



## Producción de módulos fotovoltaicos orgánicos flexibles

Autores:

Martín Apolo  
Marcelo Belloni  
Nicolás Colonna  
Mathías Lagos  
Ramiro Zilli

Proyecto de grado presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniero Químico.

Tutores:

Mario Furest  
Eduardo Testorelli

Consultor Especialista:

Ricardo Faccio

Montevideo, Uruguay

Mayo 2026

## **Descargo de Responsabilidad (Disclaimer)**

Este informe de Proyecto de Grado ha sido desarrollado como parte de un ejercicio didáctico en el marco del programa de Ingeniería Química/de Alimentos en Facultad de Ingeniería, UdelaR. El objetivo principal de este proyecto es demostrar la capacidad del estudiante para aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos durante su formación académica.

La Propiedad Intelectual del presente informe pertenece a la Universidad de la República y los autores y tutores, de acuerdo a la Ordenanza de los Derechos de la Propiedad Intelectual de la Universidad de la República (Res. Nº 91 de C.D.C. de 8/III/1994 – D.O. 7/IV/1994)

Aviso legal: Los contenidos, conclusiones y recomendaciones presentadas en este informe son resultado del trabajo académico del estudiante, basados en datos y supuestos disponibles hasta la fecha de finalización del proyecto. La institución y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad alguna por la exactitud, integridad o actualidad de la información proporcionada.

Este informe está destinado únicamente para fines educativos y de evaluación dentro del ámbito académico del programa de Ingeniería Química /de Alimentos. No debe interpretarse como un asesoramiento profesional, técnico o especializado en ninguna materia.

Advertencia de uso: Cualquier lectura, interpretación o aplicación de los resultados y conclusiones de este informe por parte de terceros, queda bajo su propia responsabilidad. La institución, los autores y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad por cualquier pérdida, daño o consecuencia que pudiera surgir directa o indirectamente del uso de la información proporcionada en este informe.

Los resultados presentados en este informe pueden estar sujetos a limitaciones y restricciones derivadas de la naturaleza didáctica del proyecto, incluyendo pero no limitándose a la disponibilidad de recursos, tiempo y alcance del ejercicio.

Se prohíbe cualquier reproducción, distribución o divulgación total o parcial de este informe sin el consentimiento expreso por escrito de los autores y de la institución.

Quien continúa con la lectura de este informe, acepta y comprende los términos y condiciones establecidos en este descargo de responsabilidad.

Fecha: 14/07/2025

## Resumen ejecutivo

En el presente informe se estudia la implementación de una planta dedicada a la producción de módulos fotovoltaicos orgánicos (OPV) flexibles, orientados a aplicaciones de integración arquitectónica y usos específicos donde las tecnologías convencionales presentan limitaciones. Se plantea la localización de la planta en Uruguay, en el parque industrial ruta 5, considerando criterios logísticos, disponibilidad de insumos y cercanía a mercados potenciales.

Se realiza el desarrollo a nivel de anteproyecto, abarcando el diseño del proceso productivo, la selección de tecnología, el dimensionamiento de equipos y la evaluación integral de la propuesta desde el punto de vista técnico, económico-financiero y comercial.

El proceso productivo se basa en la fabricación continua mediante tecnología roll-to-roll, empleando técnicas de deposición en solución (Slot Die Coating) sobre sustratos flexibles de PET. La estructura del módulo incluye una capa activa basada en materiales orgánicos donador-aceptor (PM6:Y6-C12:PC61BM), junto con electrodos semitransparentes de nanohilos de plata (AgNWs) de última generación y capas funcionales de transporte de carga (ZnO y MoO<sub>3</sub>), constituyendo una tecnología de estado del arte actualmente en etapa experimental y sin presencia en módulos comerciales.

El producto final consiste en un módulo enrollable de 0,8 m de ancho y 131,5 m de largo, con 0,3 m de diámetro enrollado, con un área activa aproximada de 105 m<sup>2</sup>, una eficiencia estimada de 14,5% y una potencia de 145 W/m<sup>2</sup>. El mismo se presenta en una caja de madera con amortiguación para su protección.

Una de las principales particularidades del proyecto es la necesidad de integrar la producción de los materiales activos orgánicos, debido a la limitada disponibilidad y alto costo de estos en el mercado internacional a escala industrial. Actualmente no se identificaron proveedores capaces de suministrar a granel los materiales seleccionados en cantidades compatibles con una producción industrial, por lo que la integración de su síntesis se considera un aspecto clave para la viabilidad del proyecto.

Desde el punto de vista comercial, el proyecto se orienta a nichos de mercado emergentes donde las propiedades diferenciales de los módulos OPV, tales como su bajo peso, flexibilidad y semitransparencia, constituyen ventajas competitivas frente a los paneles tradicionales de silicio. Entre las principales aplicaciones se destacan fachadas activas, ventanas fotovoltaicas, dispositivos portátiles, estructuras livianas y soluciones móviles. La comercialización del producto se ideó para satisfacer un pequeño porcentaje de las proyecciones a futuro de micro-generación de Uruguay, y en menor medida Argentina y Brasil, siendo 5%, 5% y 0,1% respectivamente. Se estima una demanda de producción anual de 2.600 módulos el primer año y que aumente a 5.508 en el décimo año. El precio estimado de venta del producto es de USD 6.000 para el mercado local y de USD 4.500 para exportación, generando ingresos anuales aproximados de USD 13 millones para el año uno y USD 25 millones al décimo.

El análisis económico-financiero se realiza considerando distintos escenarios de inversión y operación, evaluando indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de repago, así como la sensibilidad frente a variables críticas como el costo de los materiales activos y el precio del producto. Para una inversión total estimada de USD 14.5 millones, se obtiene un VAN de USD 50 millones, una TIR de 58,68% y un período de repago de aproximadamente 2 años. Los resultados obtenidos indican que el proyecto presenta condiciones favorables de rentabilidad bajo los supuestos considerados.

Desde el punto de vista ambiental, el proyecto presenta ventajas asociadas al uso de procesos de baja temperatura, menor consumo energético en comparación con tecnologías tradicionales y reducción en el uso de materiales críticos, contribuyendo a una matriz productiva más sostenible.

En base al análisis realizado, se concluye que la implementación de una planta de producción de módulos OPV resulta técnica y económicamente viable, con potencial de inserción en mercados en crecimiento. No obstante, la viabilidad futura del proyecto depende fuertemente de la evolución tecnológica de los módulos OPV, de la validación industrial de arquitecturas actualmente en etapa experimental y del desarrollo de cadenas de suministro capaces de abastecer materiales fotoactivos en volúmenes industriales. Asimismo, representa una oportunidad para el desarrollo de nuevas capacidades industriales a nivel nacional, promoviendo la innovación tecnológica y la diversificación de la matriz energética.

**Palabras clave:** OPV, fotovoltaico, roll-to-roll, Slot die coating, BIPV, módulos flexibles, energía solar orgánica.