

Biorrefinería de Girasol

Valorización Integral de un Cultivo Estratégico — Enfoque para Ingenieros de Procesos

INGENIERÍA DE PROCESOS

ECONOMÍA CIRCULAR

BIOCOMBUSTIBLES





El Potencial del Girasol en la Economía Circular

Cultivo Estratégico

Helianthus annuus L. — oleaginosa de alto rendimiento, ampliamente disponible en Argentina, Europa del Este y América del Sur.

Modelo de Biorrefinería

Maximiza la valorización de todos los componentes de la biomasa, generando múltiples corrientes de valor con mínimo desperdicio.

Oportunidades Clave

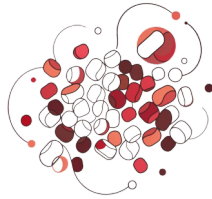
Diversificación energética, producción de biomateriales, bioquímicos y compuestos de alto valor agregado.

Productos y Subproductos Principales



Aceite de Girasol

Materia prima para biodiésel, alimentos e industria química. Contenido: **35–45%** de la semilla.



Expeler / Torta

Subproducto proteico (~**30–35% proteína**) para alimentación animal. Representa el **50–60%** del peso de la semilla.



Glicerina

Coproducto de la transesterificación. Aplicaciones en farmacéutica, cosmética y alimentaria. Relación ~1 kg glicerina / 9 kg biodiésel.

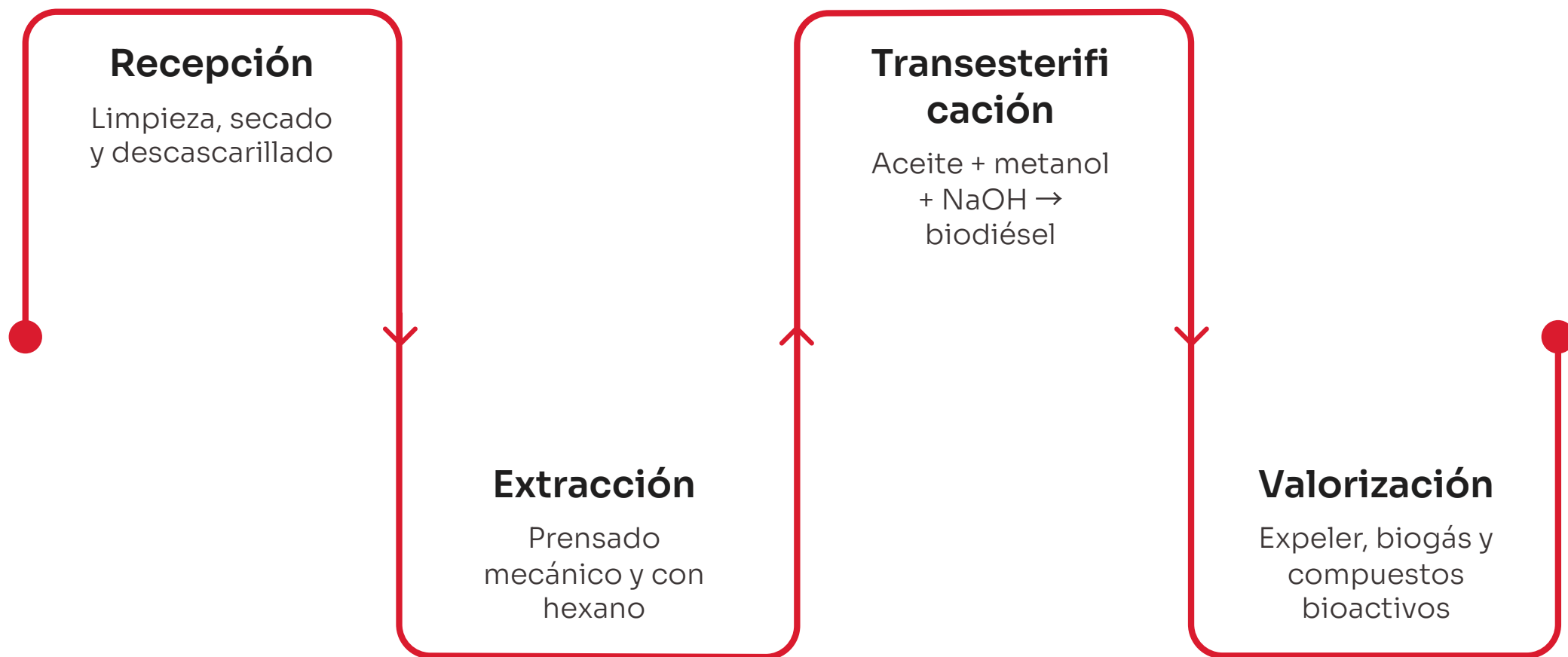


Biogás / Biometano

Generado por digestión anaerobia de residuos orgánicos del proceso. Contribuye al balance energético de la planta.

Adicionalmente se pueden recuperar **compuestos bioactivos de alto valor**: ácido clorogénico (~1–4% en harina), tocoferoles (vitamina E) y fitosteroles, con aplicaciones nutraceuticas y farmaceuticas.

Diagrama de Flujo de la Biorrefinería de Girasol



El proceso integra extracción mecánica y química del aceite, seguida de transesterificación catalítica. Los subproductos sólidos (expeler) y líquidos (glicerina, aguas residuales) se valorizan en corrientes secundarias, maximizando el rendimiento económico global de la planta.

Balances de Masa y Energía

Balance de Masa — Base: 1,000 kg de Semilla

Corriente	Masa (kg)	Fracción (%)
Semilla de girasol (entrada)	1,000	100%
Aceite crudo extraído	400	40%
Expeler / Torta proteica	550	55%
Pérdidas (polvo, humedad)	50	5%
Biodiésel (de los 400 kg aceite)	~380	~95% conversión
Glicerina bruta coproducida	~44	~11% del aceite

i Rendimiento de transesterificación: conversión típica >95% con catálisis básica homogénea (NaOH 1% p/p) a 60°C, relación molar metanol:aceite = 6:1.

Balance de Energía — Consumos Típicos

Secado de semilla ~150–200 MJ/Tn semilla	Prensado mecánico ~20–30 kWh/Tn semilla
Extracción c/ solvente ~80–120 MJ/Tn aceite	Transesterificación ~60–80 MJ/Tn biodiésel
Cogeneración c/ biogás Puede cubrir ~20–30% del calor requerido	

Análisis de Costos: CAPEX y OPEX

CAPEX — Planta 10,000 Tn/año Biodiésel

Componente	Costo (US\$)
Equipamiento principal (prensas, reactores, centrifugadoras, secadores)	10–15 M
Ingeniería y Diseño (FEED + Detail)	1–2 M
Construcción civil e instalaciones	3–5 M
CAPEX Total Estimado	14–22 M

OPEX — Costo por Tonelada de Biodiésel

Ítem	US\$/Tn
Materia prima (semilla de girasol)	600–900
Catalizador y reactivos (MeOH, NaOH)	20–40
Energía (vapor + electricidad)	30–60
Mano de obra y mantenimiento	20–30
OPEX Total (excl. MP)	70–130

⚠ Los valores son referenciales (orden de magnitud). El costo de la materia prima representa típicamente el **70–80% del OPEX total**. La rentabilidad del proyecto es muy sensible al precio de la semilla y al precio de venta del biodiésel y el expeler.

Caso de Estudio 1: Planta PyME de Biodiésel (Argentina)

Descripción del Proyecto

Diseño conceptual de planta para producir **10,000 Tn/año de biodiésel** a partir de aceite de girasol y aceite vegetal usado (AVU). Financiamiento: Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Referencia: UTN Argentina (Muñoz et al., 2018).

Inversión Total

US\$ 18.450.091

Financiamiento BID

Largo plazo, tasa preferencial

Indicadores Financieros

13.08%	US\$7.1M	19%
TMAR	VAN	TIR
Tasa mínima aceptable de rentabilidad	Valor Actual Neto del proyecto	Tasa interna de retorno > TMAR ✓

✓

El uso de AVU como co-materia prima reduce costos de MP en ~30% y mejora el perfil ambiental del proyecto.

Caso de Estudio 2: Biorrefinería Agroindustrial a Gran Escala

Contexto y Escala

Evaluación de factibilidad de biorrefinería integrada para empresa agroindustrial con **9 plantas** y **14 productos comercializables**, incluyendo biodiésel como producto estrella. Referencia: Alcalá Galiano Morell et al., 2022 — *Universidad y Sociedad*.

US\$345M

VAN

Valor Actual Neto total del
proyecto integrado

74.1%

TIR

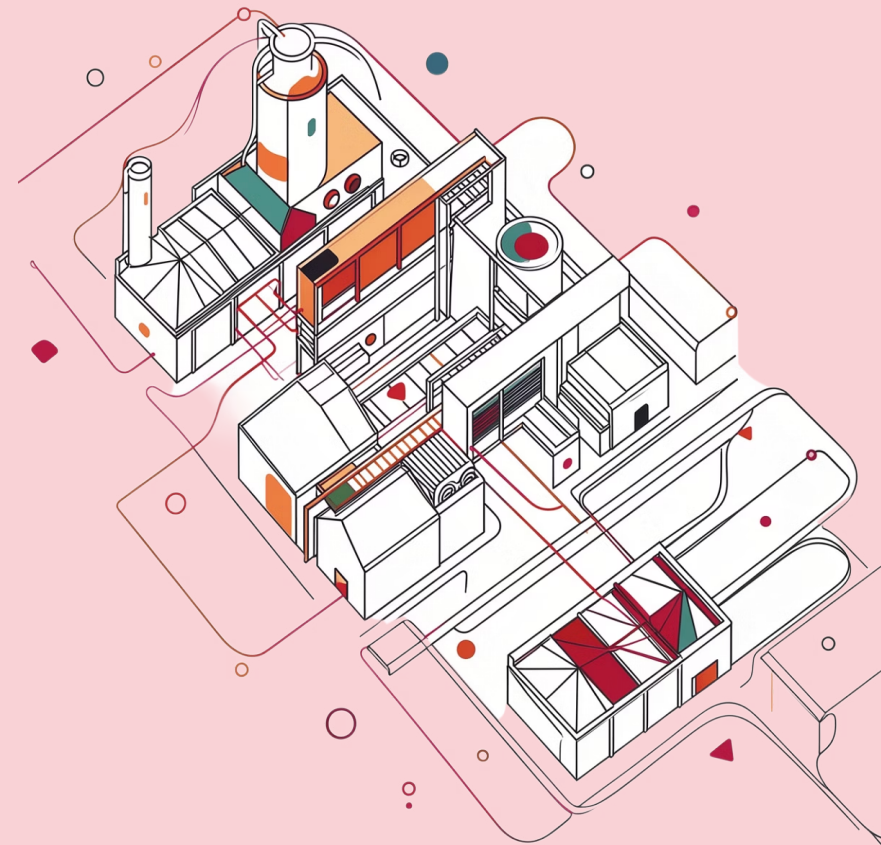
Tasa interna de retorno
extraordinaria

2 años

Payback

Periodo de recuperación de la
inversión

- ✓ El enfoque de biorrefinería multiplicó la ganancia de la fábrica **4,39 veces** respecto al modelo productivo anterior, demostrando el poder de la integración de corrientes.



Aspectos Ambientales y Sostenibilidad



Reducción de Huella de Carbono

El biodiésel de girasol reduce las emisiones de GEI en **50–70%** vs. diesel fósil en análisis de ciclo de vida (LCA), según directivas RED II de la UE.



Gestión de Residuos Integrada

El expeler y las aguas residuales de proceso se valorizan como alimento animal y sustrato para digestión anaerobia, respectivamente, logrando tasa de residuos <3%.



Certificaciones de Sostenibilidad

ISCC (International Sustainability & Carbon Certification) y RSPO permiten acceso a mercados premium en Europa, incrementando el precio de venta del biodiésel hasta **15–20%**.



Conclusiones y Perspectivas Futuras

1 Modelo Robusto y Rentable

La biorrefinería de girasol genera múltiples corrientes de valor, mejorando la viabilidad económica frente a la producción monocultura de aceite o biodiésel.

2 Integración como Clave del Éxito

La valorización simultánea de biodiésel, expeler y glicerina mejora el TIR típicamente en 8–15 puntos porcentuales respecto a procesos no integrados.

3 I+D en Compuestos de Alto Valor

Extracción de tocoferoles, ácido clorogénico y fitosteroles representa la frontera de innovación con mayor potencial de retorno económico.

Bibliografía de Referencia

Alcalá Galiano Morell et al. (2022). Evaluación económica de la producción de biodiésel con enfoque de biorrefinería. *Universidad y Sociedad*, 14(S5), 352–361.

Bouza, Sarraute & Urdampilleta Rizzi (2024). *Diseño de una planta de producción de biodiesel*. TFG Ing. Química, UNMDP.

Muñoz, Lanterna, Kuczkho & Borges (2018). *Diseño del proceso de producción de biodiesel y glicerina a partir de una oleaginosa*. UTN Argentina.

Ruiz Ramírez, Villalba González & Vera De Silveira. *Análisis de producción del girasol y subproductos en el distrito de Yby Yauú*. UNA Paraguay.

Lamoureux, J. H. (2007). *Diseño conceptual de una planta de biodiesel*. Memoria Ing. Civil Mecánico, U. de Chile.