

Situación de la Industria y Tecnología Fotovoltaica Española

Julio 2020

Patrocina



Promueve



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA, INDUSTRIA
Y COMPETITIVIDAD



AGENCIA
ESPAÑOLA DE
INVESTIGACIÓN

ÍNDICE

	pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
1. Resumen ejecutivo.....	6
2. Situación de la industria fotovoltaica española: antecedentes y actualidad.....	7
3. Análisis económico del sector FV en España.....	11
4. Cadena de valor del sector fotovoltaico español	16
5. Mapa de Capacidades	19
6. Situación de la tecnología fotovoltaica:	21
6.1. Desarrollo tecnológico en la cadena de valor	21
6.2. Tendencias en Fovovoltaica	27
6.3. Integración fotovoltaica en edificio (BIPV – Building integrated PhotoVoltaicas) y entorno urbano.....	28
6.4. Integración fotovoltaica en la movilidad	30
6.5. Fovovoltaica flotante.....	32
6.6. Fovovoltaica en la agricultura (AgriPV).....	33
6.7. Generación de hidrogeno	35
6.8. Gestionabilidad, almacenamiento e integración de red	36
7. Nueva estructura FOTOPLAT	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de generación renovable en España (GWh).....	7
Figura 2. % de Cobertura de la Solar Fotovoltaica sobre la Generación Renovable 2007–2019.....	8
Figura 3. Energía Solar Fotovoltaica Generada 2007-2019.....	9
Figura 4. Potencia Solar Fotovoltaica Instalada Acumulada en España en el periodo 2006-2019.....	10
Figura 5. Potencia Solar Fotovoltaica Instalada Anualmente en España en el periodo 2007-2019.....	10
Figura 6. Huella económica nacional e importada del sector fotovoltaico español, 2019 (Millones de euros).....	12
Figura 7. Contribución del sector fotovoltaico al PIB nacional (Millones de euros).....	14
Figura 8. Balanza comercial del sector solar fotovoltaico (Millones de euros).	15
Figura 9. Cadena de valor del sector fotovoltaico español. <i>Fuente: UNEF y sus socios</i>	16
Figura 10. Ranking de fabricantes de seguidores (a) e inversores (b) fotovoltaicos en 2019. <i>Fuente: Wood Mackenzie</i>	17
Figura 11. Mapa de capacidades del sector industrial FV español. <i>Fuente: UNEF y FOTOPLAT</i>	20
Figura 12. Evolución de la Eficiencia De Laboratorio De Diferentes Células Fotovoltaicas.....	22

Figura 13. Cuotas del mercado mundial en 2019 para diferentes tecnologías de célula	23
Figura 14. Cuotas del mercado mundial en 2019 para tecnologías de célula bifacial.....	24
Figura 15. Ejemplo de Integración fotovoltaica en fachada ventilada en las instalaciones de TECNALIA (San Sebastián). <i>Fuente: Tecnalia</i>	30
Figura 16. Ejemplo de Integración fotovoltaica en marquesina de aparcamiento de coches en Zurich (Suiza). <i>Fuente: Proyecto PVSITES</i>	32
Figura 17. Ejemplo de Integración fotovoltaica de concentración en un invernadero con tecnología Eclipse en Derio (Vizcaya) <i>Fuente: Tecnalia</i> ...	35
Figura 18. Organigrama de FOTOPLAT	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contribución del sector de la energía fotovoltaica al PIB de España, años 2018 y 2019. Millones de euros de 2018 y tasa de crecimiento en %.
Fuente: UCLM..... 11

Tabla 2. Huella económica (PIB) del sector fotovoltaico español (Millones de euros). *Fuente: UCLM* 13

Tabla 3. Huella económica (PIB) por grupos de actividad (Millones de euros).
Fuente: UCLM..... 13

1. Resumen ejecutivo

El presente documento quiere mostrar la situación de la industria y tecnología fotovoltaica española. En este sentido se cubren los temas con relación a la actual situación de la industria fotovoltaica española, se analiza el valor económica de la misma y la capacidad de la cadena de valor del sector en España.

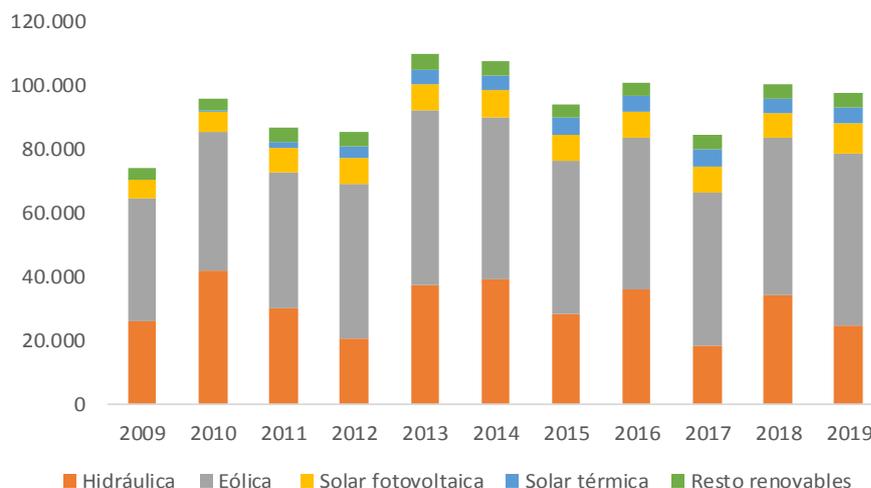
Para ello, vamos a basar este análisis las reuniones, las colaboraciones y las relaciones con empresas e instituciones que tiene FOTOPLAT gracias a la colaboración con UNEF. El objetivo es diagnosticar la situación actual del sector industrial fotovoltaico español. De igual manera, se cubre la situación de la tecnología española actual, con información sobre las principales tecnologías y proyectos I+D+i.

2. Situación de la industria fotovoltaica española: antecedentes y actualidad

El año 2019 supuso un hito histórico en el sector fotovoltaico en España estableciendo nuevos récords en todos los indicadores. Esto se debe a la masiva introducción de nueva potencia con la conexión a la red de los proyectos fotovoltaicos ganadores de las subastas de 2017. La entrada en funcionamiento de estos proyectos ha roto de manera brusca con el estancamiento del sector y marca el punto de partida para lograr los objetivos del PNIEC para 2030.

En lo que respecta a la generación fotovoltaica, comenzamos a observar en los datos de 2019 el crecimiento de la potencia instalada del sector (Figura 1). La energía solar fotovoltaica tradicionalmente estabilizada en torno a un 3% de contribución al mix eléctrico nacional, ha aumentado hasta 3,5%. De hecho, en la serie histórica de generación fotovoltaica en año 2019 ha establecido un nuevo récord histórico (9.223 GWh) superando por primera vez la barrera de los 9.000 GWh. Esta tendencia se verá sin duda continuada en el año 2020 puesto que la gran parte de la potencia instalada de energía fotovoltaica en el año 2019 se conectó a la red en la segunda mitad del año.

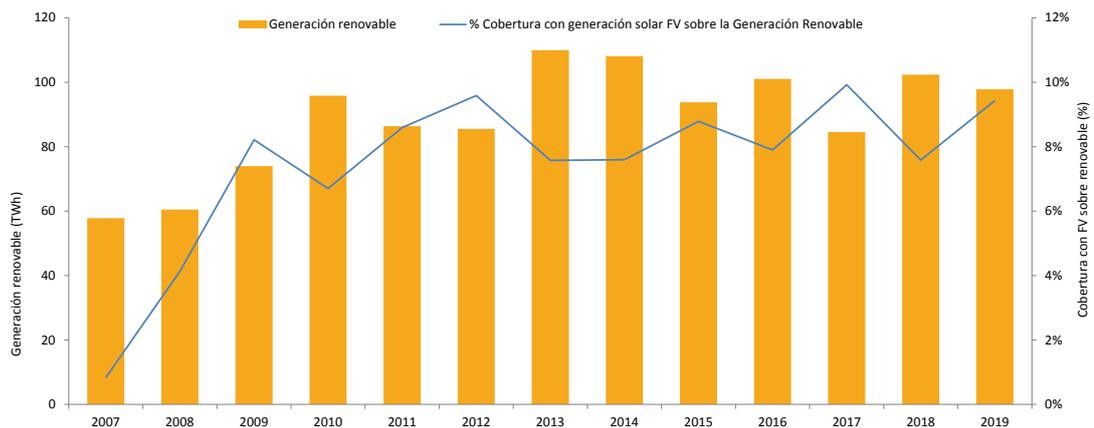
Figura 1. Evolución de generación renovable en España (GWh).



Fuente: Elaboración Universidad CLM con datos de Red Eléctrica de España (REE, varios años)

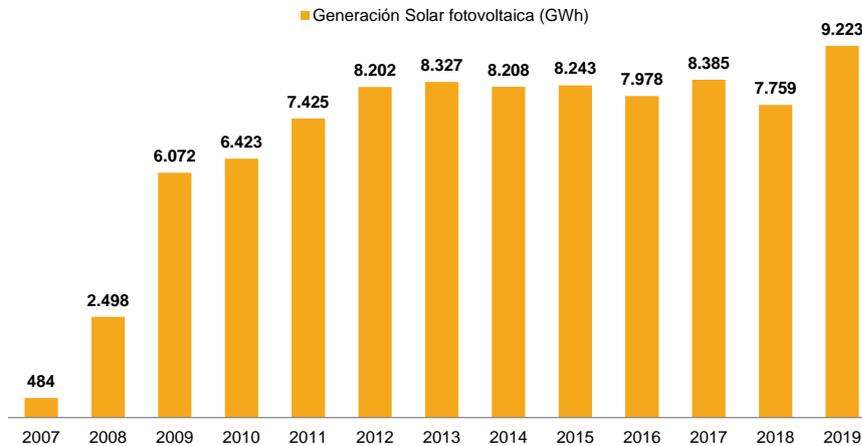
En España en 2019, el volumen de generación con energía renovable se ha mantenido prácticamente constante (-2%), sobre todo por el incremento de la producción eólica (+9%) y la fotovoltaica (+19%), que han compensado la reducción de la hidráulica (-28%) como consecuencia de un año más seco que 2018. El aumento de la generación fotovoltaica y la ligera disminución de la generación renovable ha llevado el porcentaje de cobertura con la generación solar fotovoltaica sobre el total de la generación renovable del 7,6% al 9,4%, cerca del máximo ocurrido en 2017, un año especialmente seco.

Figura 2. % de Cobertura de la Solar Fotovoltáica sobre la Generación Renovable 2007–2019.



Fuente: Red Eléctrica de España y elaboración propia

Figura 3. Energía Solar Fotovoltaica Generada 2007-2019.

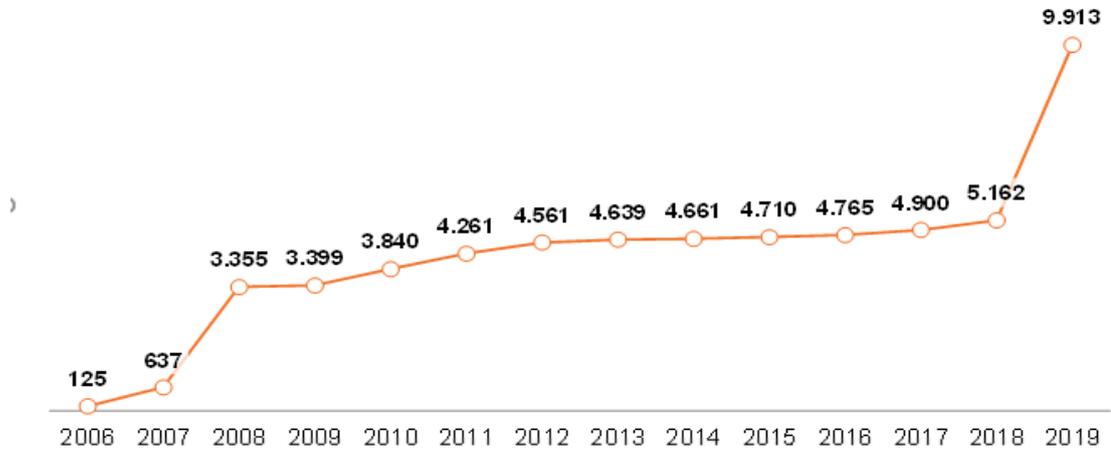


Fuente: Red Eléctrica de España

Por su parte, los datos del operador del sistema, Red Eléctrica de España (REE), muestran cómo en 2019 se produjo un aumento de 4.201 MW de la potencia correspondiente a energía solar fotovoltaica conectada a red, dato que no recoge las instalaciones aisladas y de autoconsumo.

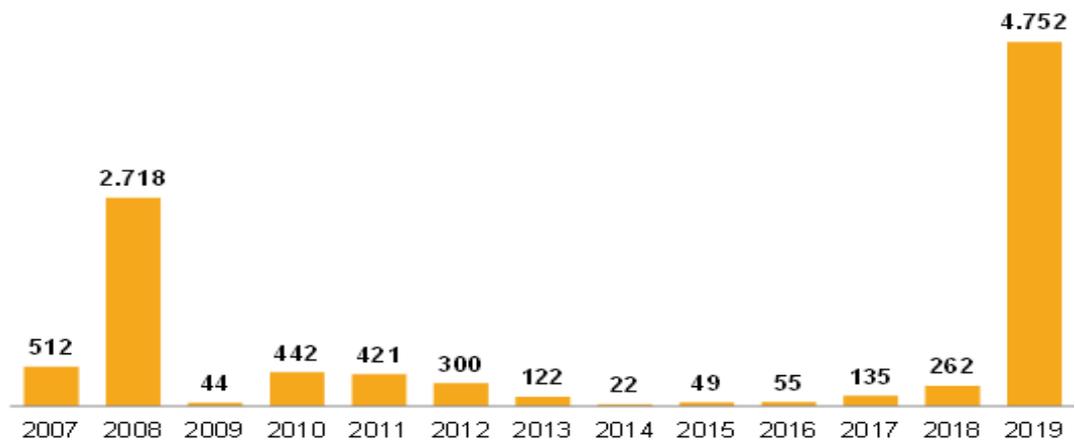
Según las estimaciones de UNEF, la potencia de autoconsumo, que incluye las instalaciones aisladas, marcó en 2019 también su récord histórico: 459 MW. Estos datos muestran un aumento significativo respecto a 2018, que se quedó según nuestras estimaciones en 262 MW, cerca ya gracias al marco regulatorio actual de autoconsumo, de los niveles en países de nuestro entorno.

Figura 4. Potencia Solar Fotovoltaica Instalada Acumulada en España en el periodo 2006-2019.



Fuente: Datos de Red Eléctrica de España y elaboración propia UNEF

Figura 5. Potencia Solar Fotovoltaica Instalada Anualmente en España en el periodo 2007-2019.



Fuente: Datos de Red Eléctrica de España y elaboración propia UNEF

Nota: Se añade a los datos de REE para la potencia instalada en plantas en suelo (en potencia pico) la potencia instalada de autoconsumo (en potencia nominal), usando un factor de conversión de 1,2.

3. Análisis económico del sector FV en España

El sector de la energía fotovoltaica generó un PIB directo de 2.693 millones de euros en 2018 y 3.220 millones de euros en 2019 (ver Tabla 1). Esto supone una contribución directa del **0,22% al PIB español**, que se incrementa hasta el 0,26% en 2019, continuando la tendencia que se observó el año pasado. .

Tabla 1. Contribución del sector de la energía fotovoltaica al PIB de España, años 2018 y 2019. Millones de euros de 2018 y tasa de crecimiento en %. *Fuente: UCLM*

	2018	2019	Tasa de crecimiento
Cifra de ventas	6.639	8.221	24%
a) Ingresos en España	4.804	5.445	13%
b) Exportaciones	1.835	2.776	51%
Cifra de ventas	6.639	8.221	24%
1. Materiales	3.946	5.002	27%
1.1. Pagos a proveedores españoles	3.129	3.828	22%
1.2. Importaciones	817	1.174	44%
2. PIB directo	2.693	3.220	20%
2.1. Gastos de personal	743	987	33%
2.2. Excedente bruto y rentas mixtas	1.950	2.233	15%

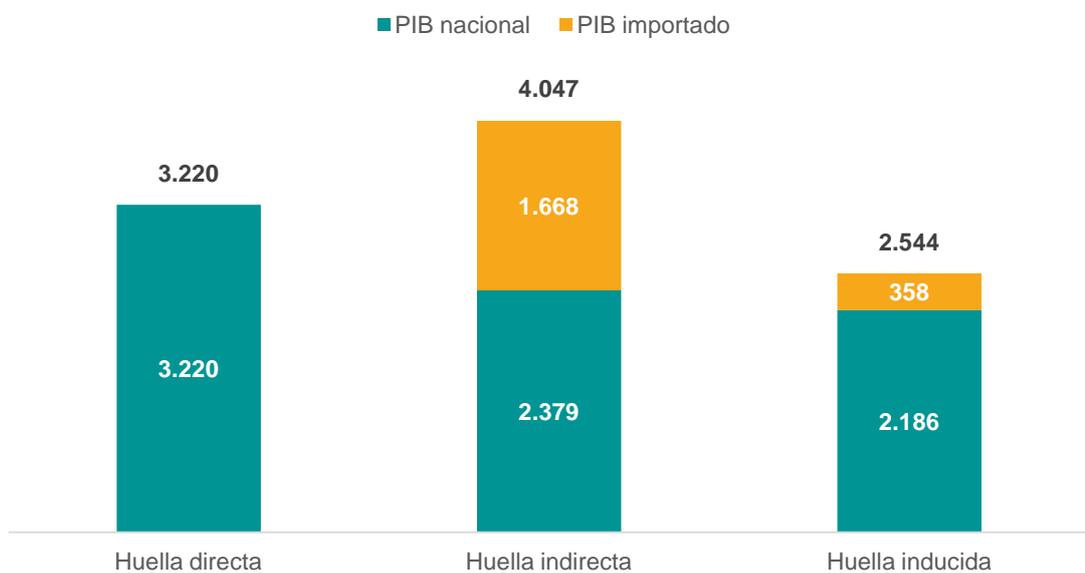
La **huella económica total** del sector se estima como la agregación de la generación de PIB directo, indirecto e inducido, tanto dentro como fuera de la economía nacional. En 2019 esta huella alcanza los **9.811 millones de**

euros, incrementándose un 24% respecto al valor de 2018 de 7.811 millones de euros.

La huella directa afecta solo al PIB nacional al cuantificar el impacto generado en la economía española, mientras que las huellas indirectas e inducidas se descomponen entre huella nacional e importada, ya que cuantifican los efectos de arrastre asociados a la compra de materiales domésticos e importados y al consumo de bienes y servicios que hacen los trabajadores del sector.

En 2019 la **huella indirecta** se descompone en 2.379 millones de euros a nivel nacional y 1.668 millones de euros al PIB importado. Por su parte, la huella inducida se desglosa en 2.186 millones a nivel nacional y 358 millones de euros de impacto en el PIB importado.

Figura 6. Huella económica nacional e importada del sector fotovoltaico español, 2019
(Millones de euros).



Fuente: UCLM

Aunque la huella económica directa (3.220 millones) sigue siendo la que más afecta al PIB nacional, al considerar el PIB importado, la **huella indirecta** es mayor en términos absolutos (4.047 millones). Esto se debe a que los años 2018 y 2019 han tenido una fuerte actividad de fabricación e instalación de equipos, con una considerable importación de materiales y

componentes, aumentando el efecto indirecto en el PIB extranjero. En la medida en la que los equipos y componentes fotovoltaicos de las plantas a construir en los próximos años, se fabricasen en España, se podría absorber parte de esta contribución hacia el PIB nacional.

Tabla 2. Huella económica (PIB) del sector fotovoltaico español (Millones de euros). *Fuente:*

UCLM

Huella	2018	2019p	Crecimiento (%)
Directa	2.693	3.220	20%
Indirecta	3.203	4.047	26%
Inducida	1.916	2.544	33%
Total	7.811	9.811	26%

En el **desglose por actividades**, como puede observarse en la Tabla 3, los efectos de arrastre en términos de PIB (indirectos e inducidos) varían entre las diferentes secciones que agrupan a las empresas del sector. Mientras que la sección de Productores aporta más a la huella económica directa (53% del total), las secciones Fabricantes y Mixta generan una mayor huella indirecta que directa, por el mencionado efecto de compra de materiales (2019). La sección Ingenierías e instaladores genera huellas directa e indirecta en valores similares, con un ligero mayor peso de la primera.

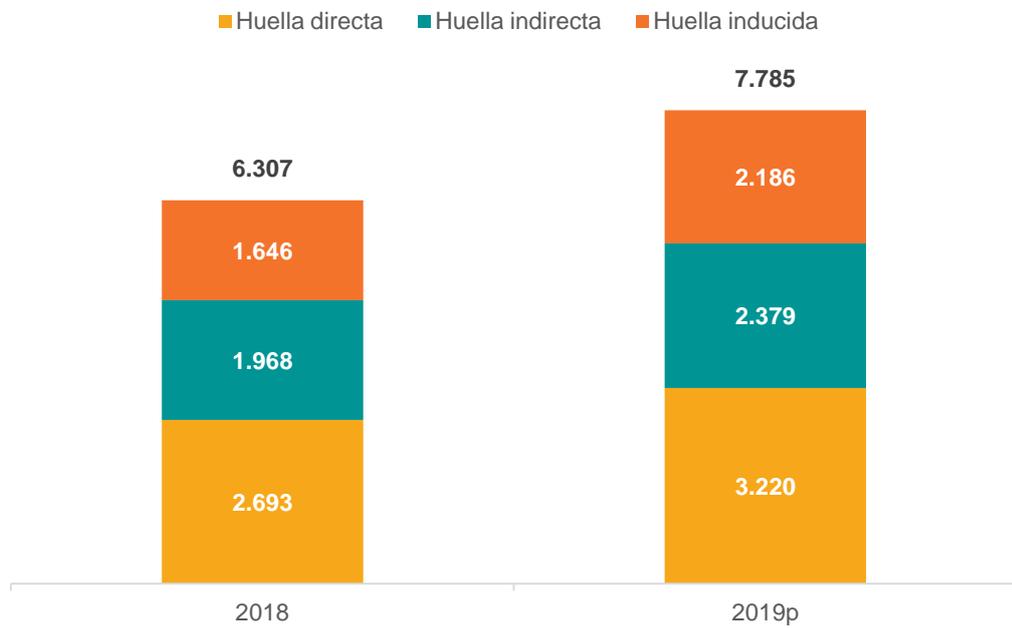
En relación al **PIB generado de forma inducida**, en términos relativos es más importante el de Ingenierías e instaladores, seguido de Productores, Fabricantes y la sección Mixta, conforme la importancia del volumen de salarios pagados pierde importancia sobre el PIB generado en cada grupo de empresas.

Tabla 3. Huella económica (PIB) por grupos de actividad (Millones de euros). *Fuente: UCLM*

Huella	Productores		Ingenierías e instaladores		Fabricantes		Mixta		Total	
	2018	2019p	2018	2019p	2018	2019p	2018	2019p	2018	2019p
Directa	1.720	1.700	526	851	242	439	206	230	2.693	3.220
Indirecta	1.439	1.432	469	740	541	909	753	966	3.203	4.047
Inducida	720	692	592	965	297	540	306	348	1.916	2.544
Total	3.880	3.823	1.587	2.556	1.080	1.888	1.265	1.544	7.811	9.811

Nota: Mixta incluye Distribuidores. Fuente: UCLM

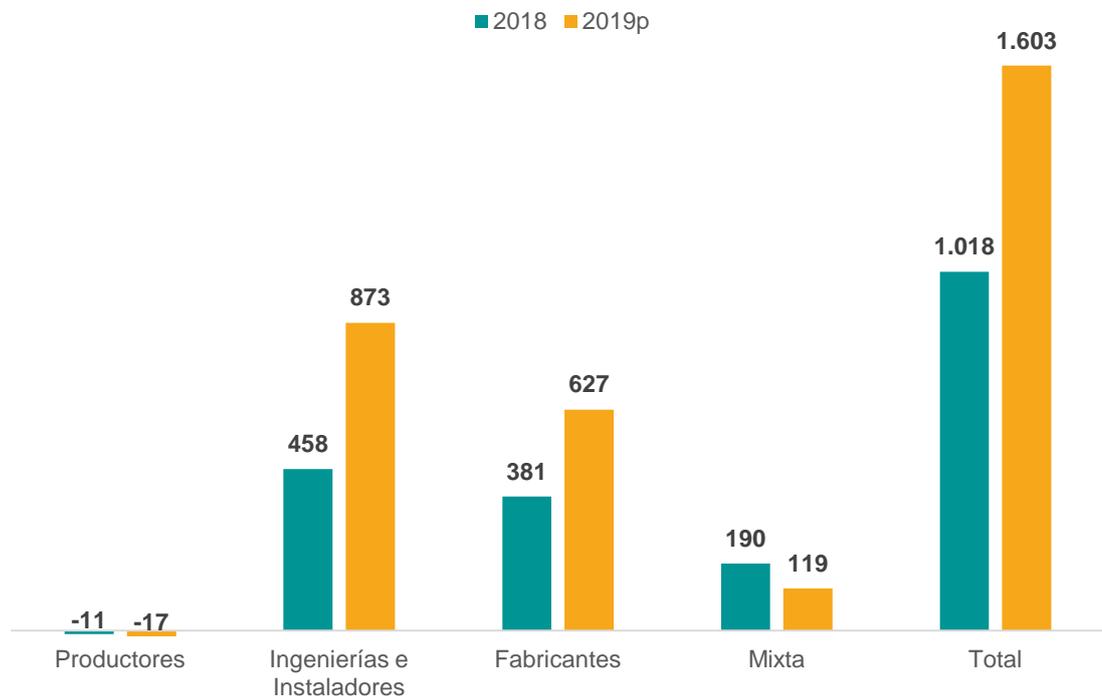
Figura 7. Contribución del sector fotovoltaico al PIB nacional (Millones de euros).



Fuente: UCLM

Desde el punto de vista de la **balanza comercial**, puede observarse que el sector de la energía solar fotovoltaica en España es un **exportador neto**. Los datos del año 2019 superan a los del 2018 presentando un superávit de **1.600 millones** de euros. La actividad que más contribuyó a este superávit fue Ingenierías e instaladores con un 54%, seguida de Fabricantes con un 39%.

Figura 8. Balanza comercial del sector solar fotovoltaico (Millones de euros).



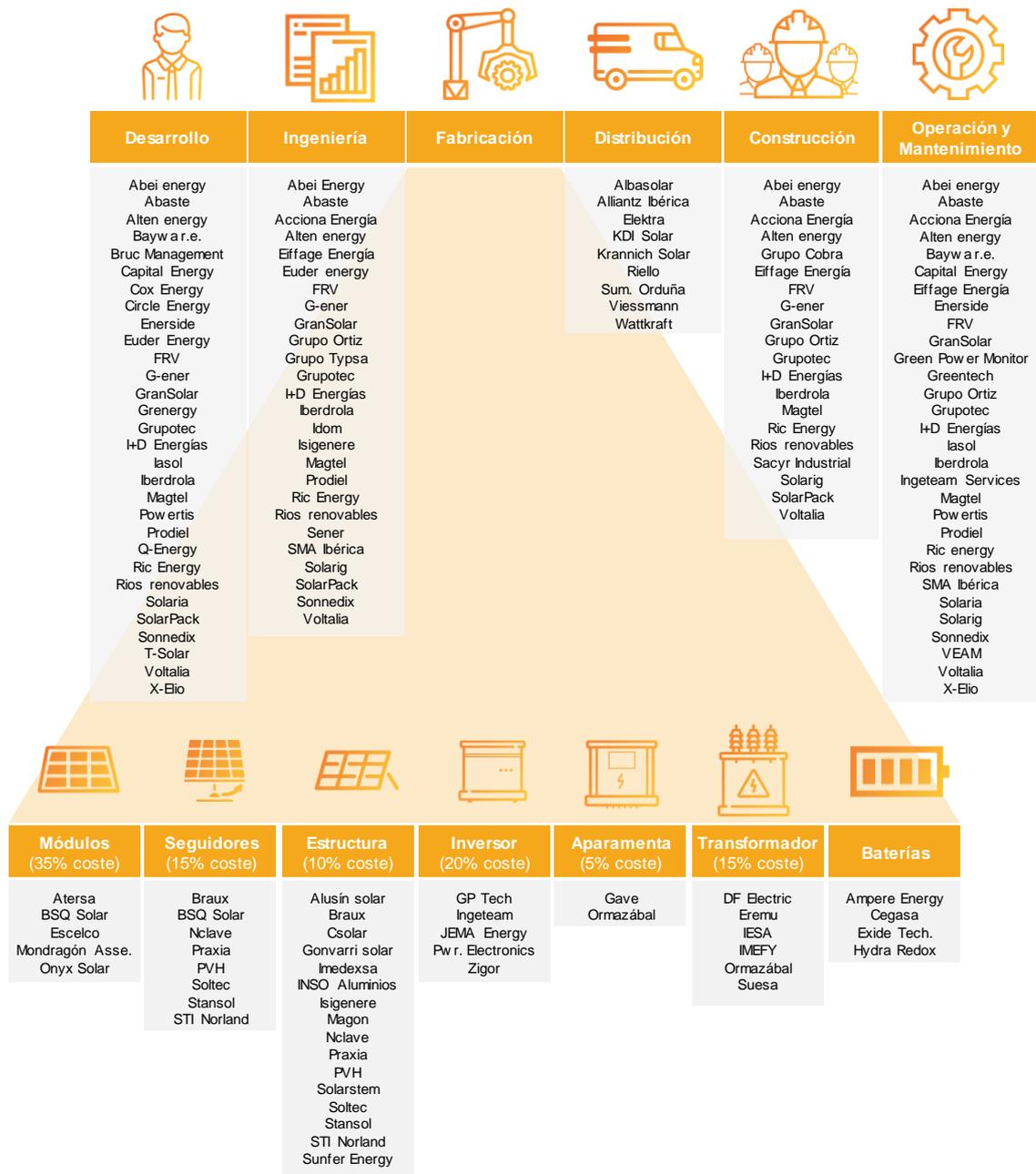
Fuente: UCLM

Para más información sobre la capacidad exportadora de las empresas españolas así como su actividad en el extranjero, dirigirse al documento **Estudio de Mercado y Plan de Internacionalización 2020**.

4. Cadena de valor del sector fotovoltaico español

En ocasiones se relaciona al sector económico asociado a la energía fotovoltaica únicamente con la fabricación de uno de sus componentes: el módulo. Sin embargo, la cadena de valor de esta tecnología es mucho más amplia.

Figura 9. Cadena de valor del sector fotovoltaico español. Fuente: UNEF y sus socios



Nota: Los fabricantes incluidos son aquéllos con capacidad de producción nacional

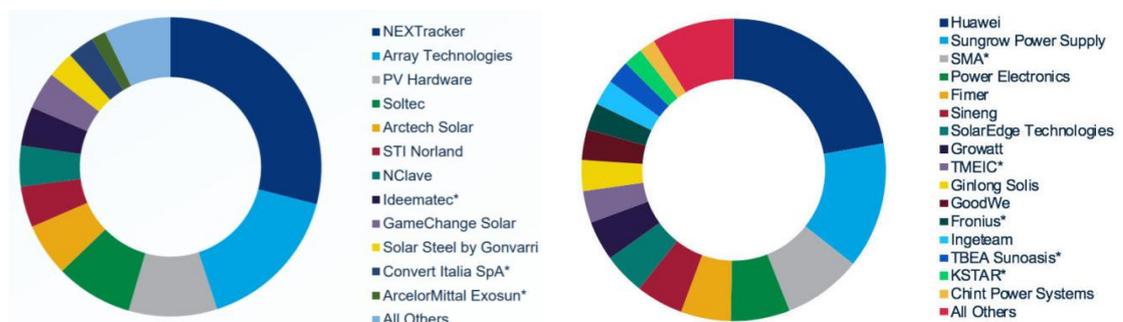
Además, el módulo cada vez tiene una participación más pequeña en el coste del proyecto (por debajo del 35%) y su fabricación tiene unos márgenes comerciales muy reducidos. En la cadena de valor fotovoltaica, aparte de fabricarse otros componentes que tienen un mayor peso en el coste final de la instalación, se tienen una gran variedad de actividades que generan crecimiento económico y empleo. Prueba de ello se puede ver en la figura 9. Adicionalmente, el mercado de fabricación de módulos se caracteriza actualmente por una elevada sobrecapacidad y fuerte presión sobre los fabricantes para reducir precios. Como resultado, se tienen **escasos márgenes** y un precio decreciente, que ha llevado incluso al cierre a fábricas chinas.

Este escenario aconseja la especialización en **otros elementos de la cadena de valor**, cuyo peso en el coste total del proyecto será cada vez mayor. Los segmentos prioritarios serán aquellos en los que se pueda obtener una ventaja competitiva como: seguidores, electrónica de potencia, almacenamiento a pequeña y gran escala.

En este sentido, el **sector industrial fotovoltaico nacional** cuenta con una posición favorable al tener presencia entre los **diez mayores fabricantes a nivel mundial de seguidores** solares (PVH, Soltec, STI Norland, Nclave, Gonvarri) e inversores (Power Electronics, Ingeteam). Asimismo, las **estructuras** son una parte de la cadena de fabricación que es eminentemente local.

Figura 10. Ranking de fabricantes de seguidores (a) e inversores (b) fotovoltaicos en 2019.

Fuente: Wood Mackenzie



Al contrario de lo que suele opinarse, la mayor competencia de otras zonas del mundo no está necesariamente en unos menores costes salariales sino a la existencia de un tejido industrial más fuerte **promovido mediante políticas públicas** que fomentan la innovación. Hoy en día la gran mayoría de procesos están automatizados, por lo que el coste de la mano de obra ha ido perdiendo importancia como factor de éxito. Actualmente **la fortaleza de la cadena de suministro** es el elemento fundamental.

La transición energética solo puede plantearse por tanto como una **oportunidad para la consolidación de la industria fotovoltaica nacional**, como se recoge en la comunicación que acompañaba la presentación del *European Green Deal* en diciembre de 2019:

“Lograr una economía neutra en emisiones y circular requiere la plena movilización de la industria. [...] La transición es una oportunidad para expandir una actividad económica sostenible e intensiva en empleo. El European Green Deal apoyará y acelerará la transición de la industria de la UE hacia un modelo sostenible de crecimiento inclusivo.”

Para que pueda aprovecharse la oportunidad, deben evitarse los errores del pasado: el desarrollo del sector fotovoltaico en los próximos años debe ser **constante pero estable**, en lugar de un desarrollo tipo burbuja con un gran crecimiento seguido de años de inactividad.

Para ello, se requiere contar con una política de **desarrollo industrial asociada a la energía fotovoltaica** que permita capturar las mayores rentas para el país, en términos de empleo y crecimiento económico, derivadas de la nueva potencia a instalar. Nuestro objetivo debe ser que, en los casos en los que sea económica y técnicamente sostenible, los componentes fotovoltaicos necesarios para construir esta nueva capacidad tengan una fabricación nacional.

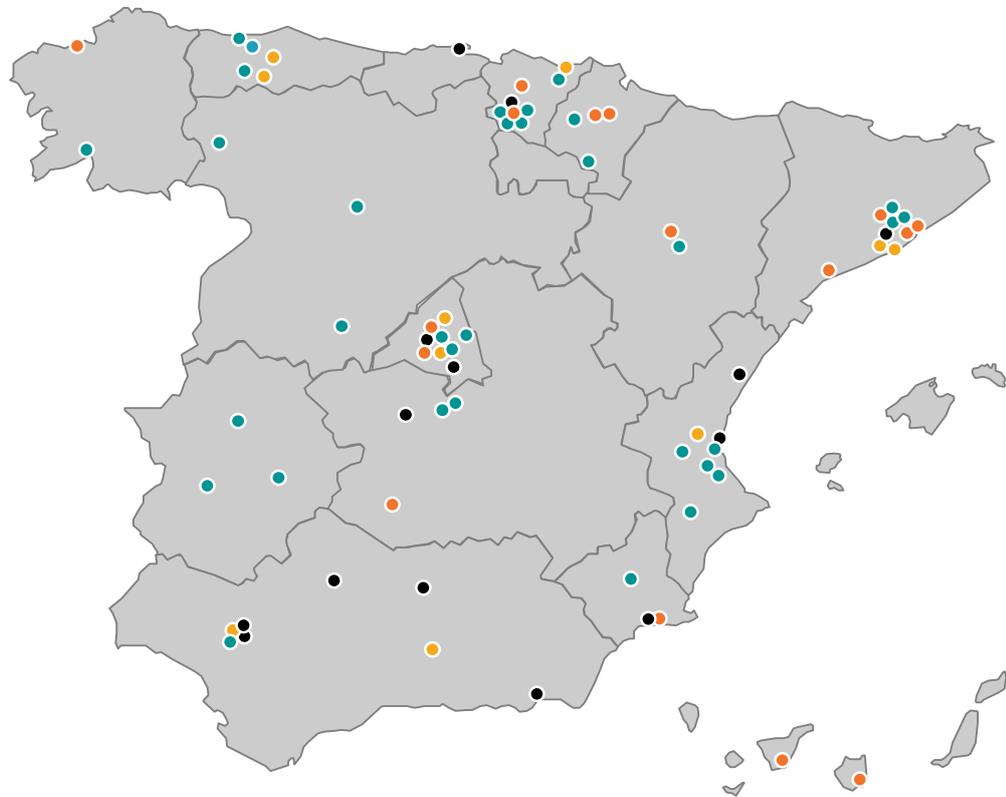
Para más información sobre la cadena de valor de las empresas españolas dirigirse al documento **Estudio de Mercado y Plan de Internacionalización 2020**.

5. Mapa de Capacidades

En el mapa puede observarse cómo el sector industrial fotovoltaico se encuentra muy **distribuido por todo el territorio nacional**, incluyendo 32 fabricantes con capacidad de producción nacional, 13 empresas tecnológicas (o fabricantes que producen en el extranjero), 15 centros de investigación y 15 universidades con actividad docente o investigadora fotovoltaica.

Si quiere que su empresa aparezca en el mapa de capacidades, póngase en contacto con fotoplat@fotoplat.org.

Figura 11. Mapa de capacidades del sector industrial FV español. *Fuente: UNEF y FOTOPLAT*



● **Fabricantes:**

- Alusín Solar (Estructuras)
- Ampere Energy (Baterías)
- Atersa (Paneles)
- Braux (Estructuras, Seguidores)
- BSQ Solar (Módulos)
- Cegasa (Baterías)
- CSolar (Estructuras)
- Escelco (Paneles)
- Exide Technologies (Baterías)
- Gave (Protecciones)
- Gonvarri Solar (Estructuras)
- GP Tech (Inversores)
- Hydra Redox (Baterías)
- Imedexsa (Estructuras)
- Ingeteam (Inversores)
- INSO (Estructuras)
- Isifloating (FV Flotante)
- JEMA Energy (Inversores)
- Magon (Estructuras)
- Mondragón (Montaje módulos)
- Nclave (Seguidores y Estructuras)
- Onyx Solar (Paneles)
- Ormazabal (Equip. eléctrico)
- Power electronics (Inversores)
- Praxia (Estructuras, Seguidores)
- PVH (Seguidores y Estructuras)
- Solarstem (Estructuras)
- Soltec (Seguidores, Estructuras)
- Stansol (Estructuras, Seguidores y FV Flotante)

- STI Norland (Seguidores, Estructuras)
- Sunfer Energy (Estructuras)
- Zigor (Inversores)

● **Tecnólogos¹:**

- Acciona
- Binovo Solar
- EnerTis
- Exiom group
- Green Power Monitor
- Isotrol
- Leadernet
- Phoenix Contact
- Tamesol
- Weidmuller
- Tecnalía
- Teknia group
- Whitewall Energy

● **Centros de investigación:**

- CENER
- CETENMA
- CIC Energigune
- CIEMAT
- CIRCE
- Eurecat C. Tecnológico Cataluña
- Funditec
- ICMAB-CISC

- IK4 Tekniker
- ICIQ Inst. Catalán Inv. Química
- IMDEA Energía
- ITER Instituto Tecnológico y de Energías Renovables
- Instituto Tecnológico de Galicia
- IREC Inst. Inv. Energía de Cataluña
- Instituto Tecnológico de Canarias

● **Universidades e institutos:**

- EPSU Mondragón
- Instituto de Energía Solar UPM
- Instituto de Materiales Avanzados UJI
- ISFOC, Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración
- Nanophotonics Tech Center, UPV
- Nanostructured Solar Cells Group Univ. Pablo de Olavide
- Univ. Carlos III de Madrid
- Univ. de Almería
- Univ. de Cantabria
- Univ. de Castilla-La Mancha
- Univ. de Córdoba
- Univ. de Jaén
- Univ. Politécnica de Cartagena
- Univ. Politécnica de Cataluña
- Univ. de Sevilla

¹ Los fabricantes que no producen en España se incluyen como Tecnólogos.

6. Situación de la tecnología fotovoltaica:

Las empresas fabricantes de componentes fotovoltaicos, entre ellas muchas españolas, operan en un entorno internacional muy competitivo en el que es necesaria una innovación constante para mantener la posición comercial. La innovación contribuye al desarrollo tecnológico de los componentes de la cadena de valor fotovoltaica y a la creación de nuevos productos y servicios adaptados a lo que demandan los mercados.

La innovación en fotovoltaica se dirige fundamentalmente a la reducción del LCOE de las instalaciones, tanto para grandes plantas como para generación distribuida. Esta reducción de costes se aborda tanto con mejoras en la producción eléctrica de los sistemas, asociada principalmente a la eficiencia de conversión los módulos e inversores, como en la extensión de la vida útil de la planta, o a la reducción tanto del CAPEX como del OPEX. En el caso de la generación distribuida se busca, además de la proximidad de la producción al punto de consumo, otra serie de beneficios o valores añadidos para el usuario. En estos casos, la innovación responde también a otros retos, como la integración de la fotovoltaica en superficies o entornos en los que ha de convivir con otros usos (edificio, entorno urbano, transporte, agricultura, superficies de agua).

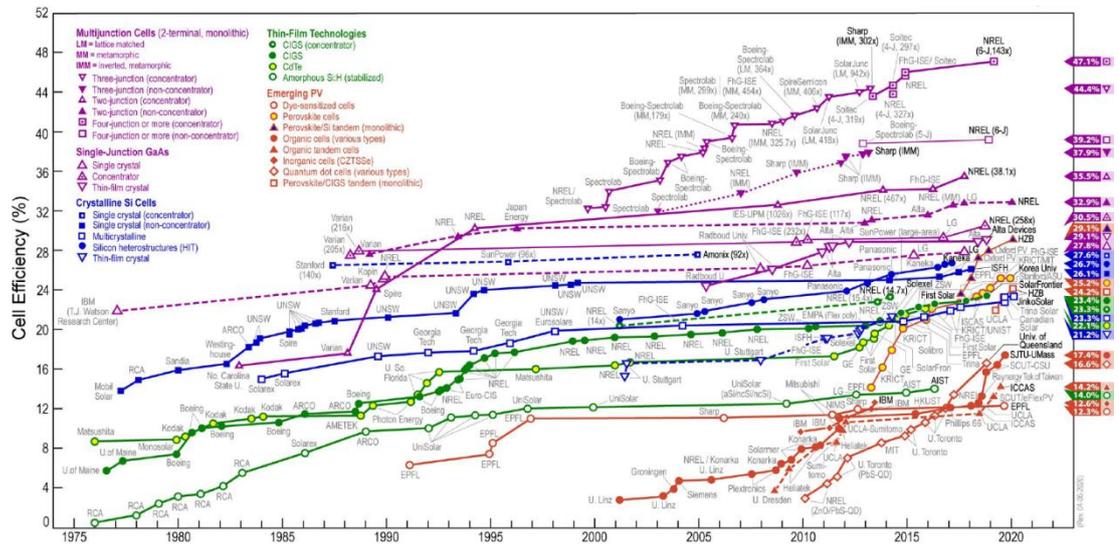
6.1. Desarrollo tecnológico en la cadena de valor

En lo referente al desarrollo tecnológico, el primer elemento de la cadena de valor es la **célula fotovoltaica**, en el que las tecnologías de silicio, especialmente policristalino, dominan más del 90% del mercado mundial. La evolución de esta tecnología ha supuesto un cambio de paradigma, reduciendo el coste de los módulos fotovoltaicos en un 90% en los últimos 10 años.

Al igual que el coste, la **eficiencia** también ha mejorado significativamente y, cada año, se han ido batiendo los récords de la “celda de laboratorio” de las distintas tecnologías, confirmándose un aumento anual de la eficiencia de las mismas en torno al 0,5% absoluto. Como muestra la Figura x, para silicio monocristalino está en el orden del 26% y del 23% para policristalino. La

eficiencia de las células de silicio en aplicaciones comerciales es superior al 20%.

Figura 12. Evolución de la Eficiencia De Laboratorio De Diferentes Células Fotovoltaicas



Fuente: NREL

Aunque las aplicaciones de silicio siguen copando la inmensa mayoría del mercado, la innovación en células **Thin Film**, de perovskita o las orgánicas está arrojando resultados prometedores. Estas tecnologías permiten la construcción de material fotovoltaico ligero y flexible, para su uso en teléfonos móviles o en vehículos. Bajo este mismo objetivo se encuadra la investigación en diversas tecnologías de fabricación que ya están en el mercado como la familia PERx (células pasivadas por la cara frontal y posterior), células topcon, HJT (células de heterounión) y células multiunión. Estas tecnologías también mejoran año a año su eficiencia, estableciendo nuevos récords.

Figura 13. Cuotas del mercado mundial en 2019 para diferentes tecnologías de célula

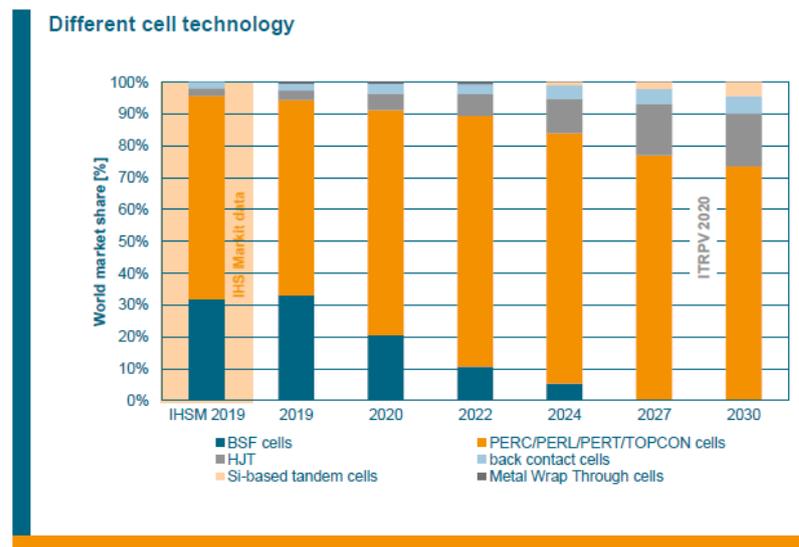


Fig. 38: Worldwide market shares for different cell technologies. IHS Markit data are indicated for 2019 as reference for 2019 [19].

Fuente: ITRPV 2019

Algunas de estas prometedoras tecnologías, que ya están en el mercado (PERC y HJT, entre otras), pueden atrapar la luz por ambos lados, lo que permite fabricar módulos bifaciales que generan electricidad por la exposición tanto de la parte frontal como de la parte trasera. Así, si la superficie sobre la que se instalan es reflectante, la eficiencia puede aumentar hasta un 30%. Por sus características, esta solución tiene un gran potencial en grandes plantas en suelo en regiones desérticas (Oriente Medio, Asia Menor, norte de Chile, etc.). Además, estos módulos bifaciales se pueden utilizar en estructuras verticales como las pantallas acústicas en autopistas y vías de tren o en otras aplicaciones.

Figura 14. Cuotas del mercado mundial en 2019 para tecnologías de célula bifacial

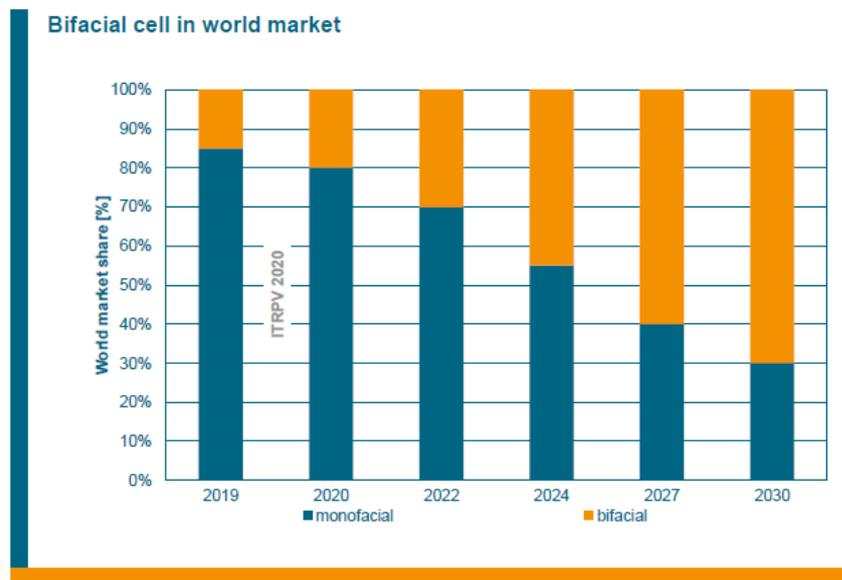


Fig. 40: Worldwide market shares for bifacial cell technology.

Fuente: *ITRPV 2019*

Claramente se trata de un sector focalizado en Asia, que no volverá a Europa si no hacemos una apuesta estratégica verdaderamente decidida por ello. Pero eso no puede ocultar el hecho de que en España contamos con grupos de investigación y empresas con una larga trayectoria, con resultados muy relevantes en ámbitos diversos, con proyección internacional y, sobre todo, con un conocimiento consolidado, que siguen generando nuevas ideas y buscando nichos donde ponerlas en práctica.

Apoyar esos desarrollos, y hacerlo en el marco de una estrategia de industrialización fotovoltaica que cubra toda la cadena de valor, es la única vía para ser productores de tecnología, y no sólo consumidores de la misma.

En lo que se refiere a **las tecnologías de módulo**, hay una continua evolución asociada a las necesidades de reducción del LCOE y de integración en nuevas superficies y usos antes mencionadas. Las innovaciones se adoptan desde el diseño de nuevos conceptos de módulo, ya sea para obtener una mayor potencia específica o una mayor durabilidad; de los materiales encapsulantes y protecciones delanteras y traseras, para

hacerlos más resistentes a ambientes específicos o más ligeros o adaptables a geometrías o formas de uso particulares; la incorporación de capas con funcionalidades específicas (antireflectantes, resistentes a la abrasión, antiensuciamiento o fácilmente limpiables); nuevos procesos de fabricación que permitan una mayor productividad incorporando herramientas de robótica, digitalización, sensorización, control y analítica de datos; o la integración de dispositivos electrónicos que permitan obtener la máxima potencia en condiciones concretas de uso.

En muchos casos, las tecnologías de módulo evolucionan a medida que lo hacen las nuevas células adaptando los conceptos, diseños y procesos de fabricación a las particularidades de cada tipo de célula (shingling, bifaciales, HJT, tándem, PERC, multiunión, etc) y a la disponibilidad de nuevos tamaños y formas de conexionado. En este sentido, en cuanto a procesos de conexionado, se están desarrollando métodos que utilizan adhesivos conductores eléctricos en sustitución la soldadura convencional o se trabaja en la optimización de los sistemas conocidos como multiwire o smartwire.

No menos importantes son las **estructuras y seguidores**, Por un lado, hay una tendencia de incremento en la instalación de seguidores con un crecimiento global del 20% en 2019. Los seguidores se están incorporando también a instalaciones con módulos bifaciales para aumentar el rendimiento de los sistemas por ambas vías.

Por otro lado, existe un campo de gran recorrido para la innovación en la adaptación de estructuras y seguidores a los nuevos requerimientos que se dan en las plantas fotovoltaicas flotantes y en aquellas que buscan el uso simultaneo del suelo para cultivo y fotovoltaica. En el primer caso, las estructuras de soporte de los módulos se tienen que adecuar a la necesidad básica de flotación y a las condiciones corrosivas de los ambientes acuáticos. En el segundo, la convivencia con el cultivo exige un aprovechamiento diferente de los espacios, nuevas configuraciones en altura y sistemas de seguimiento que permitan un balance óptimo entre producción agrícola y energética.

En lo referente a los **convertidores de potencia**, los principales retos tecnológicos son reducir los costes, aumentar la eficiencia, la densidad de potencia y la fiabilidad de los equipos, e incorporar nuevas funcionalidades de monitorización y comunicación de cara a la digitalización del generador fotovoltaico. De acuerdo al rango de potencia, se diferencian tres aplicaciones tecnológicas: inversores string, inversores centrales y electrónica a nivel módulo (microinversores y optimizadores de potencia). Los primeros son los que se utilizan en instalaciones de autoconsumo de pequeña potencia (sector residencial y servicios). Los inversores centrales se utilizan en instalaciones de autoconsumo de mayor potencia (sector industrial) y plantas en suelo. En esta aplicación es donde la reducción de costes es aún más importante si cabe, con precios por debajo ya de 0,1€/Wp. Por último, se tienen la electrónica integrada en el módulo, empleadas en aquellas aplicaciones con condiciones de operación heterogéneas.

Relacionado con los convertidores de potencia, no menos importante es la **gestión energética** que permite integrar al generador fotovoltaico en el sistema eléctrico, **hibridándolo con almacenamiento eléctrico y térmico**. De este modo, se permite aumentar la rentabilidad de los sistemas FV de autoconsumo al acoplar generación y demanda y ofrecer en grandes plantas nuevos servicios de regulación de la generación que permitan participar en el mercado eléctrico suministrando una energía con mayores estándares de seguridad y calidad.

Por último, en un escenario de alta presión por los costes y por obtener la máxima producción eléctrica a lo largo de toda la vida útil de la planta fotovoltaica, surge como una actividad de vital importancia la adecuada **operación y mantenimiento (O&M) de las plantas FV**, que permitirá aumentar su rendimiento y reducir su OPEX. Se reconoce en el sector que existe todavía mucho margen de mejora en las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, que pasa por aplicar nuevas tecnologías y la innovación en aspectos clave para la O&M como son la digitalización, aplicada a análisis de datos de monitorización y a la detección temprana de fallos, a la interpretación de imágenes IR en campo, o a técnicas que mejoran la eficiencia de las actuaciones en

campo (p.e. a través de la limpieza automática de módulos o la realidad aumentada).

En FOTOPLAT existe un grupo trabajo de Tecnologías de generación fotovoltaica, enfocadas a la mejora de la productividad y reducción de LCOE en el que se trabaja en orientar la I+D española en este sentido, y se incluyen aspectos que influyen en la reducción de este LCOE, optimizando el rendimiento de los sistemas FV, aumentando su tiempo de vida (a 30-35 años desde los 25 actuales), reduciendo el coste de los módulos (y sus materiales: encapsulantes, vidrio, capas antireflectantes, capas autolimpiables, nuevas arquitecturas de módulo, etc.) y del resto de componentes del sistema FV (electrónica de potencia, protecciones, sistemas de soporte, seguidores), diseñando nuevas tipologías de planta FV, etc. También se incide en la investigación e innovación enfocada a la mejora de la productividad en la fabricación de los paneles FV, que pasa por la digitalización de los procesos (Industria 4.0), sensorización de magnitudes, tecnología BIM-PIM (Product Information Management, Building Information Modeling).

6.2. Tendencias en Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en muchos lugares del mundo en la tecnología de producción de electricidad más barata, en muchos casos por debajo del precio mayorista de la electricidad. Esta reducción tan sorprendente de costes, junto con los avances tecnológicos en toda la cadena de valor, hacen posible el concepto de *electricity everywhere*, electricidad allí donde se necesite

El mercado de la FV tiene dos grandes aplicaciones: a) tradicionalmente, las grandes plantas, donde el objetivo es la producción de electricidad a gran escala y con el LCOE más bajo posible; b) la generación distribuida, donde se busca, además de la proximidad de la producción al punto de consumo, otra serie de beneficios o valores añadidos para el usuario. Un beneficio común en todas estas nuevas aplicaciones distribuidas (integración en el edificio, integración en el transporte, integración en elementos de mobiliario

urbano, FV flotante, FV en agricultura) es la integración de la FV sobre superficies que tienen su propia función y se convierten de esta forma en generadores de electricidad.

Para conseguir una buena integración, es necesario apostar por nuevos desarrollos en: a) el campo de los materiales (p.e. nuevos materiales encapsulantes, capas protectoras); b) integrar las nuevas tecnologías de células FV (shingling, bifaciales, HJT, tándem, PERC, multiunión...) que den lugar a módulos más ligeros, adaptables a las formas de los productos donde se integran o a nuevos diseños de módulo , c) a dispositivos electrónicos adaptados a las particularidades de las aplicaciones, que permiten obtener la máxima potencia y d) sistemas anexos específicos para aplicación (estructuras, sistemas flotantes, ...)

Adicionalmente, es necesario diseñar una buena estrategia de gestión energética para optimizar el uso de la energía generada dimensionando adecuadamente el sistema y explorando la flexibilidad que ofrecen las cargas.

6.3. Integración fotovoltaica en edificio (BIPV – Building integrated PhotoVoltaicas) y entorno urbano.

La fotovoltaica integrada en la edificación o BIPV (Building Integrated Photovoltaics) consiste en sustituir elementos tradicionales de construcción (tejas, ventanas, lucernarios, muros cortina, fachadas ventiladas, ...) por otros que tengan incorporados células fotovoltaicas,

La BIPV facilita la implantación de la fotovoltaica en las ciudades, donde el espacio disponible es limitado y constituye una tecnología fundamental para llegar a edificios de consumo de energía casi cero (Near Zero Energy Buildings, NZEBs), uno de los objetivos de la política europea de eficiencia energética.

Los elementos constructivos fotovoltaicos tienen funciones adicionales a las constructivas como la generación de electricidad, que permite recuperar el coste de la inversión de elementos que tradicionalmente no son

amortizables, pero deben integrarse arquitectónicamente, no solo de forma estética (color, textura, formas, superficie,...) sino que además de cumplir con las normativas fotovoltaicas propias y las de construcción del elemento al que sustituyen.

Algunos de los retos tecnológicos de la BIPV son que la orientación y la inclinación de la envolvente del edificio no siempre son las óptimas para maximizar la producción; las instalaciones pueden estar afectadas por sombras parciales provocadas por construcciones cercanas, con la consecuente reducción de rendimiento y/o complejidad en los sistemas electrónicos necesarios para maximizar la energía; o el posible sobrecalentamiento de los módulos FV integrados, lo que lleva a una pérdida de rendimiento (alrededor del 0,4%/°C para los módulos del silicio cristalino).

En este segmento, aunque ya existen empresas españolas con aplicaciones comerciales, continúa el desarrollo tecnológico. Además, la tecnología BIPV aún necesita superar algunas barreras de mercado, principalmente relacionadas con la flexibilidad en diseño y consideraciones estéticas, falta de herramientas de integración de la tecnología fotovoltaica con el rendimiento del edificio, demostración de la fiabilidad a largo plazo de la tecnología, cumplimiento de legislaciones legales, Interacción inteligente con la red y rentabilidad.

Figura 15. Ejemplo de Integración fotovoltaica en fachada ventilada en las instalaciones de TECNALIA (San Sebastián). *Fuente: Tecnalía*



6.4. Integración fotovoltaica en la movilidad

Las emisiones en el transporte han crecido un 25% desde 1990, siendo este el único sector donde se ha producido incremento. La situación de emergencia medioambiental y de sostenibilidad del planeta, el cambio climático, la descarbonización de la sociedad, hacen que la reducción de emisiones de CO₂ en el transporte sea necesaria.

El Vehículo Eléctrico (VE) permite un cambio de paradigma, puesto que la carga de las baterías puede ser gestionadas, permitiendo una mayor penetración de fuentes de Energía renovable (variable, no gestionable) en el mix eléctrico, y esta mayor penetración de las ER es imprescindible para la descarbonización del sector.

Habitualmente, la energía FV integrada en el vehículo se usa para alimentar consumos auxiliares (A/C, luces, cargadores). Pero con la mejora de eficiencias en las células, materiales, soluciones de integración y reducción

del consumo de VE, la FV contribuye a la autonomía o bien a reducir el peso de la batería del VE. En I+D para esta aplicación de la FV integrada en el automóvil es importante:

- Incorporar nuevas tecnologías de célula y materiales para conseguir módulos más ligeros y adaptables a las formas del vehículo y que puedan satisfacer los requerimientos estructurales
- FV en movimiento: cambio rápido de la curva I-V, lo que requiere de algoritmos MPPT muy rápidos y adaptables a estas condiciones
- La FV se debe adaptar a las formas curvas del VE: desadaptación en las curvas I-V de los paneles, necesidad de dispositivos electrónicos para conversión DC/DC y lay-out específico
- Sombras en diferentes zonas del vehículo: mismas necesidades que en el caso anterior
- Estética de la superficie: células con back contact
- Reparación en caso de rayones, pequeños impactos
- Reciclaje de componentes en el automóvil
- Limpieza de carrocería: algunas veces, productos abrasivos

La integración de la FV para la movilidad también se puede realizar en la infraestructura asociada a los medios de transporte (estaciones de recarga, marquesinas, parkings, carreteras, traviesas de tren, paneles acústicos, ..). Los retos tecnológicos para este tipo de instalaciones son similares a la BIPV. Otra aplicación que está despertando interés son las barreras acústicas, debido al uso de módulos bifaciales que permiten sacar mayor rendimiento a una instalación en vertical.

Figura 16. Ejemplo de Integración fotovoltaica en marquesina de aparcamiento de coches en Zurich (Suiza). *Fuente: Proyecto PVSITES*



6.5. Fotovoltaica flotante

Se denomina Fotovoltaica Flotante a las instalaciones FV realizadas sobre láminas de agua, apoyándose en estructuras flotantes. La FV flotante es una alternativa a las grandes plantas solares terrestres con un gran crecimiento actual y futuro. Este tipo de instalación podría convertirse en los próximos años en un tercer subsector del mercado fotovoltaico además de las plantas en suelo y los sistemas de autoconsumo, por el potencial de desarrollo en embalses y espacios desnaturalizados como canteras. Según el Instituto de Investigación de Energía Solar de Singapur (SERIS), la potencia instalada acumulada de la fotovoltaica flotante es superior a 1 GW, sobre todo gracias a instalaciones en China, Japón, Taiwán y Corea del Sur. Sin embargo, se están desplegando también proyectos en Europa (Países Bajos, Francia, Suiza) y en España. Además, según el informe del WorldBank de Noviembre 2018 destacaban este potencial de crecimiento: “bajo el supuesto conservador de que la energía FV flotante ocupara solo el 1% de los reservorios de agua dulce artificiales del mundo, se llegaría a una capacidad instalada de 400 GW”. España ocupa el 10º puesto mundial en agua embalsada y el primer puesto por habitante, por lo que tenemos un gran potencial todavía sin explotar.

Existe actualmente una gran variedad de ubicaciones y usos de las plantas fotovoltaicas flotantes, cada una con sus peculiaridades y retos tecnológicos, como instalaciones FV sobre reservorios de agua dulce artificiales: embalses industriales; estanques de regadío; depósitos de tratamiento de aguas; granjas de acuicultura; embalses agua potable; lagos en canteras / minas; central hidro-eléctrica – hibridación; estanque de desalinización; canales (FPV1.0); instalaciones piloto hibridadas con instalaciones hidroeléctricas; instalaciones en mar en zonas costeras resguardadas (islas) (FPV2.0); y pruebas de concepto como instalaciones off-shore aisladas o hibridadas con eólica off-shore que alimentan nuevos modelos de negocio de la “economía azul”.

Numerosos materiales, tecnologías y diseños de concepto han sido y están siendo desarrollados en FV flotante: sistemas de flotación, sistemas de amarre, sistemas integrados (HW / FW) para control y conversión de potencia adaptados a las características de la FV flotantes, ...

El sector es muy dinámico y aún un gran número de actores del mundo fotovoltaico y de la industria marítima.

6.6. Fotovoltaica en la agricultura (AgriPV)

Según un estudio de la Universidad Estatal de Oregón “los lugares más productivos de la Tierra para la energía solar son los terrenos agrícolas” y, además, “si menos del 1% de la tierra agrícola se convirtiera en paneles solares, sería suficiente para satisfacer la demanda mundial de energía eléctrica”.

La aplicación de la fotovoltaica en la agricultura (AgriPV) propone el desarrollo de sistemas de producción de energía solar fotovoltaica, en combinación armónica y optimizada con la producción agrícola, de forma que permita el desarrollo de actividades agrícolas normales de manera simultánea a la generación de energía solar in situ, especialmente adecuada para zonas donde las plantas FV compiten por el mismo espacio con los cultivos.

Otras ventajas de la AgriPV son que: permite crear una microrred para consumo en sitios remotos y sin red; reduce a la vez, el consumo de agua de los sistemas agrícolas (al evitar la evaporación); reduce la incidencia de estrés radiactivo (fotoinhibición y golpes de sol) y protege los cultivos del impacto de las heladas, granizo, con lo que en algunos casos aumenta la producción del cultivo.

AgriPV se puede aplicar principalmente en dos ámbitos diferenciados: invernaderos y cultivos a cielo abierto.

Los retos de incluir la FV en cultivos a cielo abierto: cálculo de las estructuras (altura, anchura, separación) de forma que permitan que los cultivos crezcan, la maquinaria agrícola tenga acceso y existan flujos de aire; desarrollo de algoritmos que orienten los paneles para regular la radiación solar (o para proteger los cultivos de heladas, granizos, radiación excesiva) teniendo en cuenta los modelos de crecimiento de cada cultivo y las condiciones climáticas ideales para cada uno de ellos.

Los retos para incluir la FV en los invernaderos serían: integración de la FV en la estructura del invernadero de forma que se adapte a sus formas y con materiales que soporten las condiciones de temperatura, humedad y de componentes químicos del invernadero; integración de la FV en la gestión energética del invernadero; desarrollo de soluciones que permitan regular la cantidad de radiación solar que entra en el invernadero en función de la época del año.

Figura 17. Ejemplo de Integración fotovoltaica de concentración en un invernadero con tecnología Eclipse en Derio (Vizcaya) *Fuente: Tecnalia*



6.7. Generación de hidrógeno

En el segmento de la producción de gases renovables, el hidrógeno se presenta como solución para el almacenamiento estacional de la energía eléctrica y la descarbonización de los procesos industriales. Se trata de las aplicaciones solar que emplean la generación eléctrica para la producción de hidrógeno mediante la electrólisis del agua. Estas aplicaciones aprovechan la curva de producción de la energía fotovoltaica, en concreto su pico de producción en el mediodía, cuando el consumo general es más bajo. Este pico fotovoltaico será la principal oportunidad para producir de forma rentable gases renovables como el hidrógeno y otros productos en un futuro cercano.

6.8. Gestionabilidad, almacenamiento e integración de red

Todas las aplicaciones anteriores de la energía solar fotovoltaica requieren de herramientas que la hagan más gestionable, tanto en grandes plantas como en generación distribuida, más aún cuando pueden coexistir los sistemas FV con sistemas de almacenamiento eléctricos y/o térmicos; para conseguir unos costes de electricidad competitivos con los precios actuales del mercado.

Frente a las grandes plantas, el autoconsumo FV propone una implantación masiva y un cambio del modelo direccional hacia una nueva red bidireccional. Este tipo de red requiere nuevos códigos de interconexión, con nuevas posibilidades de alcanzar beneficios adicionales para la comunidad de energía (*Energy Community*) como: la gestión inteligente de las redes, la mejora de la eficiencia del sistema, aumento de la seguridad y, en suma, la participación de nuevos agentes que mejoran la competitividad. Por tanto, el desarrollo de los equipos para el autoconsumo de los cuales en el futuro habrá millones interconectados, requiere dos esfuerzos de innovación simultáneos: (1) reducción de costes y (2) aumento de calidad y seguridad del suministro y esto implica innovación en las funcionalidades de los equipos tanto del lado de la generación como de inyección a red.

Por otra parte, los equipos de almacenamiento de energía (baterías) que permitan una optimización y de acoplamiento entre la generación y el consumo con un óptimo excedente vertido a red, es una línea de I+D+I demandada por muchos sectores de las energías renovables, pues se busca la regulación para acoplar y coordinar la demanda a la oferta. Esta línea de trabajo es común a muchas tecnologías renovables y no renovables y requiere un gran esfuerzo de investigación.

En cuanto a la digitalización, hoy en día se evidencia en los llamados dispositivos conectados (contadores inteligentes, sensores de red en tiempo real) que proporcionan una cantidad ingente de datos (*internet of things*, IoT). Se utilizan diferentes herramientas de analítica de datos (*data mining*, *machine learning*, y gemelos digitales entre otras) para generar información que ayude a los operadores de la red y agentes varios a mejorar la eficiencia

del mercado energético, y la conectividad permite el intercambio masivo de datos entre humanos, dispositivos y máquinas a través de las redes de comunicación digitales. En el medio plazo, la digitalización va a permitir que millones de hogares puedan participar activamente en la gestión automática de la demanda, en tiempo real, incluyendo los vectores eléctrico y el H&C, en los que la solar FV jugará un papel clave, y por otra parte, permitirá la agregación de diferentes fuentes de generación, para por ejemplo recargar vehículos eléctricos, baterías, etc. contribuyendo también a la consecución del objetivo de edificios de consumo casi nulo (nZEB).

En resumen, la gestión energética, la generación FV y su almacenamiento, serán de vital importancia para conseguir estos retos alrededor del sistema energético mundial

7. Nueva estructura FOTOPLAT

Durante 2019, la Plataforma Tecnológica Fotovoltaica española FOTOPLAT, ha seguido trabajando de acuerdo a sus objetivos: identificar y analizar las novedades tecnológicas en el sector fotovoltaico, recuperar y mantener el liderazgo de España en esta materia y fomentar la colaboración público-privada, contribuyendo al refortalecimiento del tejido industrial nacional fotovoltaico.

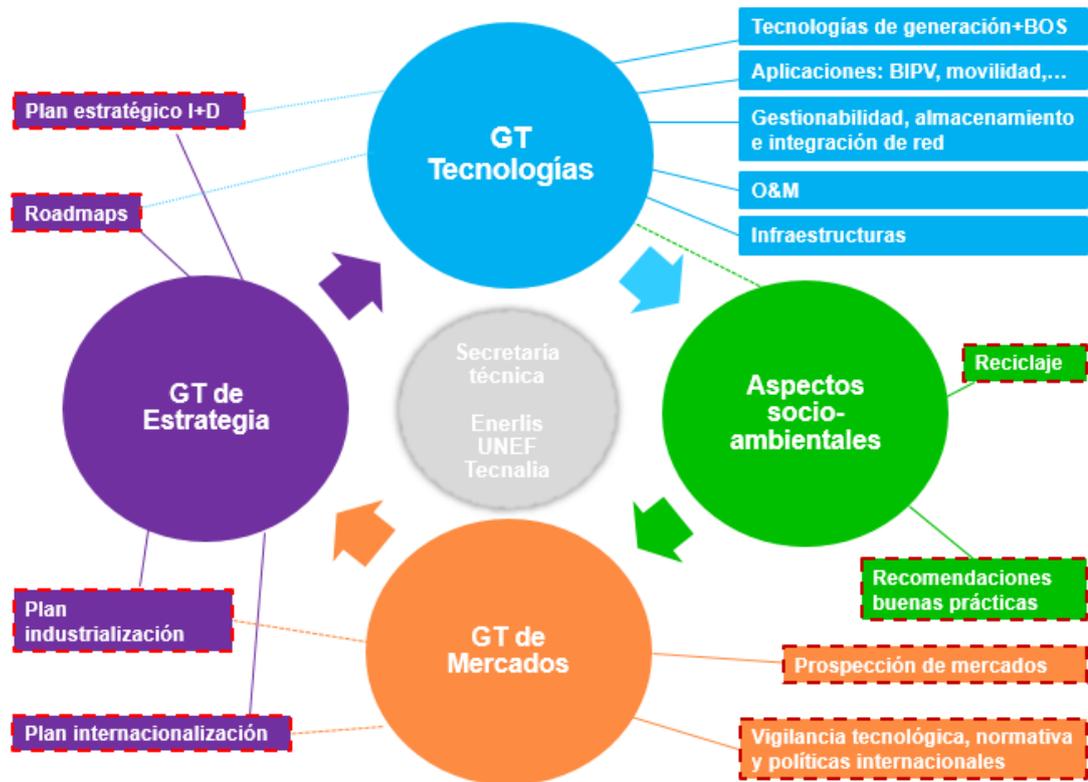
Teniendo en cuenta que el núcleo de la plataforma sigue siendo la investigación tecnológica, se trata de identificar nuevos instrumentos de Partenariado Público-Privado (PPP) para sus socios. Entre ellos, destacan los desarrollos industriales y los proyectos de demostración que permiten la transferencia de tecnología y el acceso a nuevo conocimiento. Así, se busca fomentar que los socios de FOTOPLAT consoliden su participación en distintos mercados, mejorando su competitividad y eficiencia.

Resulta evidente que la energía solar fotovoltaica se ha convertido en un referente tecnológico para la generación eléctrica. En no tantos años se ha pasado de un uso testimonial en sistemas aislados (electrificación rural, telecomunicaciones, etc.) a una tecnología masiva tanto en plantas en suelo como en autoconsumo.

Este proceso ha sido posible gracias a los importantes esfuerzos de I+D+i de los centros de investigación y las empresas del sector industrial fotovoltaico. Para seguir siendo de utilidad a todas las entidades socias, la Plataforma ve ineludible actualizarse al mismo ritmo que lo está haciendo el sector dando cabida a las nuevas tecnologías y aplicaciones.

Por ello, se ha considerado oportuno actualizar en este 2019 la estructura interna de FOTOPLAT, incorporando estos nuevos desarrollos que cada vez cobran más importancia en el sector, incorporando los siguientes Grupos de Trabajo (GT).

Figura 18. Organigrama de FOTOPLAT



Grupo de trabajo de Tecnologías

El objetivo de este grupo de trabajo es facilitar la cooperación tecnológica entre empresas y centros de I+D españoles. Para ello, trabajamos con administraciones españolas e internacionales para la definición de líneas de investigación en fotovoltaica. Entre ellas destacan las instituciones y programas de I+D+i europeos, como ETIP-PV y EERA-PV y el Horizonte Europa. Este GT actúa también como facilitador para generar proyectos conjuntos y un foro de intercambio de conocimiento entre los socios de la plataforma.

El grupo de trabajo de tecnologías se divide en las siguientes líneas de actuación:

- Tecnologías de generación para reducción del coste
- Integración de fotovoltaica en movilidad, BIPV y entorno urbano
- Gestionabilidad, almacenamiento e integración de red

- Operación y Mantenimiento de plantas
- Infraestructuras

Grupo de trabajo de Aspectos Socio-Ambientales:

El objetivo de este grupo de trabajo es trabajar en la implicación y el impacto de las plantas fotovoltaicas en el entorno, en el medio ambiente, y en otros aspectos sociales relacionado con su desarrollo, así como la economía circular y el reciclaje.

Grupo de trabajo de Estrategia:

Este grupo de trabajo trata de identificar las fortalezas y oportunidades de la industria española y coordinar las iniciativas nacionales con la estrategia europea, a fin de fomentar un buen posicionamiento del sector nacional en la hoja de ruta comunitaria. Los principales puntos de análisis y propuestas de este grupo se incluirán en documentos a realizar por el GT como el Roadmap, Plan de Internacionalización o el Plan Estratégico de I+D+i.

Grupo de trabajo de Mercados:

El grupo de trabajo de mercados está centrado en la búsqueda de nuevas oportunidades de comercialización, tanto a nivel nacional como internacional. Los principales focos de interés de este grupo de trabajo son la vigilancia tecnológica, normativa y políticas internacionales, prospección de mercado y desarrollo del autoconsumo.