Escenarios Energéticos Argentina 2030. En su Tesis Magistral, Jenyfeer Andrea Martinez Buitrago (Buitrago, 2014) propone y valida ante diferentes expertos un escenario de alta penetración para la tecnología fotovoltaica en Argentina en el periodo 2013 - 2030, como una combinación de los escenarios URE (Utilización Racional de la Energía) propuestos por CADER (Cámara Argentina de Energías Renovables) y FEP (Foro de Ecología Política) en EEA 2030 (Escenarios Energéticos Argentina 2030). En sus resultados, Buitrago provee información cuantitativa sobre el despliegue de potencia solar año a año. A la fecha, y con la implementación de RENOVAR1, el escenario se está cumpliendo. Se adopta entonces dicho escenario como punto de partida de la presente proyección, a partir del año 2018.

Tabla 1 Despliegue de Potencia PV

Año	Potencia Instalada Acumulada (MW)			Pot. Inst. Anual (MW)
	CADER-URE-PV	FEP-URE-PV	Buitrago	
17	483	440	461	-
18	616	484	550	89
19	763	532	647	97
20	924	586	755	107
21	1.101	703	902	147
22	1.296	843	1.069	167
23	1.510	1.011	1.261	191
24	1.746	1.213	1.479	219
25	2.005	1.456	1.730	251
26	2.290	1.892	2.091	361
27	2.604	2.460	2.532	441
28	2.950	3.197	3.073	541
29	3.329	4.156	3.742	669
30	3.747	5.402	4.574	832

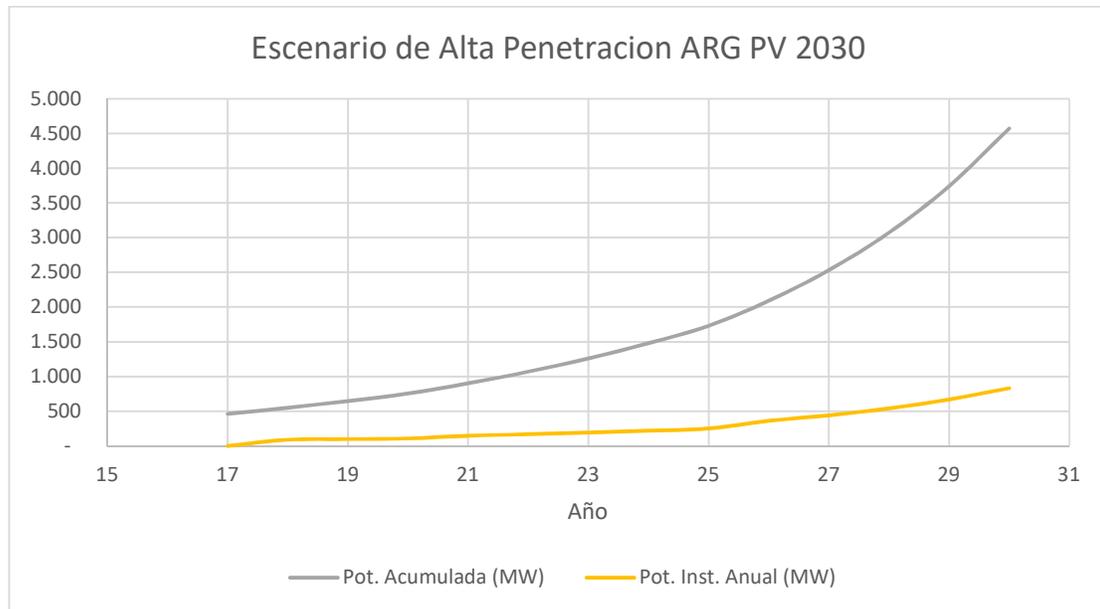


Ilustración 1 Escenario de Alta Penetración ARG PV 2030

Ahora bien, este escenario propuesto por Buitrago, así como los que salen de EEA 2030, aplica para la energía solar fotovoltaica total, no haciendo distinciones entre la escala del proyecto, tensión o su relación con la red (on/off grid). Este estudio persigue estimaciones relacionadas con el despliegue de la energía solar fotovoltaica *distribuida*, entendida como aquella en la que la generación se da on grid, en baja y media tensión (220V – 33 kV), abarcando los segmentos residencial, comercial y comunitario e industrial hasta 10 MW. De esta forma, la potencia instalada *distribuida* será año a año una fracción de la potencia instalada total. En adelante se referirá a esta fracción como *porcentaje de participación* o simplemente *participación*.

Porcentaje de participación

La curva de porcentaje de participación en el tiempo, combinada con la de potencia total instalada, darán lugar a la curva de potencia distribuida instalada.

Ecuación 3: Porcentaje de Participación

$$P_{D,inst} = \%Part \cdot P_{inst}$$

Las diferentes experiencias internacionales muestran como concluye Buitrago que, si bien hay algunas tendencias en la participación de la potencia distribuida respecto de la total, no es una relación unívoca ni directamente “importable” y cada país desarrolla su propia experiencia según sus condicionantes. La forma que tendrá la curva de participación (% de participación vs tiempo) es por lo tanto imposible de saber a priori y su proyección amerita un estudio dedicado. A continuación, se discuten posibles comportamientos para esta curva, aquellos racionalmente susceptibles de tomar, y se adopta uno, orientado por el sentido común y una inspección preliminar.

Participación constante: la potencia instalada de generación distribuida es cada año la misma fracción de la potencia instalada total.

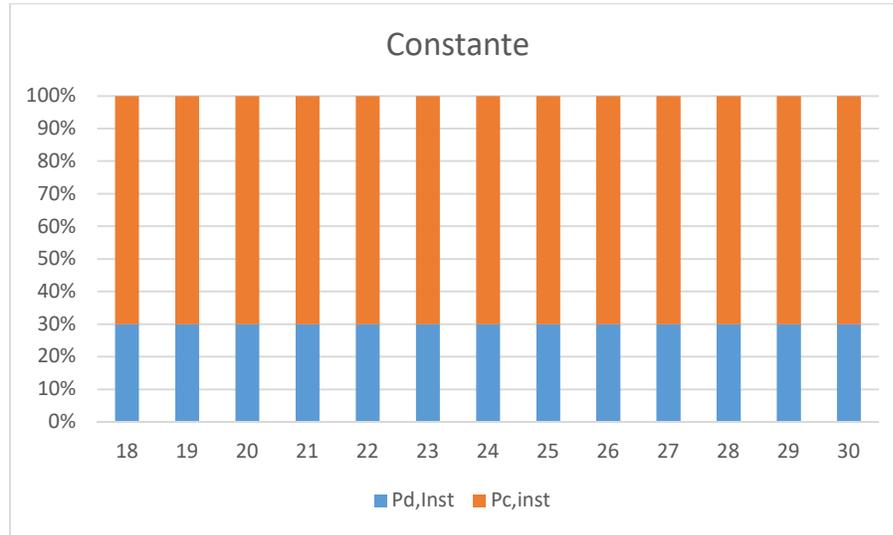


Ilustración 2: Participación constante

Porcentaje linealmente creciente: la participación de la generación distribuida en la potencia instalada anual crece el mismo porcentaje cada año.

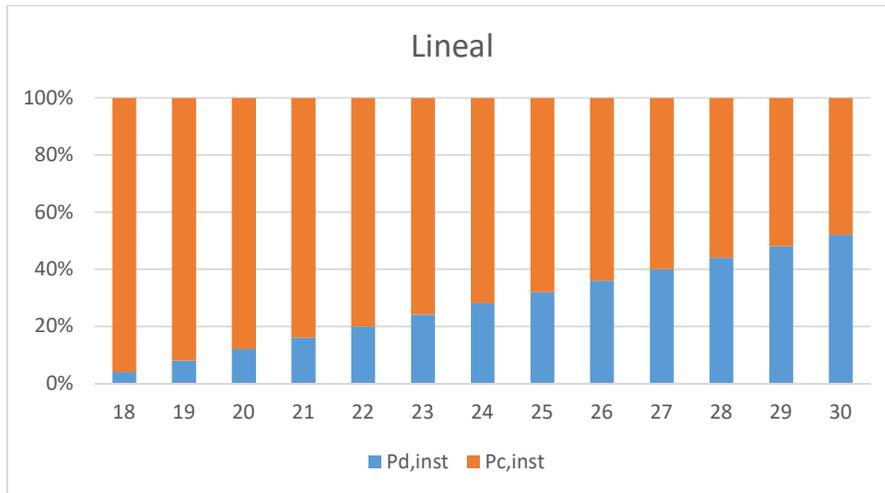


Ilustración 3: Participación linealmente creciente

Participación exponencialmente creciente: la participación de la generación distribuida en la potencia instalada anual crece exponencialmente en el tiempo.

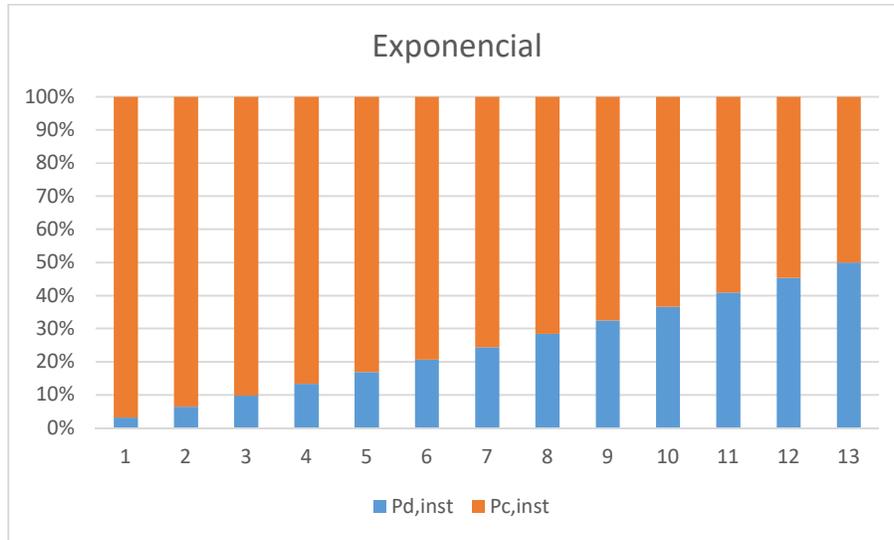


Ilustración 4: Participación exponencialmente creciente.

Participación con comportamiento logístico: la participación de la generación distribuida en la potencia instalada anual crece según el modelo logístico.

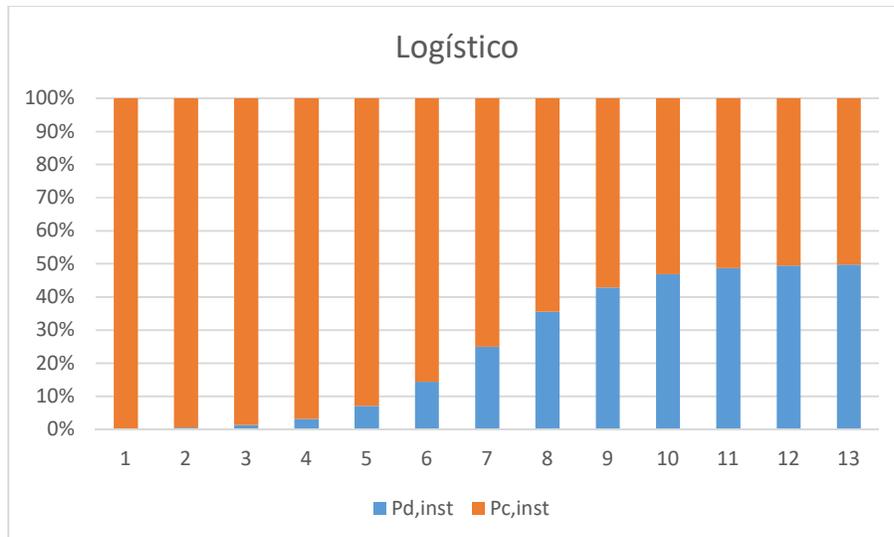


Ilustración 5: Participación con comportamiento logístico.

*Los gráficos son ilustrativos.

La adopción de un modelo logístico es muy cercana a la realidad, dado que las instalaciones fotovoltaicas centralizadas y distribuidas compiten por una potencia instalada total anual (en las condiciones de simulación del presente estudio). Las tres etapas del modelo logístico en realidad son usadas para modelar la introducción de nuevas tecnologías en el mercado:

- Fase Lag: en donde la tecnología está disponible en el mercado, pero aún no es adoptada masivamente por los potenciales usuarios, sino que lentamente se va afianzando. De esta forma los usuarios reconocen y comienzan a aprehender la tecnología de la misma forma en que las poblaciones bacterianas reconocen y comienzan a adaptar sus

metabolismos a nuevos sustratos en la aplicación original de este modelo al estudio de poblaciones.

- Fase de crecimiento exponencial: en la que la tecnología se hace popular y su adopción masiva. Aquí los usuarios desarrollan el hábito de aplicar esta tecnología como un recurso, de la misma forma que las poblaciones bacterianas ya adaptadas comienzan a crecer exponencialmente ante un sustrato virtualmente infinito.
- Fase de saturación: en donde la tecnología satura gradualmente los nichos o encuentra competencia, de la misma forma en la que las poblaciones de bacterias agotan el sustrato y comienzan a reproducirse más lentamente.

En realidad, todos los modelos son el logístico. La única diferencia entre uno y otro caso de los antepuestos, es la escala temporal para el pleno desarrollo de todas las fases. El modelo constante es equivalente al alcanzado en la saturación. El modelo exponencial es todo lo que esta antes, y el modelo lineal puede aproximarse mediante un exponencial de muy baja excentricidad. Sin embargo, el modelo logístico puede presentar muchos parámetros, complejizando el análisis innecesariamente en este caso, como se ve a continuación.

Para elegir criteriosamente, a continuación, se comparan cuantitativamente los métodos vistos.

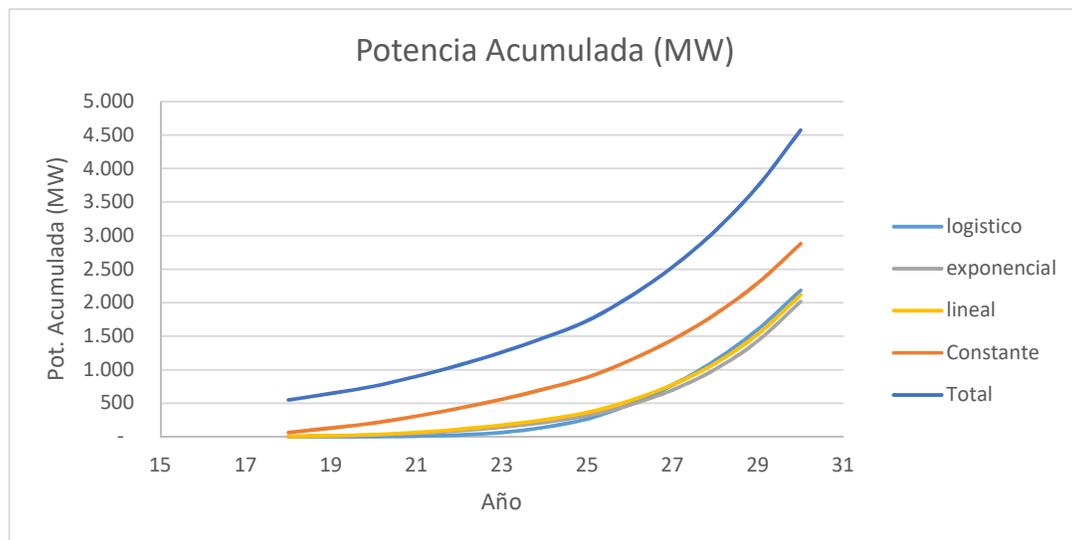


Ilustración 6: Comparación de modelos de participación

En la Ilustración 6: Comparación de modelos de participación, se compara la curva de potencia acumulada total (la suma de distribuida y centralizada) y los modelos de participación antes expuestos. En este ejemplo, todos fueron seteados para que la participación alcance el 50% en el año 2030, esto es que, en dicho año, la mitad de la potencia PV instalada provenga de fuentes distribuidas. En el caso Constante, esta participación ya es 50% desde el principio y a lo largo de todo el periodo simulado. En los otros casos, la participación crece desde 0% hasta 50% según su propia función.

El modelo que claramente se destaca es el de participación constante, mientras que los otros tres muestran curvas muy parecidas. El modelo de participación constante se destaca por dos motivos: por entregar mayores potencias acumuladas a lo largo del tiempo y por tener una correlación aparente muy clara con la potencia total instalada. Este atributo lo hace muy práctico para su aplicación ya que permite efectuar extrapolaciones directas, sin embargo, es

poco realista para la etapa de introducción de la tecnología en el mercado, considerando que tanto el mercado como el marco regulatorio pertinentes en Argentina son virtualmente inexistentes.

De los modelos restantes, se puede apreciar en la gráfica que entregan comportamientos prácticamente idénticos para las potencias acumuladas y recordar que todos terminan en 50% al 2030. Para verlo con más claridad, a continuación, se presentan los coeficientes de Pearson de cada una respecto del promedio:

	Lineal	Exponencial	Logístico
R ²	0,99929087	0,99953574	0,99854971

En este punto y luego de realizar un análisis de sensibilidad para diferentes porcentajes de participación alcanzados para 2030, se llega a la conclusión de que el modelo lineal, exponencial y el logístico producen prácticamente la misma curva de potencia acumulada para el mismo valor final de participación, en el periodo de proyección. Teniendo en cuenta esto y el error intrínseco al método del Factor del Empleo, y a los fines de la elaboración del presente pronóstico, se adopta el modelo de crecimiento lineal del porcentaje de participación por su practicidad. El mismo posee solo un parámetro: la pendiente (esto es porque suponemos que la potencia distribuida instalada en 2017 es despreciable). Además, usar la pendiente de esta recta como parámetro tiene una interpretación física directa, muy adecuada para aplicaciones prácticas: habilita a pensar en términos de “porcentaje anual”, significando exactamente eso y solamente eso. A diferencia de esto, el modelo exponencial es más acertado para describir el fenómeno, logrando un ajuste ligeramente mejor, y también tiene un solo parámetro (en este caso). Sin embargo, este parámetro no tiene una interpretación física tan directa como el caso lineal, algo muy valioso al interpretar los resultados posteriores.

Se adopta entonces modelo lineal.

Respecto de los valores adoptados por esta variable, los expertos entrevistados coinciden en que al año 2030, la generación distribuida en consideración (residencial, comercial e industrial) es factible de representar el 50% de la potencia PV total en Argentina. Se considerará entonces para el cálculo un crecimiento lineal hasta este valor en 2030 como fue expuesto anteriormente.

Factor de Empleo

El Factor de Empleo (Employment Factor) es la principal relación lineal entre la potencia instalada y el empleo directo generado, presentando variaciones continuas en el tiempo, el espacio y la actividad que debe ser tenidas en cuenta.

Para las actividades Manufactura e Instalación depende de la Potencia Instalada anual. Tiene la forma:

$$E.F. (I\&M) = \frac{Jobs \cdot year^1}{MW_{inst}}$$

¹ 1 job-year = 2080 man-hours. (conv): 1 año = 52 semanas, 40 horas laborables semanales.

Mientras que, para las actividades de Operación y Mantenimiento, depende de la Potencia Instalada Acumulada y tiene la forma:

$$E.F. (O\&M) = \frac{Jobs}{MW_{acum}}$$

En la bibliografía no existen Factores de Empleo tabulados para Argentina o siquiera Latinoamérica. En estos casos la misma sugiere:

- a. La derivación de Factores de Empleo locales por medios propios.
- b. La aplicación de un Multiplicador de Ajuste Regional (MAR) para ajustar los Factores de Empleo tabulados para la OECD al caso particular.

Para el caso argentino no existen ninguna de las dos opciones. Lo más cercano es un MAR para el bloque Latinoamérica, mediante el cual pueden obtenerse Factores de Empleo aplicables al mismo. El MAR es en esencia la inversa del ratio de productividad de la mano de obra local respecto de la del bloque central de la OECD, expresados en GDP (o en su defecto, Valor Agregado) por trabajador del sector. Esto intenta expresar la cantidad de trabajadores locales que son necesarios para hacer el mismo trabajo que un trabajador del mismo sector del bloque central de la OECD. Esta diferencia estaría justificada en la relación entre el costo de la mano de obra y la automatización, según el desarrollo socio-económico y tecnológico de cada país.

Para la derivación de un MAR y su evolución en el tiempo son necesarias series históricas locales de:

- Valor Agregado por sector de la economía
- Trabajadores por sector de la economía

Con ambos se obtiene el Valor Agregado por trabajador de cada sector.

En los valores tabulados en la bibliografía, se deja fuera el sector Agropecuario debido a que en general sus actividades no guardan relación con las energías renovables salvo en el caso de la producción de granos para fuel-oil y además, su productividad per cápita difiere mucho de los otros sectores, distorsionando el número. Por consistencia, se procede aquí de la misma forma.

En el presente trabajo, la serie histórica para Valor Agregado por sector se obtiene desde PBI Revisado a agosto 2016 (INDEC, 2016). La serie histórica para Trabajadores se obtiene del Ministerio de Trabajo (MTEySS, 2016).

Se efectúa el cálculo y se normaliza a US\$ 2005 PPP², divisa de referencia de la OECD, para su comparación con los valores tabulados. El resultado indica una productividad por trabajador argentino extremadamente baja, incluso comparado con el bloque Latinoamérica, dando un MAR de aproximadamente 24, contra un valor aproximado de 3 para este último, y un máximo registrado en la bibliografía de 6.9 para India. El detalle de los cálculos puede encontrarse en Anexo II: Hoja de cálculo de Valor Agregado.

Ante tal dispersión se procede a intentar conseguir información de primera mano entrevistando a actores relevantes en el sector PV argentino, del ámbito tanto público como privado. Si bien ambos dieron feedback, las respuestas concretas útiles para la tabulación de datos provinieron indistintamente de empresas privadas especialistas en Instalación. Dado el incipiente desarrollo

² "Purchasing power parities (PPPs) are the rates of currency conversion that equalise the purchasing power of different currencies by eliminating the differences in price levels between countries." Desde OECD Database.

de las energías renovables en Argentina, el sector público no cuenta aún con datos, y por su parte la experiencia de las empresas nacionales dedicadas a la manufactura de componentes PV es prácticamente irrelevante. Sin embargo, las empresas instaladoras si cuentan tanto con experiencia como con personal de trayectoria dentro y fuera del país, por lo que los datos que puedan otorgar son el mejor reflejo de la verdadera performance argentina en materia de instalación PV. Las personas que gentilmente colaboraron con su información fueron Alejandro Zitzer por parte de Aldar S.A. y Matias Irigoyen por parte de MWh Solar.

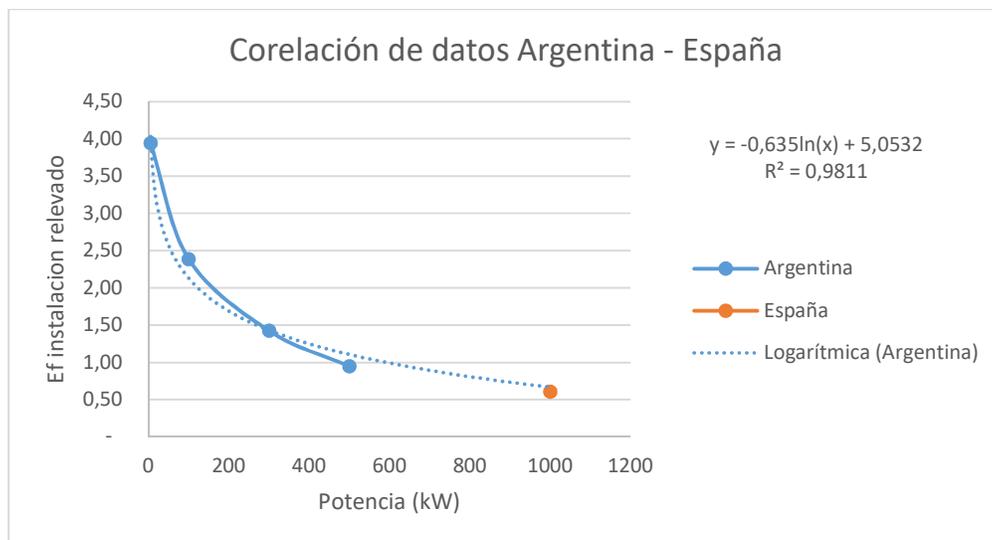
De esta forma se procederá a derivar un factor de empleo local para el sector de Instalación mediante los datos provistos por las empresas, y usar ese mismo factor para generar un MAR con el cual importar los factores para los sectores de Manufactura y O&M desde la bibliografía.

En primer lugar, se tabulan las respuestas sobre HH (horas hombre) necesarias para el diseño e instalación de potencia fotovoltaica en un rango de interés. Los valores corresponden al diseño y montaje mecánico y eléctrico de las instalaciones exclusivamente:

Tabla 2: Fuerza de trabajo necesaria para la Instalación PV

Pot (kW)	Diseño			Construcción			D+C	
	HH	d·H	job-years	HH	d·H	job-years	Job-years	j·y/MW
5	1	0,13	0,0005	40	5	0,0192	0,02	3,94
100	16	2	0,0077	480	60	0,2308	0,24	2,38
300	20	2,5	0,0096	800	100	0,3846	0,39	1,31
500	24	3	0,0115	960	120	0,4615	0,47	0,95
1000	160	20	0,0769	1100	137,5	0,5288	0,61	0,61

El dato correspondiente a 1000 kW instalados, proviene de una experiencia nacional en España. Como se puede apreciar numérica y gráficamente, la correlación muy buena, haciendo válida en adelante la consolidación de los datos y la comparación del caso argentino con el español.



Ef 1000 kW relevado (España)	Ef 1000 kW simulado (Argentina)	Error relativo
0,61	0,66	9%

El trabajo español más relevante y tenido en cuenta para formar la compilación de cabecera utilizada en esta Tesis, es “Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach” (Llera, Scarpellini, Aranda, & Zabalza, 2013). En el mismo, los autores encuestan y entrevistan a un número de empresas españolas de todos los sub-sectores PV para intentar caracterizar la intensidad y distribución de generación de empleo en energía solar fotovoltaica en España y con esa información ajustar un modelo sencillo de predicción de empleo, de manera similar al este trabajo. A continuación, se presenta un desglose de los números por ellos tabulados.

Tabla 3:Desglose del factor de empleo España 2013 (Llera, Scarpellini, Aranda, & Zabalza, 2013).

Job [Jobs-years/MW]	Installation			Project/Studies	Total	
	Subtotal	1rios	2darios	Secundarios	Total	Secundarios
Managers	1,06	1,06		0,08	1,14	0,08
Tech consultants	1,35		1,35	0,17	1,52	1,52
Salesman	0,67		0,67	0,03	0,7	0,7
Installers	2,31	2,31			2,31	
Operators	0					
Maintenance staff	0					
Admin staff	0,67		0,67	0,05	0,72	0,72
Total jobs	6,06	3,37	2,69	0,33	6,39	3,02

En la tabla se puede interpretar como se compone un factor de empleo para el sector “Instalación” de 6,39 jobs-year/MW para España en el 2013 compuesto por 2 subsectores: “Instalación” y “Proyectos/estudios” cada uno con su propio factor de empleo que luego se suman. El primer subsector representa los empleos generados por la actividad ordinaria de la empresa promedio en diferentes categorías dando un factor de empleo de 6,06 jobs-year/MW. Dentro del mismo se hace aquí la distinción entre “primarios” y “secundarios” para diferenciar entre los que participan activamente en el diseño, instalación electro-mecánica y supervisión, y los que desempeñan otras funciones complementarias dentro de la empresa que no son necesarias a pequeña escala pero aparecen a medida que la misma gana complejidad. De esta forma, los “instalación primarios”, cuyo factor de empleo informado es 3,37 jobs-year/MW se corresponden con los relevados para el caso argentino que evolucionan desde aproximadamente 4 jobs-year/MW y tienden a 0,6 jobs-year/MW a medida que se aumenta la escala del proyecto.

El segundo subsector se corresponde con el diseño de proyectos de gran escala e I+D dentro de la misma empresa con un factor de empleo de 0,33 jobs-year/MW. Al igual que los secundarios, se puede interpretar que este tipo de actividades solo aparece en las empresas a medida que estas crecen en tamaño, y complejidad y cuentan con un horizonte claro a futuro que las incentive a invertir en I+D para bajar sus costos en futuras instalaciones. Por las consideraciones de escala y función en relación a la instalación, este subsector se puede considerar como “secundario”.

Si proponemos que en el mercado habrá dos grandes grupos de empresas: las pymes, que tomaran los casos de menor envergadura: PV residencial y pequeños comunitarios y comerciales; y empresas grandes orientadas al sector industrial y grandes comerciales y comunitarios, con un límite difuso entre uno y otro segmento, podemos proponer una aparición

gradual de empleo secundario en el factor de empleo total. En este nivel de resolución, un crecimiento lineal del mismo con la potencia instalada, para un pleno desarrollo en los 500 kW es una hipótesis razonable y entrega la siguiente información:

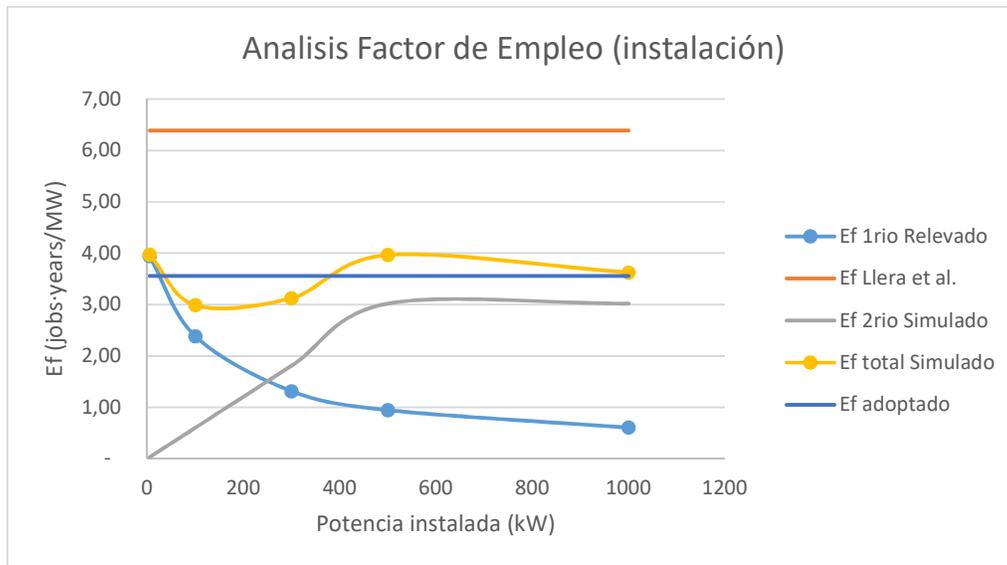


Ilustración 7: Análisis de Factor de Empleo

En primer lugar, podemos ver todas las combinaciones de factores de empleo en Instalación para Argentina 2016 ocurriendo por debajo de aquel para España 2013. Mientras la potencia instalada crece, la mano de obra primaria decrece por economía de escala al mismo tiempo que la actividad de la empresa gana complejidad sumando empleo secundario para dar un empleo total relativamente constante a lo largo del rango 0 – 1 MW para pseudo-estabilizarse (primario logarítmico + secundario constante) de ahí en adelante. Si se toma el valor medio del total en el intervalo (Teorema del Valor Medio Integral), obtenemos un único factor de empleo de instalación válido para aproximar tanto para la pequeña como la grande escala:

Ecuación 4: Factor de Empleo Instalación Argentina 2016

$$E_{f,inst} = 3,56 \frac{\text{job} \cdot \text{year}}{\text{MW}}$$

Este es un valor bastante por debajo de la dispersión bibliográfica, sin embargo, es necesario prestar atención a lo siguiente:

1. La alteración de los valores bibliográficos por el paso del tiempo: los valores informados en la bibliografía son en su mayoría correspondientes a los años 2009 – 2012. Desde este momento es esperable un descenso importante de los mismos, en alrededor de un 30% por el factor experiencia como se verá más adelante. Un ejemplo de esto es el hecho de que el LCOE promedio ponderado mundial se redujo alrededor de un 50% según la región del mundo en el periodo 2008 – 2014 y los costos blandos de los PV residenciales alemanes se redujeron un 70% en el mismo periodo (IRENA, 2015).
2. Este último fenómeno fue relevado en Alemania e Italia, motivados por una contracción del mercado y reducciones en las FIT. Para mantener su competitividad, el sector de instalación PV residencial respondió con tal optimización de sus costos blandos (IRENA, 2015). Se propone en la bibliografía la probabilidad de que los desafíos del mercado

efectivamente tengan este efecto en las estructuras de costos. De esta forma, probablemente los desafíos permanentes a los que se enfrentan las empresas argentinas como las condiciones precarias del mercado de mano de obra, factores tributarios, barreras arancelarias y burocráticas a la inversión e importación de equipo, son motivo del desarrollo de una estructura de costos muy liviana adaptada a estas condiciones. Varios de estos factores fueron explícitamente señalados en la experiencia nacional como las principales barreras a superar para la ulterior reducción de los costos blandos (Zitzer, 2017).

3. La premisa en este campo es que un costo de mano de obra más bajo origina una mayor demanda de la misma, de modo que los factores de empleo tienden a subir con su abaratamiento y viceversa. Sin embargo, este razonamiento no tiene en cuenta la flexibilidad laboral en la región de estudio y su influencia en las nóminas organizacionales, que al contraerse exigen una mayor productividad de parte del personal contratado y fuerzan a las empresas a tercerizar actividades con la consecuente influencia en las estadísticas. Mas estudio sería necesario sobre la relación entre los factores de empleo, productividad y la flexibilidad laboral.

Dicho todo esto, a este punto cabe recordar que este Factor de Empleo es para las actividades de “Instalación”. Respecto de las actividades de Manufactura y O&M, a la fecha no existe todavía en el país suficiente experiencia para entregar números representativos. Los Factores de Empleo relacionados a estas actividades se adaptan de la experiencia internacional (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015) mediante el MAR derivado del Factor de Empleo recién adoptado.

De esta manera se tiene:

Tabla 4: Resumen de Factores de Empleo básicos y MAR al 2015-2017

Local	Factor de Empleo (Instalación)	MAR	Factor de Empleo (Manufactura)	Factor de Empleo (O&M)
OECD Central	13	1	6,5	0,7
Argentina (adoptado)	3,56	0,27	1,78	0,19

Los Factores de Empleo quedan así adoptados para el caso argentino 2015-2017. En las secciones siguientes se ajusta por evolución de la tecnología PV y economía de la región. También es posible apreciar como la utilización del MAR como un proxy para índice de productividad en unidades físicas, como sugiere el método, puede ser un error en casos como el de Argentina en los que se termina subestimando la misma basado en su bajo poder adquisitivo. Este fenómeno sería asequible de observar en países con estructuras salariales poco desarrolladas como otros países de América Latina y Asia.

Multiplicador de Ajuste Regional (MAR)

En esta sección se obtiene la proyección del MAR para Argentina en los años 2015 – 2030, asumiendo la evolución económica de Argentina respecto de la OECD, a la par del bloque Latinoamérica.

El Multiplicador de Ajuste Regional (MAR) lleva la información de la relación de performance de los trabajadores en economías centrales vs periféricas. Como tal, no es estático, sino que evoluciona en el tiempo a la par de ambas como una distribución continua. En este método se discretiza anualmente a la par de la actualización de los indicadores económicos de los países.

En la última actualización del método, el MAR se presenta en 3 valores, correspondientes a 2015, 2020 y 2030, para las diferentes regiones que analiza Energy [R]evolution (Greenpeace Int, Global Wind Energy Council, SolarPowerEurope, 2015) definidas en World Energy Outlook (I.E.A., 2015), mostrando en cierta forma la distribución espacio-temporal del desarrollo económico proyectado para el mundo en ese periodo.

Para obtener la distribución correspondiente para Argentina, se ajustan los 3 valores correspondientes para Latinoamérica, se simula la distribución completa año a año, y luego se obtiene la curva correspondiente para Argentina por correlación de los valores a 2015.

Tabla 5: Correlación de las Evoluciones MAR LA - MAR ARG

AÑO	MAR LA BIB	MAR LA SIM	MAR ARG SIM
15	3,4	3,40	0,27
16		3,39	0,27
17		3,37	0,27
18		3,35	0,27
19		3,33	0,27
20	3,3	3,30	0,27
21		3,27	0,26
22		3,24	0,26
23		3,21	0,26
24		3,17	0,26
25		3,13	0,25
26		3,09	0,25
27		3,05	0,25
28		3,00	0,24
29		2,95	0,24
30	2,9	2,90	0,23

Factor de Aprendizaje (Technology Decline Factor)

El Factor de Aprendizaje es aquel con el cual se afecta el Factor de Empleo por la curva de aprendizaje de la tecnología en cuestión. De esta forma, el Factor de Empleo disminuye año a año, expresando reducciones en los costos e intensidad de uso de mano de obra en las actividades, debido a la experiencia adquirida.

El fenómeno de aprendizaje se da como reducción de costos respecto de la potencia instalada/producida acumulada. Se desprende que, ante la existencia de diferentes segmentos de mercado, cada uno puede ganar experiencia y destrabar mayores reducciones de costos en función de la intensidad con la que instale potencia (quien más trabaje, más aprende). Lo mismo vale para los diferentes sectores estudiados: Manufactura, Instalación y O&M. Los segmentos y

actividades más atractivos para invertir se desarrollarán y abaratarán de esta forma más rápido, iniciando un círculo virtuoso de economía e inversión.

Vale entonces identificar como se posicionan los segmentos estudiados en el presente trabajo en este contexto. Para esto nos valdremos de la información oficial de los proyectos PV adjudicados en el Programa RENOVAR 1 Y 1,5 al momento de realización de este trabajo, y datos sobre precios llave en mano (LEM) proporcionados por dos empresas locales con experiencia en el sector.

ALDAR, precios LEM:

Potencia (KW)	Potencia (KW)	Precio llave en mano (US\$/W)
0 - 20	10	3,5
100 - 1000	500	2,65
>1000	1000	2,2

MWh Solar, Precios LEM:

Potencia (KW)	Precio llave en mano (US\$/W)
5	4
300	2
500	2
10.000	1,4

Ambas series de dato se consolidan de forma armónica y se verifican con la experiencia internacional relevada por IRENA (International Renewable Energy Agency) (IRENA, 2015).

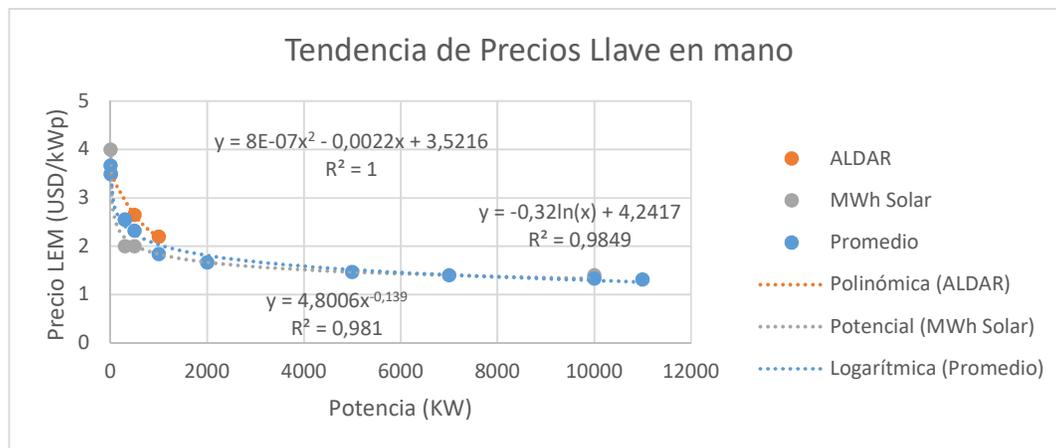


Ilustración 8: Tendencia de los precios LEM PV en Argentina

A continuación, se utiliza la información de precios LEM precedente y la de los precios adjudicados por RENOVAR para la energía producida para mapear en forma grosera el potencial

económico de los diferentes tamaños de proyectos. Por simplicidad se omiten el costo del transporte y otros posibles aranceles que hacen a los costos variables del proyecto por necesitar un posterior análisis particular para cada caso.

$$\% = \text{Ingresos} - \text{Costos Fijos} - \text{Costos Variables}$$

Suposiciones:

- De 0 a 300 kW no hay todavía establecido un sistema o precio de compensación.
- De 300 kW a 10 MW corren los precios por MWh adjudicados por Renovar.
- El costo de O&M de las instalaciones es de 19.000 USD/MW·año (Irigoyen, 2017).
- Factor de capacidad de 0,2 y una vida útil del proyecto de 30 años.
- Se omiten los costos variables.

Tabla 6: Estimación del beneficio neto de los diferentes tamaños de proyectos PV.

Origen del punto	Potencia (KW)	Precio LEM simulado (USD/W)	Precio de la instalación (USD)	Costo de O&M (19000 USD/MW-año)	Energía total generada (30 años, f.pot = 0,2) [MWh]	Precio LEM + O&M/ Energía total producida [USD/MWh]	Precio adjudicado (USD/MWh)	Beneficio Neto (USD/MWh)
Simulado	5	3,674	18.372	2.850	263	81	-	
	10	3,493	34.927	5.700	526	77	-	
	300	2,553	765.927	171.000	15.768	59	-	
	301	2,552	768.070	171.570	15.821	59	60	1
	500	2,323	1.161.316	285.000	26.280	55	60	5
	1.000	1,838	1.837.788	570.000	52.560	46	60	14
Renovar	1.150	1,802	2.072.795	655.500	60.444	45	60	15
	1.700	1,707	2.902.098	969.000	89.352	43	60	17
Simulado	2.000	1,669	3.337.969	1.140.000	105.120	43	60	17
	5.000	1,469	7.346.977	2.850.000	262.800	39	60	21
	7.000	1,402	9.815.783	3.990.000	367.920	38	60	22
	10.000	1,334	13.344.292	5.700.000	525.600	36	60	24
Renovar	11.000	1,317	14.485.538	6.270.000	578.160	36	60	24
	13.500	1,280	17.278.773	7.695.000	709.560	35	58,98	24
	14.080	1,272	17.916.056	8.025.600	740.045	35	56,7	22
	71.000	1,016	72.148.775	40.470.000	3.731.760	30	53,3	23
	100.000	0,969	96.893.696	57.000.000	5.256.000	29	51,93	23

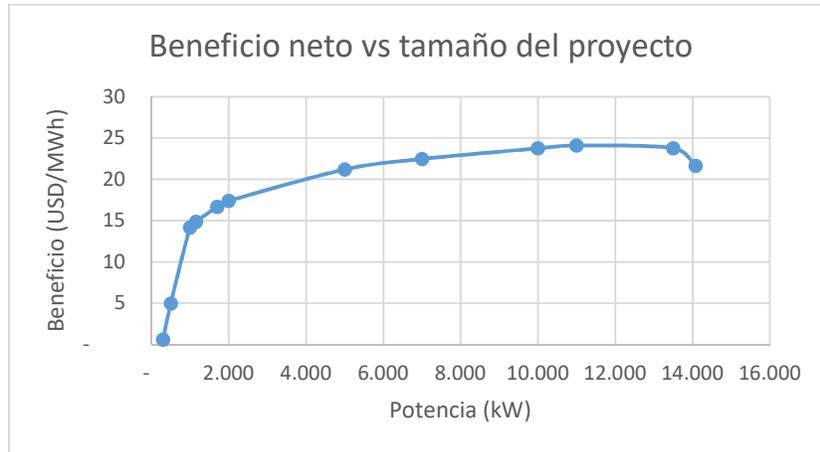


Ilustración 9: Beneficio neto vs tamaño del proyecto

En la figura puede observarse un máximo local entorno a los 12 MW en el extremo superior del intervalo de potencia de interés de este trabajo, a partir del cual comienza el descenso de los precios adjudicados a la energía producida. Dentro del segmento 300 kW – 10 MW podemos observar un precio adjudicado constante y máximo haciendo este segmento más atractivo a la inversión, interpretando esto como una forma de fomento a la energía distribuida. Esto probablemente tiene que ver con la conveniencia técnica de este tipo de generación: al ser instalaciones bajas, silenciosas y sin emisiones, son óptimas para instalar en zonas urbanas y peri-urbanas, próximas a los puntos de consumo, en bajas y medias tensiones, se reduce la complejidad y escala de la red necesaria para la interconexión y el transporte reduciendo los costos y estabilizando la red. Esto es particularmente importante en los extremos de red que por su ubicación están más propensos a un déficit en el servicio pero que por su demanda y capacidad de transporte no justifican ni soportarían generación en alta tensión. La práctica habitual en Argentina es la instalación en estos lugares de usinas de combustible fósil para reforzar la tensión de red. Las instalaciones fotovoltaicas distribuidas podrían bien reemplazar esas usinas para entregar energía limpia y barata al extremo de red en la tensión adecuada y con un costo de transporte muy reducido si acaso alguno, durante las horas de sol que son también habitualmente cuando más se la necesita por ejemplo para la refrigeración de hogares en las zonas cálidas del país.

Ahora bien, basado en las realidades antes mencionadas, es esperable que la mayor parte de la potencia solar distribuida a instalar se encuentre dentro del bloque 300 kW – 10 MW, y que dentro de eso abunden las instalaciones en tierra más que en los grandes techos, dada la disponibilidad y costo de terreno en Argentina. Esto tendría un impacto sustancial en la curva de aprendizaje local en la PV “ground mounted” (expresada a través del factor de aprendizaje “Df”) en los tres sectores (Manufactura, Instalación y O&M) al ser esta experiencia en buena parte intercambiable con el segmento de “Utility” por sus similitudes. De esta forma el intercambio de experiencia entre los segmentos y la posibilidad de importación de know how desde actores experimentados permitiría el desbloqueo de una cada vez mayor competitividad de la energía PV en Argentina (Irigoyen, 2017).

Aun atendiendo a lo antedicho el factor de aprendizaje es de vital importancia en cualquier prospección tecnológica e influye fuertemente también en este caso, por lo que su selección

debe ser criteriosa. En este apartado se adoptará la misma propuesta de trabajo de Energy [R]evolution para proceder de forma conservadora, pero sin restar validez al punto anterior.

La curva de aprendizaje empírica de la energía solar fotovoltaica es bien conocida y común a todos los mercados. A partir de esta, la bibliografía pronostica una reducción en los costos del 41% en el periodo 2015 – 2030. Se despeja el Factor de Aprendizaje desde su definición:

Ecuación 5: Definición de Factor de Aprendizaje (Decline Factor)

$$E_f|_n = E_f|_i \times D_f^{n-i}$$

Donde i y n son los años del principio y el final del periodo del cálculo respectivamente. Ef y Df son los factores de empleo y aprendizaje respectivamente. Despejando Df:

$$\sqrt[n-i]{\frac{E_f|_n}{E_f|_i}} = D_f$$

Y resolviendo para el pronóstico informado:

Ecuación 6: Factor de aprendizaje para Argentina

$$\sqrt[2030-201]{\left(\frac{1-0.41}{1}\right)} = D_f = 0,965$$

Factor de Localidad

El Factor de Localidad (% Local) aplica solamente a las actividades de Manufactura y expresa la participación local en la provisión de equipamiento para los proyectos, es decir, que porcentaje de los equipos utilizados provienen de manufactura nacional.

En este caso, los valores tabulados para Latinoamérica en la bibliografía no concuerdan con ninguna de las experiencias relevadas, por lo que se descartan. Según los expertos consultados, el incipiente desarrollo del mercado solar en Argentina hace imposible establecer estadísticas concretas para este valor (Eyras, 2016). Sin embargo, algunos valores emergen en la práctica diaria. Hoy en día en los proyectos on-grid de baja y media tensión, la proporción de componente nacional ronda el 30% (Zitzer, 2017) y (Irigoyen, 2017). Además, los primeros pasos de la industria manufacturera PV dedicada, y la I+D de las ya establecidas para el desarrollo de material solar hace posible pensar en un 60% de componente nacional dentro de la próxima década (Irigoyen, 2017). Dentro del 40% restante se hallan componentes que, por diversas cuestiones, su desarrollo nacional no se justifica, como es el caso del silicio.

Se adopta entonces un crecimiento lineal del factor de localidad como fue definido en el párrafo precedente, con una velocidad de crecimiento del 2,14% anual.

Tabla 7: Tendencia del factor de localidad.

Año	%Local
2016	30%
2018	34%
2030	60%

De esta manera quedan definidos todos los parámetros para llevar a cabo la estimación de la generación de empleo. Al finalizar las estimaciones se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos para Empleo, respecto de:

- Porcentaje de participación
- Factor de empleo de instalación adoptado
- Porcentaje de localidad

Y dejando al lector para su consideración que los números de Valor Agregado son lineales en el empleo y los números de Emisiones evitadas son lineales en la potencia acumulada.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de las proyecciones de empleo para el periodo 2018 – 2030, más los análisis de sensibilidad para los factores relevantes. La Hoja de cálculo completa puede encontrarse en Anexo I: Hoja de cálculo de Generación de Empleo

Tabla 8: Total de Empleos generados por Escenario de participación de la industria nacional

Curva de Despliegue Part=50%			Employment Factors Finales			% Local	Jobs			
Año	Pot. Acum (MW)	Pot. Inst. (MW/año)	I	M	O&M	60% 2030	I	M	O&M	Total
17	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0	3	3,17	1,58	0,17	34%	11	2	-	13
19	3	7	3,04	1,52	0,16	36%	23	4	1	27
20	16	12	2,91	1,45	0,16	39%	36	7	2	45
21	38	23	2,79	1,39	0,15	41%	63	13	6	82
22	71	32	2,66	1,33	0,14	43%	86	18	10	114
23	115	44	2,55	1,27	0,14	45%	112	25	16	153
24	174	59	2,43	1,21	0,13	47%	143	34	23	200
25	251	77	2,32	1,16	0,12	49%	179	44	31	254
26	376	125	2,21	1,10	0,12	51%	276	71	45	391
27	545	169	2,10	1,05	0,11	54%	356	95	62	513
28	774	229	2,00	1,00	0,11	56%	457	127	83	668
29	1083	309	1,90	0,95	0,10	58%	586	169	111	866
30	1499	416	1,80	0,90	0,10	60%	748	224	145	1.118

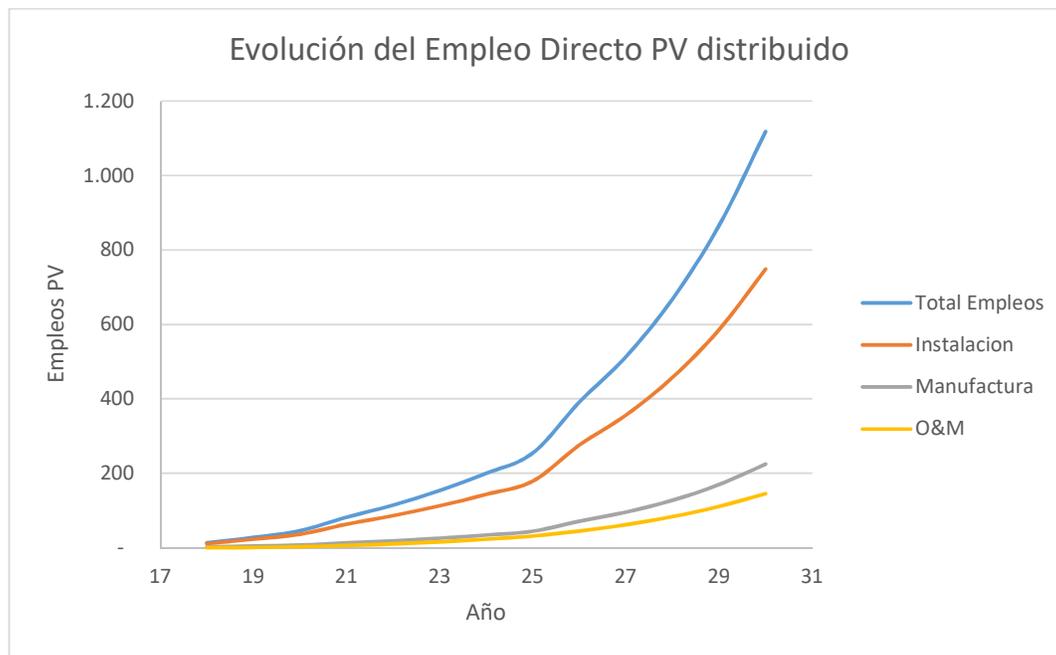


Ilustración 10: Evolución del empleo directo en PV distribuida en Argentina 2018 - 2030

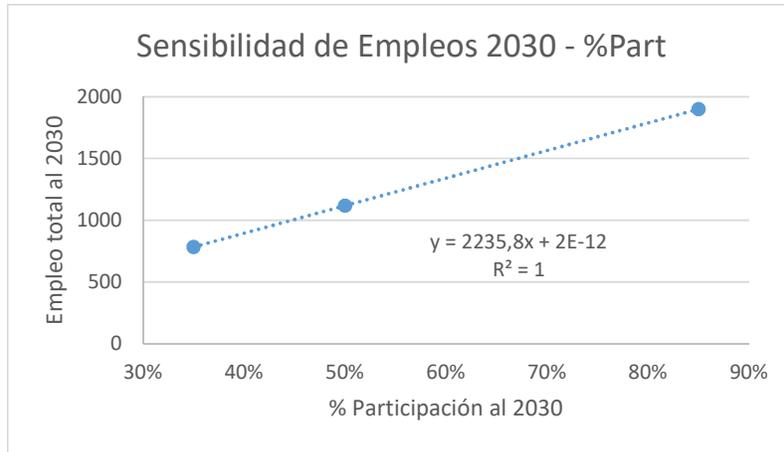


Ilustración 11: Sensibilidad de Empleos 2030 al porcentaje de participación

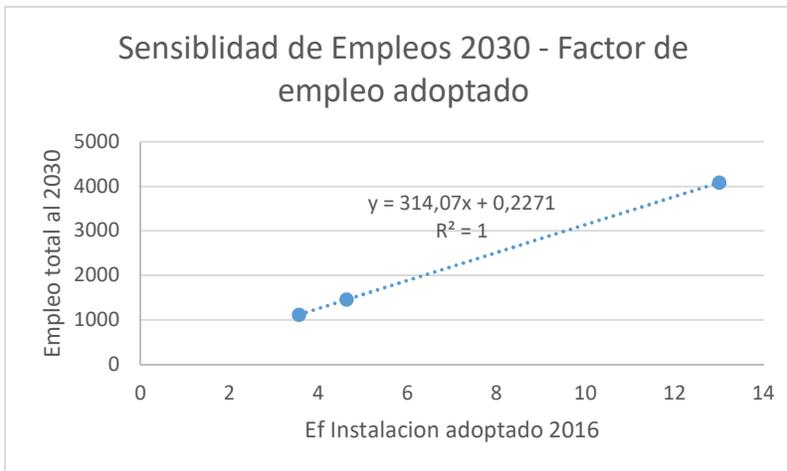


Ilustración 12: Sensibilidad de Empleos 2030 al Factor de Empleo de instalación adoptado.

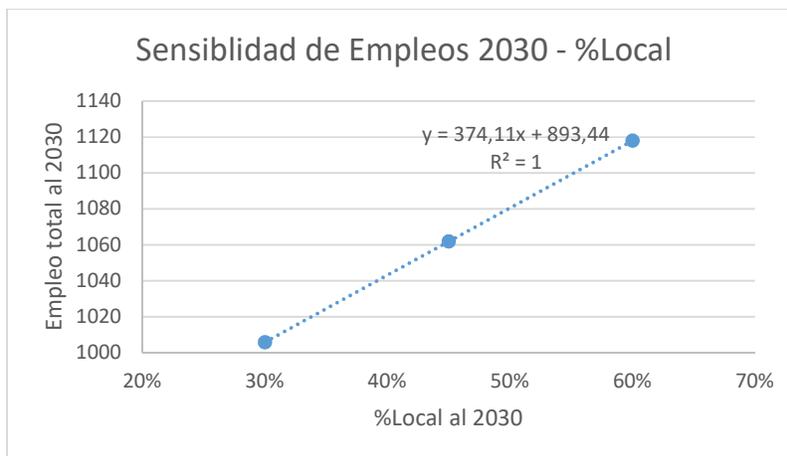


Ilustración 13: Sensibilidad de Empleos 2030 al factor de localidad.

Estimación de las emisiones evitadas

En esta sección se estiman en forma directa las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas por la producción eléctrica del despliegue fotovoltaico considerado. Para esta estimación se utiliza el método del Factor de Emisiones, Nivel 1. El método se ejecuta de acuerdo al manual de procedimientos del IPCC (IPCC, 2006).

También se estiman el impacto marginal en la huella de carbono personal de los habitantes argentinos y el ahorro en gas natural equivalente, si se considera que la generación fotovoltaica actuaría a nivel país en “fuel saving mode”, reemplazando la generación en una central de ciclo combinado a gas natural. No se incluyen los ahorros dinerarios por la dispersión y volatilidad inherente a los precios, el lector puede efectuar el cálculo con valores del momento.

A continuación, se detalla la secuencia de cálculo, ecuaciones y valores utilizados con sus respectivas fuentes. Para una lectura más fluida, **se omiten los factores de conversión de unidades.**

1. Cálculo de la producción anual de energía eléctrica PV

$$E_{PV,i}[GWh] = P_{acum,i}[MW] \cdot F.C. \cdot 8760 [h]$$

Variable	Descripción	Valor	Fuente
E _{PV,i}	Energía anual producida en el año “i”	Output	
P _{acum,i}	Potencia PV instalada acumulada al año “i”	Input	(Buitrago, 2014)
F.C.	Factor de Capacidad de planta PV	0,2	Valor universal

2. Cálculo del Gas Natural equivalente

$$GNE_i[TJ] = \frac{E_{PV,i}[GWh]}{e_{ccg}}$$

Variable	Descripción	Valor	Fuente
GNE _i	Gas natural equivalente en el año “i”	Output	
e _{ccg}	Eficiencia del ciclo combinado a gas natural	0,55	

3. Cálculo de las emisiones evitadas

$$GEI_i[Ton CO_{2,eq}] = GN_i[TJ] \cdot F.E. \left[\frac{Kg CO_{2,eq}}{TJ GNE} \right]$$

Variable	Descripción	Valor	Fuente
GE _i	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el año "i"	Output	
F.E.	Factor de Emisión genérico para Gas Natural	56100 Kg CO ₂ /TJ GN	(IPCC, 2006)

4. Cálculo de la masa de Gas Natural ahorrado

$$GN_i[\text{ton}] = \frac{GN_i[\text{Tj}]}{PCI \left[\frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} \right]}$$

Variable	Descripción	Valor	Fuente
GN _i	Gas Natural equivalente en el año "i" en cantidades físicas	Output	
PCI	Poder Calorífico Inferior	47 [MJ/Kg]	(Lima, s.f.)

5. Impacto en la huella de carbono personal

$$IHdCp_i[\%] = \frac{GE_i[\text{ton CO}_{2,eq}]}{Pob_i[\text{hab}] \cdot HdCp \left[\frac{\text{ton CO}_{2,eq}}{\text{año}} \right]}$$

Variable	Descripción	Valor	Fuente
IHdCp _i	Impacto en la huella de carbono personal del argentino promedio en el año "i"	Output	
Pob _i	Población argentina en el año "i"	Input	(INDEC, 2013)
HdCp	Huella de Carbono Personal del argentino promedio, año 2013	4,7 Ton CO ₂ /año	(World Bank, s.f.)

Resultados

Tabla 9: Emisiones Evitadas y valores asociados.

Año	Pot. Acum (MW)	Energía Producida (GWh)	GN equivalente para el CCG (TJ)	Emisiones evitadas (miles de Ton CO _{2e})	Cantidad de GN ahorrado (miles de Ton GN)	Población Argentina Proyectada (Hab)	Impacto en la HdC personal (%)
18	-	-	-	-	-	44.494.502	0,00%
19	3	6	39	2,19	0,83	44.938.712	0,00%
20	16	28	181	10,15	3,85	45.376.763	0,00%
21	38	67	440	24,7	9,4	45.808.747	0,01%
22	71	124	810	45,4	17,2	46.234.830	0,02%
23	115	201	1.316	74	28	46.654.581	0,03%
24	174	304	1.992	112	42	47.067.641	0,05%
25	251	440	2.878	161	61	47.473.760	0,07%
26	376	659	4.310	242	92	47.873.268	0,11%
27	545	955	6.254	351	133	48.266.524	0,15%
28	774	1.357	8.880	498	189	48.653.385	0,22%
29	1.083	1.898	12.422	697	264	49.033.678	0,30%
30	1.499	2.627	17.192	964	366	49.407.265	0,42%

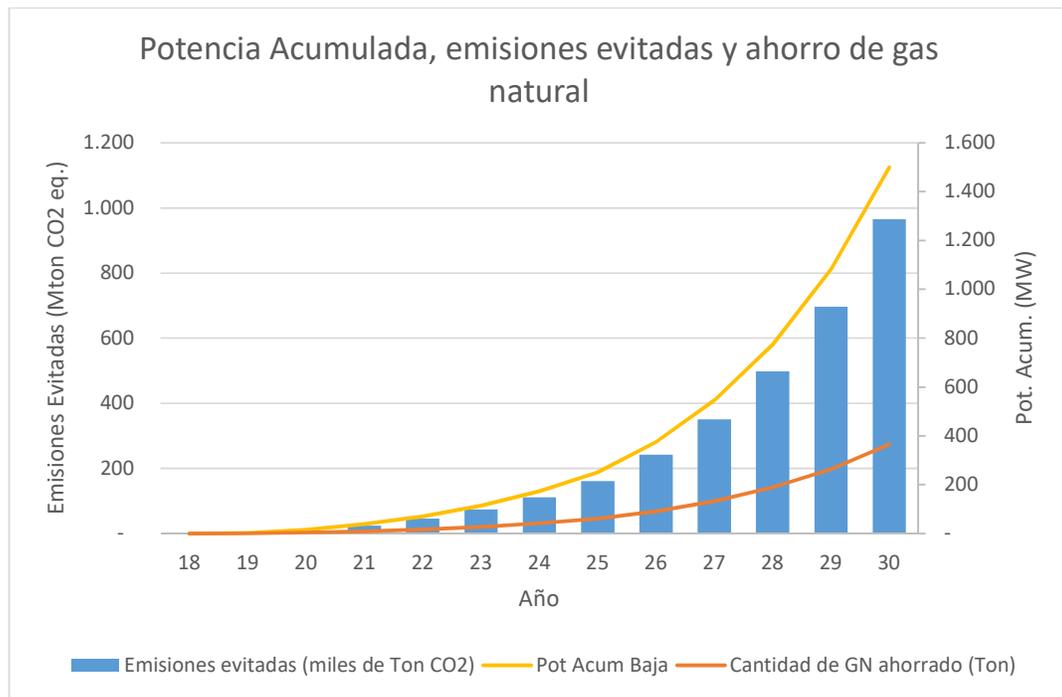


Ilustración 14: Potencia Acumulada, Emisiones evitadas y ahorro de gas natural

Estimación del Valor Agregado Generado

En esta sección se presenta una estimación del Valor Agregado generado por los nuevos empleos creados en el sector PV. Se dejan explícitamente fuera de consideración las plusvalías empresarias y financieras.

Se generan dos series de datos para comparación:

- Una serie histórica del valor agregado por trabajador para Argentina 2009 - 2015
- Una proyección del GDP (Gross Domestic Product) por trabajador para Latinoamérica

En ambos casos, los valores se ajustan para sectores de la economía seleccionados y se proyectan al 2030.

Los números para Valor Agregado, PBI (Producto Bruto Interno), e Índice de Precios Implícitos necesarios para el caso argentino se obtienen de las publicaciones revisadas de INDEC 2016. Los números de empleo para el mismo caso se obtienen de las estadísticas de empleo del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de la Nación.

Para el caso latinoamericano, los números se obtienen desde la bibliografía utilizada anteriormente para la estimación de empleo (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015), el banco de datos online de la OECD (OECD, 2016), y el U.S. Bureau of Labour Statistics (U.S. Bureau of Labour Statistics, 2015). Otras fuentes serán referidas sobre la marcha.

Estimación del Valor Agregado per cápita argentino

A continuación, se expone la secuencia de trabajo y al final, los resultados.

1. Selección de los sectores económicos relevantes en las estadísticas nacionales

Se analizan las series históricas del PBI, Valor Agregado y Trabajo asalariado del sector privado disponible en las estadísticas nacionales arriba mencionadas. Se identifica a partir de este análisis, que el sector “Construcción” en las estadísticas nacionales sería el receptor de las actividades de “Instalación” y “O&M” del despliegue fotovoltaico como es tratado en este trabajo. También, el sector “Industrias Manufactureras” recibiría a los trabajadores generados en las actividades de “Manufactura”. Se identifica cuales sectores de la economía recibirían a los empleos generados previstos según las categorías consideradas a lo largo de este documento, de la siguiente manera:

Tabla 10: Correspondencia de sectores PV y economía nacional

Sector Economía Nacional	Actividad PV
Construcción	Instalación y O&M
Industrias manufactureras	Manufacturas

2. Obtención de series históricas de V.A. per cápita por sector desde estadísticas nacionales

Se extraen los números anuales disponibles de Valor Agregado y Trabajadores asalariados registrados, para los sectores de “Construcción” e “Industrias Manufactureras”. Se obtienen los números de V.A. por trabajador para cada sector.

3. Conversión a divisas de interés

En la fuente, las series de V.A. vienen expresadas en AR\$ 2004. A fines de comparar la situación local con la internacional, es necesario expresar las mismas en:

- US\$ 2005 PPP
- US\$ Corrientes

Se utiliza el IPI revisado 2016 (INDEC, 2016) para convertir la serie de datos de AR\$ 2004 a AR\$ 2005 y AR\$ Corrientes. Luego, se aplican los factores de conversión oficiales de la OECD (OECD, 2016) para convertir sendas series a las divisas de interés, respectivamente.

Como resultado del proceso hasta este punto se obtienen las siguientes series de datos:

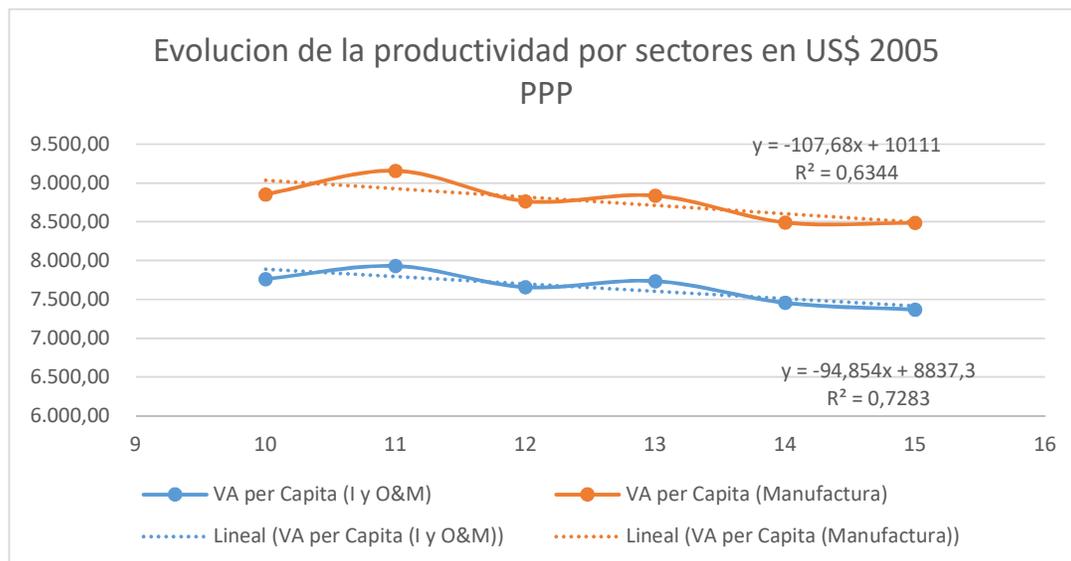


Ilustración 15: Productividad del trabajador argentino promedio de los sectores afectados (V.A. per cápita)

Hasta aquí, se revela el valor agregado oficial promedio por trabajador de los sectores pertinentes (Construcción e Industria Manufacturera), en el periodo 2010 – 2015. A continuación, se estiman sus proyecciones al año 2030, y se combinan las mismas con los números de empleo generado, para dar lugar a estimaciones del Valor Agregado total creado por el despliegue de la tecnología fotovoltaica distribuida en las zonas urbanas y periurbanas argentinas, al año 2030.

Estimación del Valor Agregado total generado al 2030

En la sección anterior se determinó que el valor agregado por trabajador del sector en Argentina en el periodo 2010 – 2015, se encuentra estancado en unos 8.000 US\$ PPP 2005 con una ligera tendencia bajista. En la bibliografía (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015) se muestra que para el año 2012, el mismo valor para el bloque Latinoamérica fue de 55.200 US\$ PPP 2005 por trabajador promedio de todos los sectores excepto el agrícola. La diferencia no mejora si se trabaja el número para Argentina de una forma diferente. Además, la evolución del MAR para el bloque Latinoamérica predice una gradual aproximación de la productividad por trabajador a los valores del bloque central de la OECD suponiendo un crecimiento marginalmente más rápido de la economía del bloque Latinoamérica que la del bloque central.

En la práctica, se divisan dos grandes escenarios posibles para el futuro del valor agregado sectorial argentino a este respecto:

1. Se continua con la tendencia actual de estancamiento
2. Se comienza a crecer a un ritmo comparable al bloque Latinoamérica.

Un tercer escenario de crecimiento más rápido que el bloque Latinoamérica supone un nivel de complejidad fuera de los alcances de este trabajo, por lo tanto, se descarta del presente análisis.

Estimación del ritmo de crecimiento Latinoamericano

Como se mencionó anteriormente, el ritmo de crecimiento del bloque Latinoamérica está relacionado con el ritmo de crecimiento del bloque central de la OECD, acrecentado en función del MAR. También, en el método de Factor de Empleo se utiliza un multiplicador para extraer el sector “Agricultura” del indicador GDP por trabajador del sector, el cual asemejamos al V.A. por trabajador del sector en este trabajo. De esta forma, para obtener el ritmo de crecimiento latinoamericano consideramos:

- Los valores de partida correspondientes al año 2012 para la productividad por trabajador del sector para el bloque central de la OECD y Latinoamérica como los datos en la bibliografía (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015).
- Que la relación entre la productividad global de los trabajadores y la productividad “sin Agricultura” permanece constante en el tiempo. (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015)
- Que el GDP por trabajador crecerá al mismo ritmo que el GDP global en el bloque central de la OECD. (Hipótesis de población en estado estacionario en países desarrollados)
- La proyección oficial del GDP del bloque central OECD (OECD, 2016).
- $MAR = \frac{\left(\frac{GDP}{worker}\right)_{OECD}}{\left(\frac{GDP}{worker}\right)_{regional}}$, por definición. (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015)
- Que la relación V.A./GPD no cambia en el tiempo. Conlleva una hipótesis de crecimiento económico sin cambios radicales en las dinámicas de mercado.

A continuación, y como antes, se narra la secuencia de cálculo y luego se presentan los resultados.

1. Se recupera la serie de MAR para Latinoamérica. Ver: Multiplicador de Ajuste Regional (MAR).
2. Se genera una serie con los valores inversos para usar como multiplicador.
3. Se recupera desde la base de datos de la OECD la serie 2012 – 2030 de GDP global del bloque central.
4. Se genera una serie de “índice crecimiento relativo” de esta proyección con base 2012.
5. Se recuperan de la bibliografía los datos de GDP por trabajador “no agricultura”, para el año 2012 para bloque central OECD y Latinoamérica. (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015).
6. Se proyecta el crecimiento del GDP por trabajador “no agricultura” del bloque central mediante el valor para 2012 de (5) y el índice para cada año en (4).
7. Se proyecta el crecimiento del GDP por trabajador “no agricultura” del bloque Latinoamérica como “(6) · (2)”.
8. Se genera una serie “índice de crecimiento relativo” como la de (4), pero para Latinoamérica y con base 2015.

De esta forma tenemos la proyección adimensional del crecimiento del GPD por trabajador del sector. Al ser adimensional, no importa realmente si el sector Agro está presente, siempre que su participación en el tiempo no cambie.

De esta forma quedan cuantificados los dos ritmos de crecimiento para la productividad del trabajador del sector PV argentino. Una es la serie adimensional recién calculada y la otra es la tendencia del ajuste en Ilustración 15: Productividad del trabajador argentino promedio de los sectores afectados (V.A. per cápita). Usando ambas y partiendo del último valor conocido para la productividad, quedan establecidas las proyecciones para ambos escenarios como se muestra a continuación:

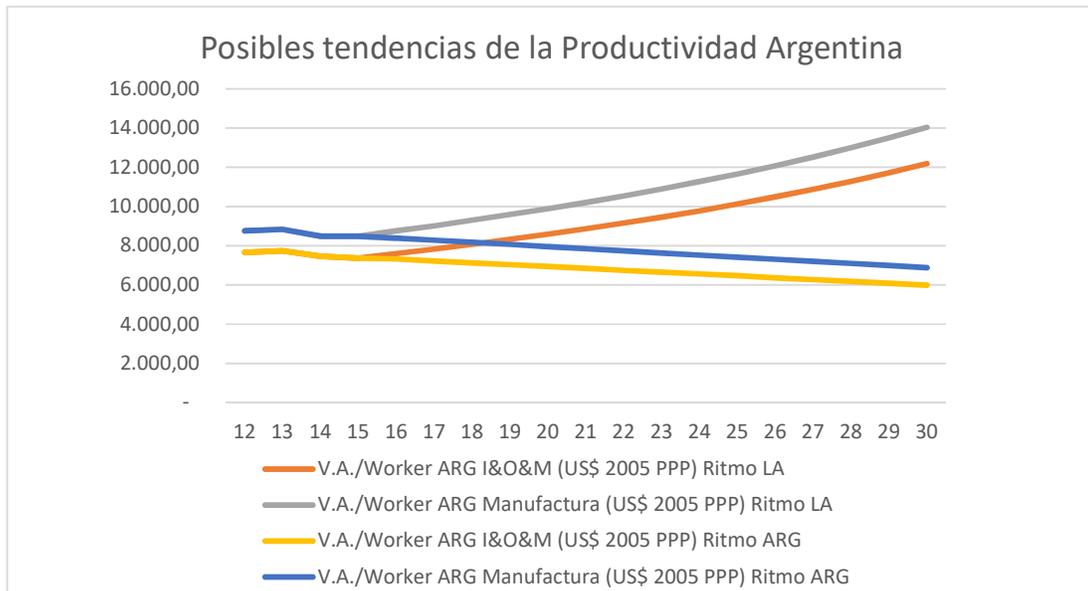


Ilustración 16: Posibles tendencias de la productividad argentina

El último paso para la obtención de las estimaciones de Valor Agregado total a nivel nacional, es la combinación de estas series de datos, con las series de empleo generado. Se considera la comparación de ambos casos de crecimiento suficiente para la valoración de casos intermedios. El lector puede encontrar la hoja de cálculo completa en Anexo II: Hoja de cálculo de Valor Agregado.

Resultados

En este apartado se exponen los resultados en dólares corrientes. Como siempre, en el Anexo II: Hoja de cálculo de Valor Agregado, el lector puede encontrar las hojas de cálculo completas y todos los gráficos.

El valor del dólar corriente fue proyectado a partir de la evolución del Índice de Precios al Consumidor de Estados Unidos (U.S. Bureau of Labour Statistics, 2015). En caso de que esta tendencia se interrumpiera, los valores en US\$ PPP siguen aplicando.

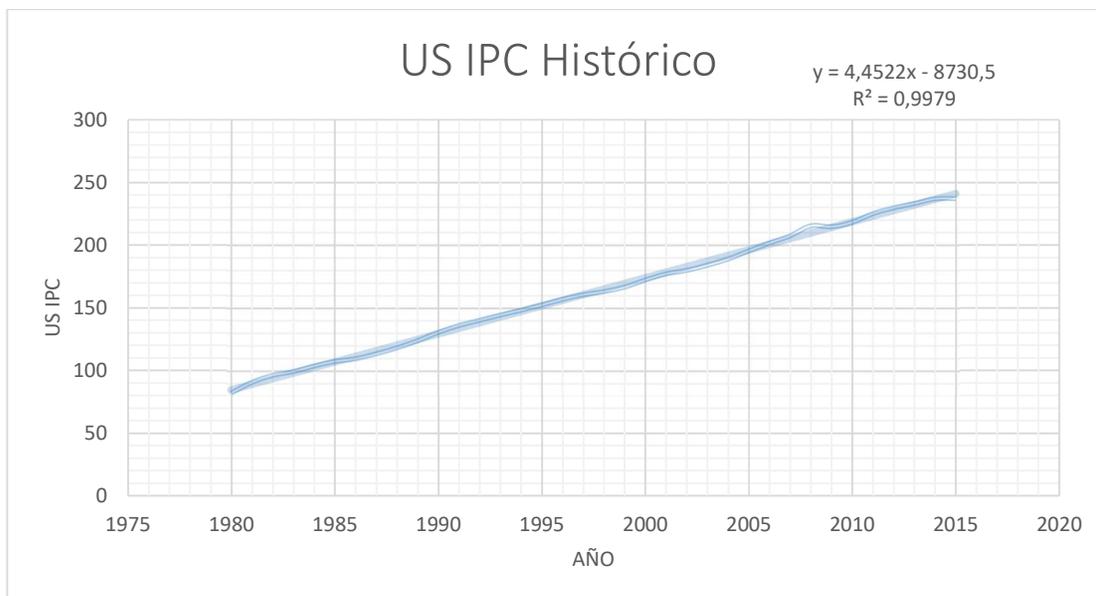


Ilustración 17: US IPC 1980-2015. Elaboración propia en base a datos del U.S. B.L.S.

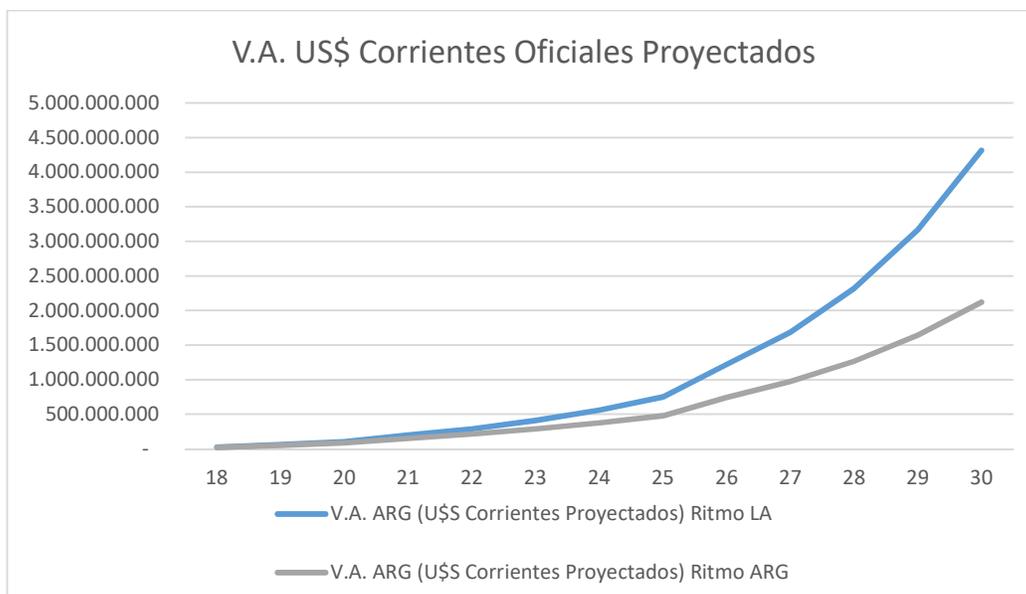


Ilustración 18: V.A. US\$ corrientes

Tabla 11: Valor Agregado US\$ corrientes

	Crecimiento a Ritmo Latinoamérica	Crecimiento a Ritmo Argentina
Año	V.A. ARG (U\$S Corrientes Proyectados)	V.A. ARG (U\$S Corrientes Proyectados)
18	26.507.311	23.379.201
19	60.495.148	51.064.990
20	105.005.121	84.779.740
21	198.078.023	152.849.674
22	291.346.991	214.693.488
23	411.201.622	289.099.274
24	562.555.530	376.984.837
25	753.822.440	481.008.916
26	1.221.964.027	741.660.032
27	1.687.848.152	973.352.621
28	2.316.825.424	1.268.034.202
29	3.166.834.366	1.643.173.348
30	4.316.057.842	2.120.789.895

Conclusiones y Recomendaciones

Se estimaron la generación de empleo, el valor agregado y la reducción de emisiones, asociados a la instalación de energía solar fotovoltaica distribuida en Argentina hasta el año 2030. Los resultados sintéticos al 2030 son los siguientes:

Variable objetivo	Resultado al 2030	Observaciones
Empleo generado	1118 empleos	Empleo directo bruto.
Valor agregado generado	US\$ 2.120.789.895 a US\$ 4.316.057.842	Según escenarios de desarrollo económico argentino.
Emisiones evitadas	964 Mton de CO _{2,eq}	Asumiendo reemplazo de GN en ciclo combinado.

A continuación, conclusiones, hallazgos y recomendaciones del trabajo.

1. El comportamiento del factor de empleo observado respecto de la potencia es el esperado.

El concepto de economía de escala solicita que a medida que se instalen potencias mayores, la intensidad de demanda de mano de obra por unidad instalada disminuya. Esto se verifica en los números relevados de la experiencia nacional para el sector instalación. Lea: Factor de Empleo.

2. Es necesario seguir actualizando este valor con la experiencia nacional.

Si bien los resultados son satisfactorios, son primeras estimaciones y se señala la necesidad de seguir monitoreando la actividad PV y actualizando los números desarrollados en el presente trabajo, especialmente los factores de empleo, para llevar a cabo predicciones más exactas. Los proyectos de RENOVAR en curso al momento en que se escriben estas líneas son una fuente fundamental de información a futuro para la actualización de los valores utilizados en este documento, y especialmente para la generación de nuevos puntos muestrales a mayores potencias, que aumenten la precisión de las predicciones.

3. El tamaño óptimo de las instalaciones PV distribuidas, entendido como aquel que ofrece el mejor beneficio neto potencial, estaría entre los 8 MW y los 13,5 MW en media tensión.

Mediante una evaluación rudimentaria del Beneficio Neto de las instalaciones en función de su potencia, se observa que el indicador se maximiza en la zona 8 MW – 14 MW. Este presenta también decrecimientos tipo escalón al “bajar” de 1 MW y “subir” de 14 MW. Sin embargo, de 14 MW en adelante se observa después del escalón un decrecimiento suave y oscilante hacia la escala “utility” como manifestación de las economías de escala. De esta manera los proyectos económicamente más favorables para el inversor se encuentran en la zona de 8 MW a 14 MW en media tensión. Lea: Factor de Aprendizaje (Technology Decline Factor).

4. Las instalaciones particulares en potencias muy pequeñas entregarían un MWh desproporcionadamente más caro, dependiendo de las tarifas.

La experiencia internacional demuestra que las instalaciones para pequeños prosumidores inexorablemente requieren de una serie de incentivos para materializarse, que van desde facilidades para la adquisición del equipo hasta tarifas diferenciales al prosumidor. Hasta el momento en el país no se establece un régimen a tal fin existiendo solo pruebas piloto. El programa Prosumidores de la provincia de Santa Fe, por caso, ofrece una tarifa de 5,5 pesos argentinos por kWh inyectado a la red en instalaciones de potencias de 1,5 kW e inferiores. Esta tarifa ofrecería a los prosumidores un retorno de alrededor de 12 veces el óptimo mencionado en el párrafo anterior, además de los posibles beneficios por la adquisición del equipo. Finalmente, esto estaría también fomentando la instalación de menores potencias que como fue visto en la sección Factor de Aprendizaje (Technology Decline Factor), cuestan al menos el doble en precios llave en mano por kWp. De esta forma, la energía proveniente de muy pequeñas potencias sería varias veces más cara para el país. El lector debe considerar que estas líneas son solo conjeturas informadas, dado que el régimen para este segmento aún se encuentra en estudio.

5. La ubicación óptima es en las zonas urbanas y peri-urbanas, allí donde los costos de transporte y distribución son mínimos.

Los costos de distribución y transporte empiezan a ser significativos a medida que alejamos la generación del consumo, de modo que un solapamiento de ambos es óptimo, y esta es la gran ventaja de la PV distribuida, siempre que la disponibilidad de espacio lo permita.

6. Techos grandes y mini-parques, en media tensión.

Por las consideraciones anteriores se desprende que las mejores instalaciones PV distribuidas se corresponderían con techos grandes en zonas muy urbanizadas con poca o ninguna disponibilidad de espacio para instalaciones en tierra, y mini-parques en zonas con menor densidad edilicia como ser pueblos, zonas peri-urbanas y semi-rurales. Siempre en los tamaños 8 MW – 14 MW en media tensión.

7. Tierra mejor que techos.

En Argentina, en la gran mayoría de los casos, espacio es lo que sobra. Por lo tanto, el costo del terreno para las instalaciones montadas en tierra es bajo. De esta forma, las instalaciones en tierra serían en general más baratas, sencillas y seguras de instalar. Su fisionomía es la misma que la de los parques tamaño “utility” por lo que, por un lado, comparten la curva de experiencia, y por otro, ambos son de ampliación modular muy sencilla. De esta forma, las instalaciones en tierra son más convenientes para el caso argentino.

8. Se observan distorsiones de mercado que comprometen la precisión de los parámetros.

Al estimar la productividad de los trabajadores argentinos desde los enfoques físico y económico se llega a dos resultados totalmente opuestos. El primero propone una productividad sumamente alta de los trabajadores argentinos respecto del promedio internacional. El segundo, lo opuesto: una productividad irrisoriamente baja. Las consideraciones que permiten ajustar los valores de Factor de Empleo sugieren que las nóminas empresariales argentinas tienden a permanecer bajas en lo posible, requiriendo una muy alta productividad per cápita de sus trabajadores y tercerizando actividades. Estos corolarios son lógicos proviniendo de un mercado de mano de obra como el argentino, con cargas sociales altas e inflexibilidad. La disminución de las mismas favorecería nominas empresariales más sanas y representativas de nuestra verdadera productividad en términos físicos. Se recomienda discreción al utilizar el MAR como proxy de la productividad per cápita de los trabajadores en futuros estudios. Lea: Multiplicador de Ajuste Regional (MAR).

9. La industria nacional es competente y promisorio pero no participa tanto en la generación de empleo directo.

En la actualidad, el equipamiento “made in Argentina” alcanza un 60% en las instalaciones más sencillas y un 30% en las instalaciones de mayor envergadura, allí donde las certificaciones internacionales pesan al elegir equipamiento, por influir sobre la financiación. Acorde a los hallazgos de este trabajo, el equipamiento de industria nacional es perfectamente competente y se encuentra en constante auto-superación, siendo factible que al 2030 entregue todos los materiales necesarios para los proyectos PV, salvando aquellos que por diversas cuestiones no tienen sentido fabricar localmente, como el silicio en tanto no se explote la posibilidad latente de una alianza con Brasil para producir el cristal. Si bien los números obtenidos indican que la industria nacional solo contribuiría en un 12% al 2030 a la generación de empleo directo, es necesario considerar dos factores: por un lado, el factor de empleo utilizado para la estimación del empleo en manufactura es una “importación” que, aunque sea criteriosa requiere de actualización desde experiencia local en cuanto sea posible. Por otro lado, aunque los números de empleo directo sigan siendo bajos, es necesario considerar que corresponden a empleo directo y que el sector “manufactura” es el que mayor valor agregado per cápita genera. De esta forma, el empleo indirecto e inducido, y la reinversión del valor agregado generado tendría un efecto distributivo y multiplicativo fuerte en las economías locales. También las actividades de I+D por parte de la industria nacional favorecidas por este efecto abriría las puertas a nuevas y diferentes oportunidades.

10. Menos burocracia + alianzas estratégicas = más eficiencia.

Durante las entrevistas con empresarios del sector Instalación se preguntó qué sería necesario para la optimización de las Horas·Hombre. Las respuestas estuvieron dirigidas hacia dos temas globales. Por un lado, es necesaria la agilización de las importaciones de los equipos y la disminución de los tiempos administrativos de los proyectos. Los

tiempos de revisión y aprobación de los proyectos, sumados a demoras en aduana, significan en lo inmediato un desaprovechamiento de los costos fijos empresarios y dilatación de los tiempos de entrega. En el corto plazo, la potencial pérdida de oportunidades de negocios relacionada con los tiempos de entrega. En el mediano plazo y a nivel país una menor potencia instalada interanual. Y en el largo plazo complicaciones para cumplir con los compromisos asumidos en París. Por otro lado, el parámetro se puede mejorar mediante la importación de know-how a través de la contratación formadores de personal en buenas prácticas provenientes de entornos de máxima experiencia y productividad con la adopción de sus avances, y la cooperación de las empresas nacionales con pares extranjeras más desarrolladas para coordinar fortalezas. En este punto es probable la aparición de barreras institucionales relacionadas con la resistencia de los trabajadores nacionales a permitir la entrada a pares del exterior que hagan peligrar sus fuentes de empleo. En este sentido es recomendable una buena gestión de la información y establecimiento de reglas claras.

11. Si agregamos empleo indirecto e inducido, es un 350% más.

El método aquí utilizado se enfoca en la estimación del empleo directo bruto. Por la estructura del mercado argentino y la gran disponibilidad de mano de obra como premisa de este trabajo, se considera el empleo bruto como equivalente al neto. También, los números a los que se arriba corresponden al empleo directo, entendido como aquel que tiene al sector PV como actividad única o principal. Diferentes trabajos enlistados en la bibliografía específica del método (Rutovitz, Dominish, & Downes, 2015) relevan relaciones constantes entre empleo directo, indirecto e inducido generados por las energías renovables. Si consideramos en principio válidas estas proporciones, veríamos estas figuras incrementarse hasta un 350% por empleo indirecto e inducido. De esta forma, para el 2030 se estiman 1118 empleos directos y unos 4000 empleos totales generados por la PV distribuida. Lea: Resultados de la generación de empleo.

Referencias

- Buitrago, J. M. (Marzo de 2014). Difusión de la tecnología solar fotovoltaica en Argentina: Escenario de alta penetración 2030. C.A.B.A., Argentina: U.B.A.
- EY. (2015). *Solar PV jobs & value added in Europe*.
- Eyras, I. (2016). Comunicación vía e-mail.
- Greenpeace Int, Global Wind Energy Council, SolarPowerEurope. (2015). *Energy [r]evolution: A sustainable world energy outlook 2015 5ta Ed.*
- I.E.A. (2015). *World Energy Outlook 2015*.
- INDEC. (2013). *Estimaciones y proyecciones de población 2010-2040. : total del país*. C.A.B.A.
- INDEC. (2016). *Revisión del Producto Interno Bruto, base 2004 y series de Oferta y Demanda Globales*. INDEC.
- IPCC. (2006). Combustion Estacionaria. En D. R. Gomez, & J. D. Watterson, *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
- IRENA. (2011). *Renewable Energy Jobs: Status, prospects & policies*.
- IRENA. (2015). *Renewable Power Generation Costs in 2014*.
- IRENA. (2016). *G20 toolkit for renewable energy deployment: country options for sustainable growth based on remap*.
- Irigoyen, M. (2 de 2017). Comunicación personal. (F. Suarez, Entrevistador)
- Lima, P. A. (s.f.). *GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*. Obtenido de <http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm>
- Llera, Scarpellini, Aranda, & Zabalza. (2013). Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 263-271.
- MTEySS. (2016). *Trabajadores registrados del sector privado. Total país*. Dirección general de información y estudios laborales. Ministerio de trabajo, empleo y seguridad social, C.A.B.A.
- OECD. (2016). *OECD Database*. Obtenido de <https://data.oecd.org/>
- Rutovitz, J., Dominish, E., & Downes, J. (2015). *Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology*. Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney.
- Socolovsky, H. P. (2016). Contacto personal. (F. Suarez, Entrevistador)
- Spatuzza, A. (2016). *In Depth: Brazilian solar and the trouble with local content*. Obtenido de <http://www.rechargenews.com/solar/868689/in-depth-brazilian-solar-and-the-trouble-with-local-content>
- U.S. Bureau of Labour Statistics. (2015). *Indice de Precios al Consumidor. Serie 1980 - 2015*.

World Bank. (s.f.). *DataBank - CO2 Emissions*. Obtenido de <http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?view=map>

Zitzer, A. (2017). Comunicación vía e-mail. (F. Suarez, Entrevistador)

Anexo I: Hoja de cálculo de Generación de Empleo

	Sensibilidad a Ef		
	Normal	30%	Prom. Mundial
Año	Ef= 3,56	Ef= 4,63	Ef= 13
18	13	16	46
19	27	36	100
20	45	59	166
21	82	106	298
22	114	149	417
23	153	200	561
24	200	260	729
25	254	331	929
26	391	509	1430
27	513	668	1874
28	668	869	2441
29	866	1126	3162
30	1118	1454	4083

	Sensibilidad a %Local 2030		
	No crece	Crece mitad	Crece previsto
Año	30%	45%	60%
18	12	13	13
19	27	27	27
20	44	45	45
21	78	80	82
22	109	112	114
23	145	149	153
24	187	194	200
25	237	246	254
26	362	377	391
27	471	492	513
28	609	639	668
29	784	825	866
30	1006	1062	1118

	Sensibilidad a %Part		
	Inferior	Prevista al 2030	Superior
Año	35%	50%	85%
18	9	13	21
19	19	27	47
20	32	45	77
21	57	82	139
22	80	114	194
23	107	153	261
24	140	200	339
25	178	254	432
26	274	391	665
27	359	513	872
28	468	668	1136
29	606	866	1472
30	783	1.118	1900

Anexo II: Hoja de cálculo de Valor Agregado

Obtención del Valor Agregado por trabajador promedio del sector

Año	Valor Agregado Bruto		Composición del PBI			
	Construcción (Instalación y O&M)	Industria manufacturera (Manufactura)	Valor Agregado Bruto a precios básicos	Impuesto al Valor Agregado	Derechos de Importación	Impuestos a los productos netos de subsidios
4	14.895	91.809	412.427	30.977	3.250	38.460
5	16.753	98.626	450.401	33.650	3.909	40.279
6	18.827	107.603	484.758	3.889	4.505	43.098
7	20.853	115.717	523.639	45.688	5.488	47.938
8	21.729	119.918	543.158	48.876	6.263	49.950
9	19.054	111.191	511.371	46.470	4.892	46.533
10	20.920	123.384	564.015	50.491	6.844	50.997
11	22.917	132.834	595.471	55.556	8.424	54.229
12	22.358	128.888	587.048	56.216	7.871	55.030
13	22.345	130.945	599.404	59.225	7.980	55.816
14	21.877	124.264	587.969	54.926	6.889	54.158
15	22.522	124.568	601.863	55.590	7.268	55.924

Año	Desde Min. De Trabajo		Elaboración Propia		
	Asalariados Privados (Cantidad registrada)		en AR\$ 2004		
	Construcción	Industria manufacturera	VA per Capita (I y O&M)	VA per Capita (Manufactura)	VA Per Capita (Prom. Ponderado)
4					
5					
6					
7					
8					
9	4.731.287	13.996.289	4.027	7.944	6.955
10	4.766.550	14.270.601	4.389	8.646	7.580
11	5.258.192	14.854.749	4.358	8.942	7.744
12	5.166.453	15.058.324	4.328	8.559	7.478
13	5.115.415	15.175.506	4.368	8.629	7.555
14	5.087.227	14.986.178	4.300	8.292	7.280
15	5.411.538	15.033.057	4.162	8.286	7.195

		Productividad de los Trabajadores Argentinos del Sector (V.A./trabajador)					
		En AR\$ Ctes		en US\$ Oficiales Corrientes			
INDEC							
Año	IPI Base 2004 Revisado 2016	VA per Cápita (I y O&M)	VA per Cápita (Manufactura)	Ar\$/US\$	VA per Cápita (I y O&M)	VA per Cápita (Manufactura)	VA per Cápita (Promedio Ponderado)
4	100						
5	110,7						
6	125,9						
7	144,7						
8	178,1						
9	205,8	8.288,05	16.349,41	3,71	2.233,98	4.406,85	2.075,17
10	248,5	10.906,46	21.485,38	3,90	2.799,40	5.514,73	2.153,80
11	307,1	13.384,47	27.461,47	4,11	3.256,56	6.681,62	2.085,74
12	375,6	16.254,22	32.148,55	4,54	3.582,59	7.085,86	1.824,65
13	465,3	20.325,09	40.149,38	5,46	3.723,23	7.354,71	1.531,96
14	654,7	28.154,58	54.287,12	8,08	3.486,63	6.722,86	998,06
15	810,2	33.719,29	67.135,38	9,23	3.652,04	7.271,24	862,60

		en US\$ Paralelos Corrientes (Prom. Aprox.)		U\$ 2005 PPP		
Año	Ar\$/US\$	VA per Capita (I y O&M)	VA per Capita (Manufactura)	VA per Capita (I y O&M)	VA per Capita (Manufactura)	VA per Capita (Promedio Ponderado)
4						
5						
6						
7						
8						
9	3,71	2.233,98	4.406,85	4.124,10	8.135,40	7.121,99
10	3,896	2.799,40	5.514,73	7.762,44	8.853,98	7.762,44
11	4,11	3.256,56	6.681,62	7.930,07	9.157,27	7.930,07
12	6,35	2.559,72	5.062,76	7.658,12	8.765,12	7.658,12
13	8,74	2.325,53	4.593,75	7.736,31	8.836,24	7.736,31
14	12,84	2.192,72	4.227,97	7.455,43	8.491,34	7.455,43
15	14	2.408,52	4.795,38	7.367,61	8.485,57	7.367,61

Año	MAR LA	Ratio LA/OECD	GPD Proyectada OECD (millones de US\$ Corrientes)	Crecim. Rel. OECD base 2012	GDP/worker OECD No Agro (US\$ 2005 PPP)	GDP/worker LA No Agro (US\$ 2005 PPP)
12	3,4	0,29	39.328.760	1,00	187.600	55.200
13	3,4	0,29	39.852.989	1,01	190.101	55.465
14	3,4	0,29	40.759.177	1,04	194.423	56.866
15	3,4	0,29	41.890.237	1,07	199.818	58.632
16	3,4	0,29	43.039.482	1,09	205.300	60.482
17	3,4	0,30	44.164.405	1,12	210.666	62.361
18	3,4	0,30	45.271.904	1,15	215.949	64.282
19	3,3	0,30	46.376.420	1,18	221.218	66.273
20	3,3	0,30	47.489.188	1,21	226.526	68.354
21	3,3	0,30	48.615.281	1,24	231.897	70.541
22	3,3	0,31	49.757.826	1,27	237.347	72.846
23	3,2	0,31	50.918.529	1,29	242.884	75.280
24	3,2	0,31	52.098.402	1,32	248.512	77.855
25	3,2	0,32	53.298.554	1,36	254.237	80.582
26	3,1	0,32	54.519.162	1,39	260.059	83.475
27	3,1	0,33	55.760.673	1,42	265.981	86.549
28	3,0	0,33	57.022.138	1,45	271.998	89.816
29	3,0	0,34	58.299.464	1,48	278.091	93.288
30	2,9	0,34	59.587.406	1,52	284.235	96.975

Año	Crecimiento relativo LA Base 2015	V.A./Worker ARG I&O&M (US\$ 2005 PPP) Ritmo LA	V.A./Worker ARG Manufactura (US\$ 2005 PPP) Ritmo LA	V.A./Worker ARG I&O&M (US\$ 2005 PPP) Ritmo ARG	V.A./Worker ARG Manufactura (US\$ 2005 PPP) Ritmo ARG
12		7.658,12	8.765,12	7.658,12	8.765,12
13		7.736,31	8.836,24	7.736,31	8.836,24
14		7.455,43	8.491,34	7.455,43	8.491,34
15	1,00	7.367,61	8.485,57	7.367,61	8.485,57
16	1,03	7.600,07	8.753,30	7319,636	8388,12
17	1,06	7.836,11	9.025,16	7224,782	8280,44
18	1,10	8.077,56	9.303,26	7129,928	8172,76
19	1,13	8.327,68	9.591,33	7035,074	8065,08
20	1,17	8.589,26	9.892,59	6940,22	7957,4
21	1,20	8.864,08	10.209,12	6845,366	7849,72
22	1,24	9.153,71	10.542,69	6750,512	7742,04
23	1,28	9.459,56	10.894,96	6655,658	7634,36
24	1,33	9.783,06	11.267,55	6560,804	7526,68
25	1,37	10.125,80	11.662,29	6465,95	7419
26	1,42	10.489,35	12.081,01	6371,096	7311,32
27	1,48	10.875,53	12.525,79	6276,242	7203,64
28	1,53	11.286,09	12.998,65	6181,388	7095,96
29	1,59	11.722,38	13.501,14	6086,534	6988,28
30	1,65	12.185,74	14.034,81	5991,68	6880,6

	Empleos		En US\$ PPP 2005	
			Crecimiento a Ritmo Latinoamérica	Crecimiento a Ritmo Argentina
Año	I&O&M	Manufactura	V.A. ARG (U\$S 2005 PPP) Ritmo LA	V.A. ARG (U\$S 2005 PPP) Ritmo ARG
12				
13				
14				
15				
16			-	+
17				
18	11	2	104.343	92.030
19	23	4	234.031	197.550
20	38	7	399.344	322.425
21	69	13	740.766	571.622
22	96	18	1.071.726	789.754
23	128	25	1.488.240	1.046.322
24	166	34	2.003.740	1.342.764
25	210	44	2.643.090	1.686.537
26	320	71	4.218.656	2.560.475
27	418	95	5.738.845	3.309.492
28	541	127	7.759.958	4.247.144
29	696	169	10.451.123	5.422.767
30	893	224	14.037.513	6.897.640

		En US\$ Corrientes Oficiales Proyectados	
		Crecimiento a Ritmo Latinoamérica	Crecimiento a Ritmo Argentina
Año	US IPC Proyectado (2005 = 195,2)	V.A. ARG (U\$S Corrientes Proyectados) Ritmo LA	V.A. ARG (U\$S Corrientes Proyectados) Ritmo ARG
12			
13			
14			
15			
16		-	-
17			
18	254	26.507.311	23.379.201
19	258	60.495.148	51.064.990
20	263	105.005.121	84.779.740
21	267	198.078.023	152.849.674
22	272	291.346.991	214.693.488
23	276	411.201.622	289.099.274
24	281	562.555.530	376.984.837
25	285	753.822.440	481.008.916
26	290	1.221.964.027	741.660.032
27	294	1.687.848.152	973.352.621
28	299	2.316.825.424	1.268.034.202
29	303	3.166.834.366	1.643.173.348
30	307	4.316.057.842	2.120.789.895