

AGROVOLTAICA: INTEGRANDO AGRICULTURA Y ENERGÍA SOLAR



Lourdes Marini
Consultora Junior
Contact Card

Actualmente, las circunstancias ambientales hacen que la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles sea necesaria y fundamental para la búsqueda de futuros energéticos seguros y eficientes. Dentro de este contexto, la energía solar está creciendo a pasos agigantados, según el reporte de la AIE (Agencia Internacional de Energía) para el año 2050, dos tercios del suministro de energía procederán de fuentes de energía eólica, solar, bioenergía e hidráulica, donde la energía solar generará aproximadamente 6.000 TWh de energía fotovoltaica para satisfacer necesidades de la sociedad, representando aproximadamente el 16% de la energía total generada (International Energy Agency, 2021).

Dentro de este contexto resulta importante contemplar aquellas técnicas que permitan reducir los impactos negativos asociados a la instalación de fuentes de energía renovable, algunos de estos asociados al uso de grandes extensiones de tierra. Esto ocurre debido a la creciente demanda de producción de alimentos y de energía, generando un aumento en la competencia por los recursos de la tierra. A partir de esta problemática aparece el concepto de energía agrovoltaica que consiste en el uso

de la misma superficie de tierra tanto para la generación de energía solar fotovoltaica como para la agricultura convencional. La técnica se encuentra ya ampliamente difundida en el mundo y se está llevando a cabo con éxito ya que a medida que la población y el consumo de energía sigan aumentando, será necesario un uso más eficiente de la tierra.

En el año 2016 se realizó un estudio sobre el potencial de los sistemas agrovoltaicos donde se demuestra el alto potencial de este tipo de sistemas para cultivos tolerantes a la sombra (ya que los paneles solares generarían sombras parciales sobre los cultivos) y se demostró que las tarifas eléctricas residenciales en los EE. UU. como el valor de la electricidad generada por energía solar propició un aumento de más del 30% en el valor de las granjas que implementaron sistemas agrovoltaicos en comparación con la agricultura convencional (Dinesh & Pearce, 2016).

Por otra parte, el gobierno francés emitió nuevas normas para la energía agrovoltaica mediante el Decreto N° 2024-318 que consiste en definir las condiciones para la instalación de paneles fotovoltaicos en áreas agrícolas, teniendo en cuenta la tasa de cobertura y la pérdida aceptable del rendimiento agrícola la cual debe ser inferior al 10%, entre otras medidas (Deboutte, 2024).

Si bien esta nueva práctica para el desarrollo de la energía solar y agricultura presenta múltiples beneficios, se deben seguir desarrollando nuevas tecnologías que disminuyan los problemas asociados con la disminución de rendimiento en producción solar, debido a la suciedad en paneles y técnicas que maximicen el rendimiento agrícola.

Desarrollos y desafíos tecnológicos en paneles solares de aplicación agrovoltaica

En la actualidad la mayoría de los sistemas fotovoltaicos instalados en entornos agrícolas utilizan módulos fotovoltaicos opacos convencionales, generando impactos sobre los cultivos cuando hay relaciones de sombra elevadas, una potencial solución a este problema es la utilización de módulos STPV (Semi-Transparent PhotoVoltaic). Varias tecnologías pueden ofrecer transparencia en los módulos fotovoltaicos, pero la evaluación sobre las tecnologías STPV sugiere que las células solares de película fina y Perovskita son las opciones más adecuadas para fabricar módulos STPV (Gorjian, y otros, 2022).

Entre las diferentes tecnologías de módulos STPV, las c-Si (Silicio Cristalino) ya están ampliamente disponibles para comercialización y aplicación tanto en invernaderos como en huertos agrovoltaicos, donde su bajo costo, estabilidad y alta eficiencia hacen que dominen el mercado. Otras opciones de módulos STPV disponibles comercialmente son módulos de película delgada (a-Si, CIGS, CdTe) pero esta tecnología es aún incipiente.

Respecto a las células solares de perovskita, éstas han experimentado un rápido desarrollo en los últimos años, con avances significativos en eficiencia, estabilidad y escalabilidad. Se ha logrado una eficiencia de conversión de energía del 29.5%, la más alta para este tipo de células. Además, se han desarrollado nuevas técnicas de fabricación para mejorar la estabilidad y la producción a gran escala. Sin embargo, aún hay algunos desafíos que deben abordarse

antes de que las células solares de perovskita puedan competir con las tecnologías tradicionales. La estabilidad a largo plazo aún no está a la par, y se necesita más investigación para comprender y mitigar los riesgos ambientales. Los costos de producción también son relativamente altos, aunque se están reduciendo rápidamente (Thompson, 2023). Se espera que las células solares de perovskita entren en el mercado comercial en los próximos años, con aplicaciones iniciales en nichos de mercado como la energía portátil y la electrónica de consumo (Wantenaar, 2023).

Por otra parte, se encuentran las células de concentración fotovoltaica (CPV) donde la luz es concentrada en pequeñas áreas fotoactivas mediante lentes o espejos. Estudios realizados sobre el rendimiento eléctrico de módulos c-Si (16% de eficiencia) respecto a módulos CPV (29% de eficiencia de irradiación normal directa, 70% de transmitancia de luz difusa y tres ángulos de aceptación diferentes $\pm 40^\circ$, $\pm 50^\circ$ y $\pm 70^\circ$ para determinadas condiciones climáticas) demostraron que esta tecnología tiene eficiencias potencialmente mayores que otros módulos STPV. En general, la tecnología CPV es prometedora para las aplicaciones fotovoltaicas, especialmente en regiones con alta irradiación normal directa. En estos sectores la producción de energía es elevada y la protección contra grandes insolaciones es esencial para los cultivos. Finalmente, mejoras en el rendimiento, confiabilidad y procesos de fabricación de estos módulos son cruciales para que este tipo de tecnologías ingrese en el mercado (Gorjian, y otros, 2022).

En Calden contamos con experiencia en asesoramiento y evaluación de proyectos de energía solar fotovoltaica, acompañando al cliente en el análisis, negociación y toma de decisiones.

Bibliografia

- Deboutte, G. (2024). France issues new rules for agrivoltaics. PV Magazine.
- Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrovoltaic systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Gorjian, S., Bousi, E., Özdemir, Ö. E., Trommsdorff, M., Kumar, N. M., Anand, A., . . . Chopra, S. S. (2022). Progress and challenges of crop production and electricity generation in agrivoltaic systems using semi-transparent photovoltaic technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector.
- Thompson, V. (2023). Pushing perovskite PV limits. PV Magazine.
- Wantenaar, A. (2023). Commercial perovskites imminent. PV Magazine.

AGROVOLTAICA: INTEGRANDO AGRICULTURA E ENERGIA SOLAR



Lourdes Marini
Consultor júnior
[Contact Card](#)

As circunstâncias ambientais atuais tornam a transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis necessária e fundamental para a busca de um futuro energético seguro e eficiente. Nesse contexto, a energia solar está crescendo a passos largos, de acordo com o relatório da AIE (Agência Internacional de Energia), até 2050, dois terços do fornecimento de energia virão de fontes eólicas, solares, bioenergéticas e hidrelétricas, sendo que a energia solar gerará aproximadamente 6.000 TWh de energia fotovoltaica para atender às necessidades da sociedade, representando aproximadamente 16% do total de energia gerada (Agência Internacional de Energia, 2021).

Nesse contexto, é importante considerar técnicas para reduzir os impactos negativos associados à instalação de fontes de energia renováveis, alguns dos quais estão associados ao uso de grandes áreas de terra. Isso ocorre devido à crescente demanda por alimentos e produção de energia, gerando um aumento na competição pelos recursos da terra. A partir desse problema, surge o conceito de energia agrovoltaica, que consiste no uso da mesma área de terra tanto para a geração de energia solar fotovoltaica quanto para a

agricultura convencional. A técnica já é amplamente utilizada em todo o mundo e está sendo implementada com sucesso porque, à medida que a população e o consumo de energia continuam a crescer, será necessário um uso mais eficiente da terra.

Um estudo de 2016 sobre o potencial dos sistemas agrovoltaicos demonstrou o alto potencial desses sistemas para culturas tolerantes à sombra (uma vez que os painéis solares gerariam sombras parciais nas culturas) e mostrou que as tarifas de eletricidade residencial nos EUA, como o valor da eletricidade gerada por energia solar, aumentaram em mais de 30% no valor das fazendas que implementaram sistemas agrovoltaicos em comparação com a agricultura convencional (Dinesh & Pearce, 2016).

Além disso, o governo francês emitiu novos padrões para a energia agrovoltaica por meio do Decreto N° 2024-318, que consiste em definir as condições para a instalação de painéis fotovoltaicos em áreas agrícolas, levando em conta a taxa de cobertura e a perda aceitável de rendimento agrícola, que deve ser inferior a 10%, entre outras medidas (Deboutte, 2024).

Embora essa nova prática para o desenvolvimento da energia solar e da agricultura tenha vários benefícios, novas tecnologias devem continuar a ser desenvolvidas para diminuir os problemas associados à diminuição do rendimento da produção solar devido à sujeira dos painéis e às técnicas para maximizar o rendimento agrícola.

Desenvolvimentos tecnológicos e desafios em painéis solares para aplicação agrovoltáica

Atualmente, a maioria dos sistemas fotovoltaicos instalados em ambientes agrícolas utiliza módulos fotovoltaicos opacos convencionais, gerando impactos nas culturas quando há altas taxas de sombreamento. Uma possível solução para esse problema é o uso de módulos STPV (Semi-Transparent PhotoVoltaic). Várias tecnologias podem oferecer transparência em módulos fotovoltaicos, mas a avaliação das tecnologias STPV sugere que as células solares de filme fino e de perovskita são as opções mais adequadas para a fabricação de módulos STPV (Gorjian et al., 2022).

Entre as diferentes tecnologias de módulos STPV, o c-Si (silício cristalino) já está amplamente disponível para comercialização e aplicação em estufas e jardins agrovoltáicos, onde seu baixo custo, estabilidade e alta eficiência o fazem dominar o mercado. Outras opções de módulos STPV disponíveis comercialmente são os módulos de filme fino (a-Si, CIGS, CdTe), mas essa tecnologia ainda está em sua infância.

As células solares de perovskita passaram por um rápido desenvolvimento nos últimos anos, com avanços significativos em termos de eficiência, estabilidade e escalabilidade. Foi alcançada uma eficiência de conversão de energia de 29,5%, a mais alta para esse tipo de célula. Além disso, novas técnicas de fabricação foram desenvolvidas para melhorar a estabilidade e a produção em larga escala. No entanto, ainda há alguns desafios que precisam ser resolvidos antes que as células solares desse tipo possam ser usadas no futuro.

As células solares de perovskita podem competir com as tecnologias tradicionais. A estabilidade de longo prazo ainda não é a mesma, e são necessárias mais pesquisas para entender e mitigar os riscos ambientais. Os custos de produção também são relativamente altos, embora estejam caindo rapidamente (Thompson, 2023). Espera-se que as células solares de perovskita entrem no mercado comercial nos próximos anos, com aplicações iniciais em nichos de mercado, como energia portátil e eletrônicos de consumo (Wantenaar, 2023).

Por outro lado, há células fotovoltaicas concentradoras (CPV) em que a luz é concentrada em pequenas áreas fotoativas por meio de lentes ou espelhos. Estudos sobre o desempenho elétrico dos módulos c-Si (16% de eficiência) em comparação com os módulos CPV (29% de eficiência de irradiância normal direta, 70% de transmitância de luz difusa e três ângulos de aceitação diferentes $\pm 40^\circ$, $\pm 50^\circ$ e $\pm 70^\circ$ para determinadas condições climáticas) mostraram que essa tecnologia tem eficiências potencialmente mais altas do que outros módulos STPV. Em geral, a tecnologia CPV é promissora para aplicações fotovoltaicas, especialmente em regiões com alta irradiação normal direta. Nesses setores, o rendimento energético é alto e a proteção contra a alta insolação é essencial para as culturas. Por fim, melhorias no desempenho, na confiabilidade e nos processos de fabricação desses módulos são cruciais para que esse tipo de tecnologia entre no mercado (Gorjian, et al., 2022).

Na Calden, temos experiência em consultoria e avaliação de projetos de energia solar fotovoltaica, acompanhando o cliente no processo de análise, negociação e tomada de decisão.

Bibliografia

- Deboutte, G. (2024). France issues new rules for agrivoltaics. PV Magazine.
- Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrovoltaic systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Gorjian, S., Bousi, E., Özdemir, Ö. E., Trommsdorff, M., Kumar, N. M., Anand, A., . . . Chopra, S. S. (2022). Progress and challenges of crop production and electricity generation in agrivoltaic systems using semi-transparent photovoltaic technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector.
- Thompson, V. (2023). Pushing perovskite PV limits. PV Magazine.
- Wantenaar, A. (2023). Commercial perovskites imminent. PV Magazine.