



**XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE**
2023

Potencial energético de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia a partir de la biomasa: un camino hacia la transición energética con bajas emisiones de carbono

Juan Camilo Barrera Hernandez
Investigador – Universidad de la Costa





XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

Contenido

- Rol de Colombia en reducción de emisiones en sector eléctrico
- Potencial de generación de energía en Palma de aceite
- Escenarios de generación energía
- Impacto ambiental
- Costo nivelado de energía
- Conclusiones

Agradecimientos



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

- Programa de Becas de Excelencia Doctoral de Bicentenario
- Universidad de la Costa - Barranquilla
- PhD. Alexis Sagastume Gutiérrez

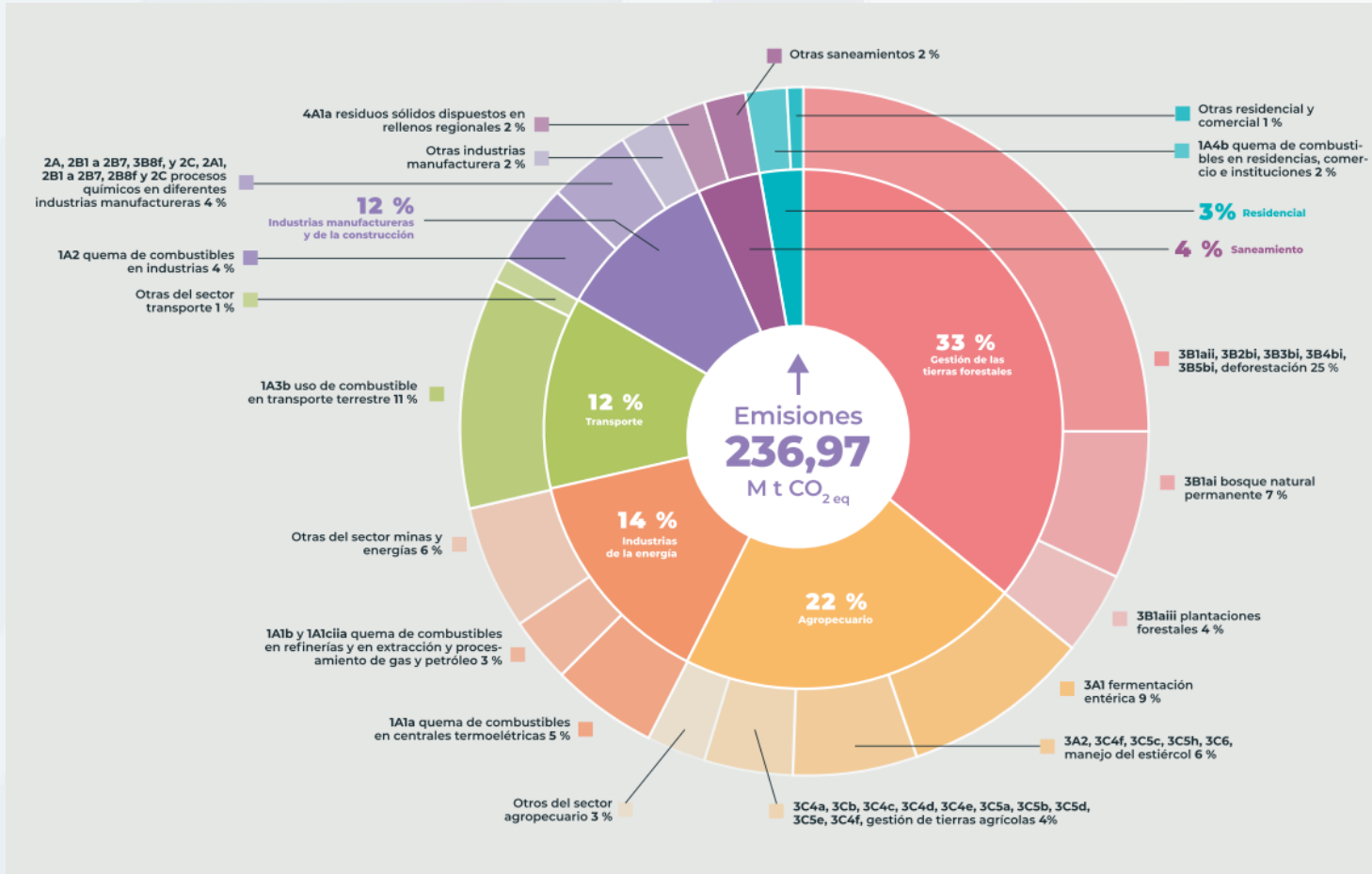
- Cenipalma – Programa de Procesamiento
- Ing. Luisa María Medina Barragán
- PhD. Nidia Elizabeth Ramírez Contreras
- PhD. Jesús Alberto García Núñez.



Ciencias



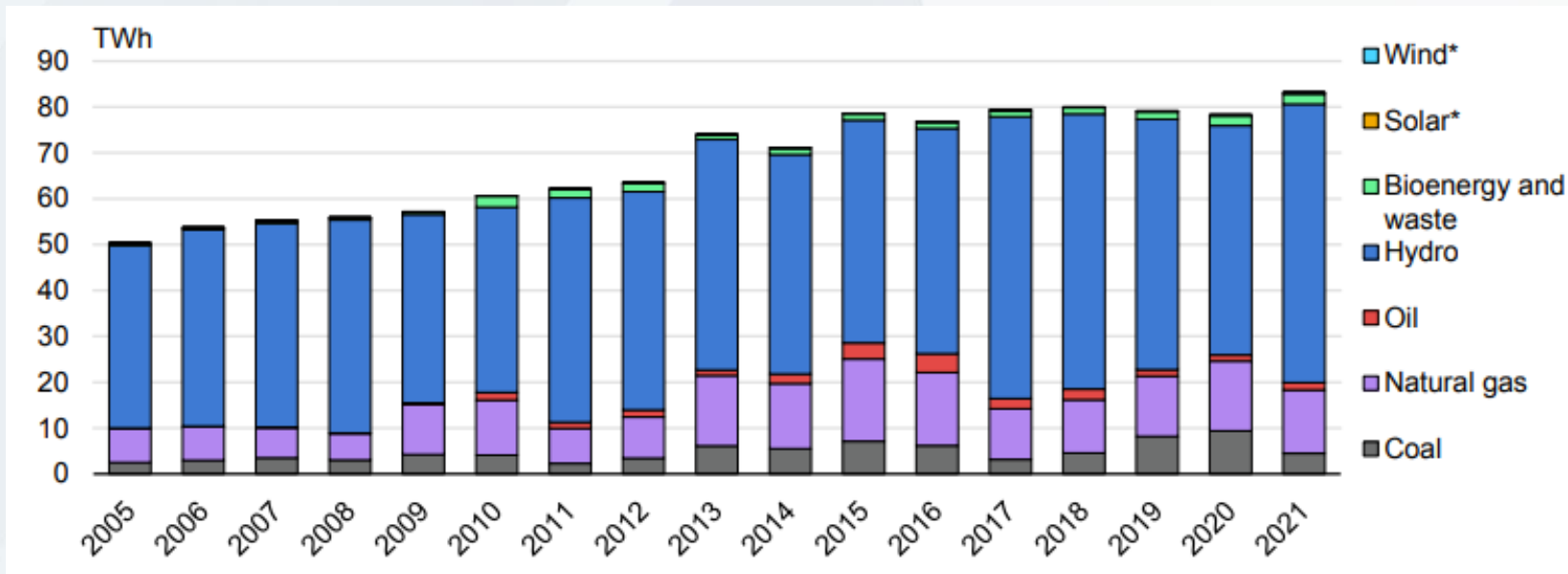
Emisiones CO₂ en Colombia



- **Sector AFOLU y Energía: 69 %** de emisiones GEI en Colombia.
- Emisiones en sector minas y energía reporta mayor crecimiento en emisiones CO₂.
- Se prevé la duplicación de la producción agropecuaria para 2050 sin aumentar el 30% del suelo disponible.
- Sector eléctrico debe garantizar una transición sostenible.

Fuente: Gobierno de Colombia. (2021). *Estrategia climática de largo plazo de Colombia E2050 para cumplir con el Acuerdo de París.*

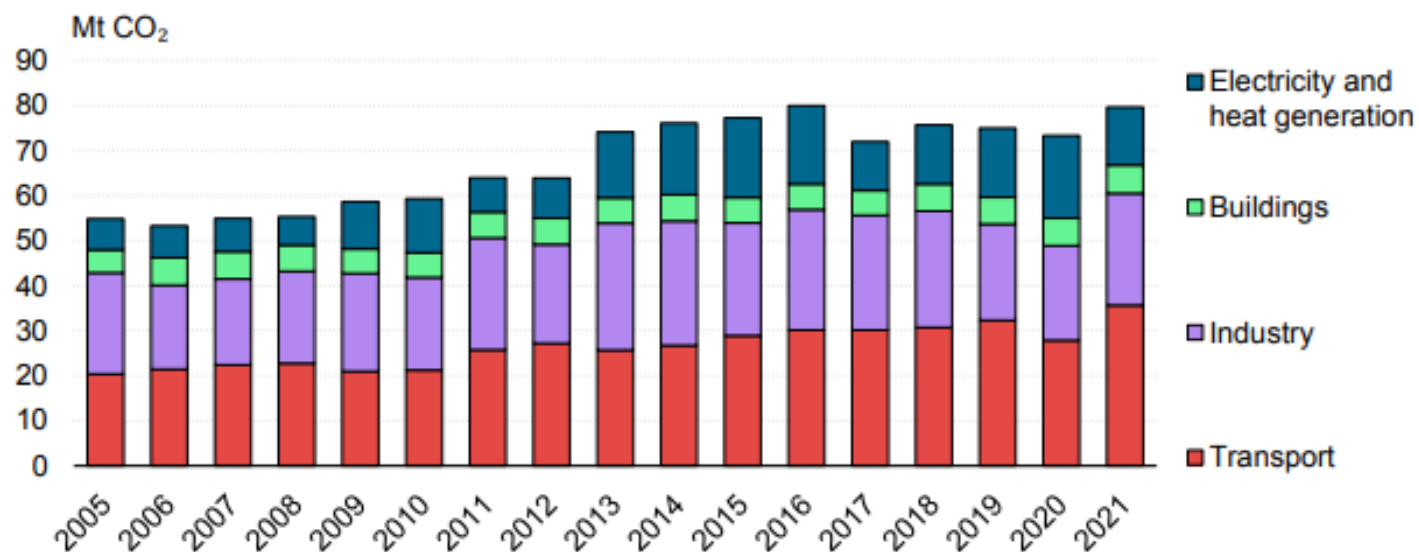
Sector Eléctrico - 2021



Fuente: International Energy Agency, I. (2023). *Colombia 2023 - Energy Policy Review*. www.iea.org

- **Electricity generation:** 84.4 TWh (hydro 71.9%, natural gas 16.3%, coal 5.4%, bioenergy and waste 2.7%, oil 1.9%, solar 0.4%, wind 0.1%)
- **Electricity net imports:** 0.12 TWh
- **Electricity consumption:** 77.0 TWh in 2021 (industry 47%, residential buildings 31%, services sector buildings 21%)
- **Installed capacity:** total 17.8 GW: hydro 12 GW, combustible fuels 5.4 GW (coal 1.6 GW, oil 1.1 GW, gas 2.5 GW, biomass 0.2 GW), solar 0.12 GW and wind 0.02 MW.

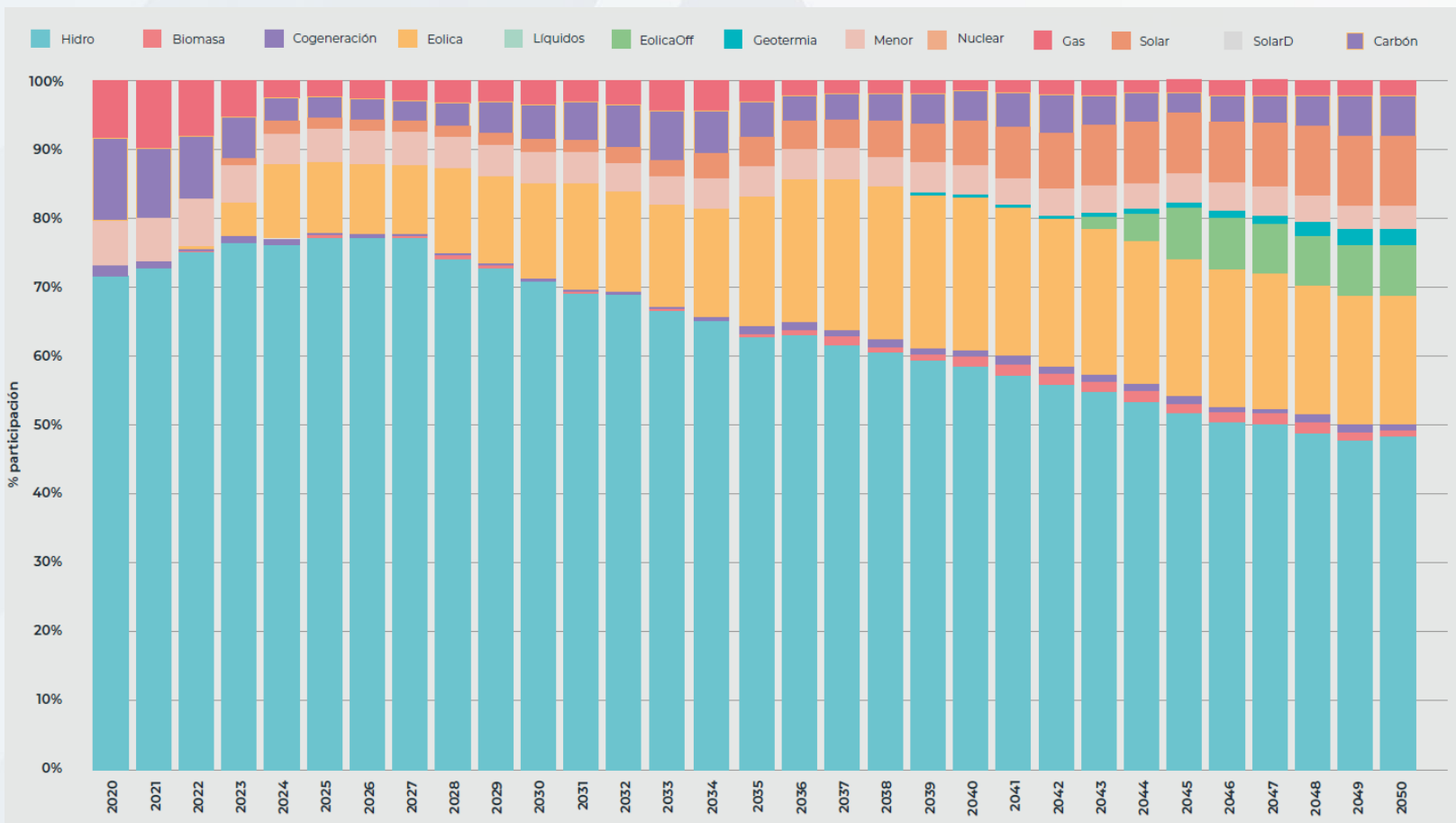
Emisiones CO₂ – Sector energético colombiano



Fuente: International Energy Agency, I. (2023). *Colombia 2023 - Energy Policy Review*.
www.iea.org

- **CO₂ intensity per capita:** 1.55 t CO₂ /capita (IEA average: 6.7 t CO₂ /capita)
- **CO₂ emissions from fuel combustion:** 79.7 Mt CO₂, +24% since 2011, +67% since 1990
- **CO₂ emissions by fuel:** oil 60.2%, natural gas 22.1%, coal 17.7%
- **CO₂ emissions by sector:** transport 45%, industry 31%, electricity 16% and buildings 8%
- **CO₂ intensity per GDP:** 0.109 kg CO₂/USD (IEA average: 0.185 kg CO₂/USD)

Plan energético nacional – 2020/2050



- En 2050 se espera generar 401 MW a partir de **Biomasa**.
- Energía de la biomasa requerirá aportar 165 PJ para alcanzar carbono neutralidad.
- Biogás juega un papel fundamental en la modernización del sistema eléctrico.
- Solo el 31% de la energía generada es convertida en energía útil.

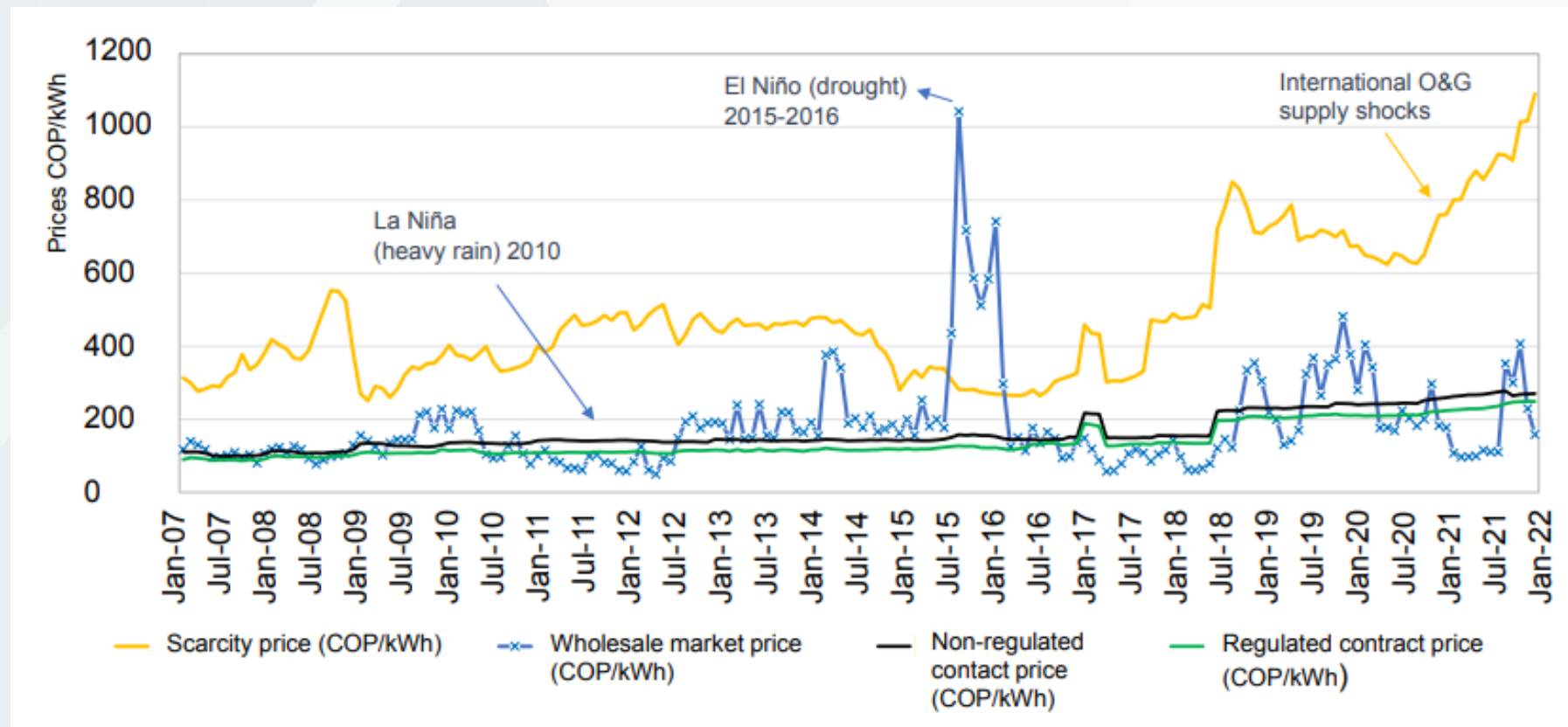
Composicion de la generacion electrica desagregada por fuente (2020-2050)
segun el Plan de Expansion de Generacion Electrica de Colombia

Fuente: UPME, 2021b.

Susceptibilidad de precios de energía eléctrica en Colombia

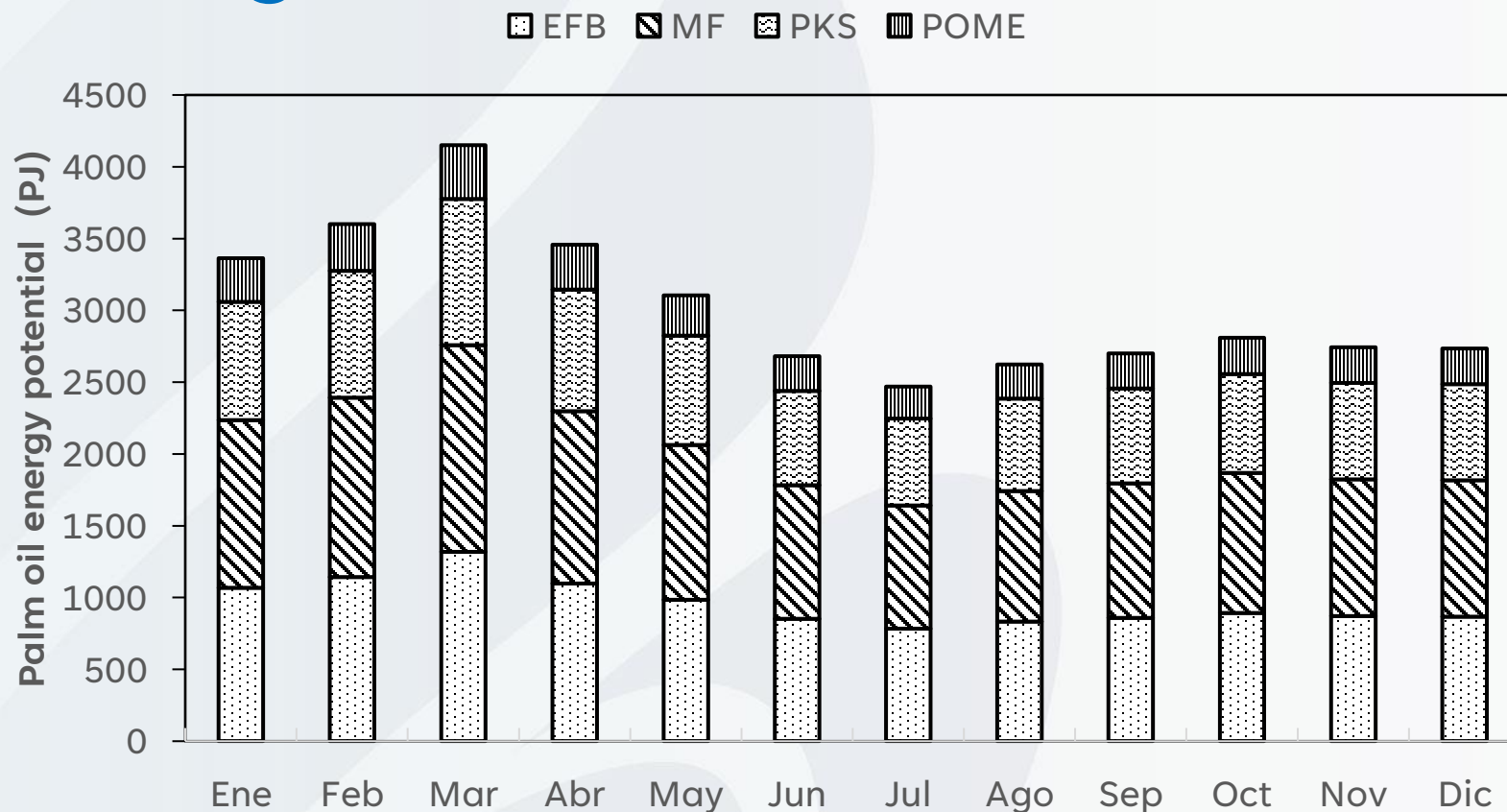


XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023



Fuente: International Energy Agency, I. (2023). *Colombia 2023 - Energy Policy Review*. www.iea.org

Oportunidades del sector palmero en la transición energética



- Alta disponibilidad vs FNCER (Solar y eólica)
- Potencial bruto de biomasa es de más de 36 PJ al año
- Biomasa con emisiones neutras asociadas a buenas prácticas
- Adaptabilidad a tecnologías emergentes
- Influencia en zonas rurales para aumentar la confiabilidad del servicio energía

Estimación del potencial energético de la biomasa residual de palma de aceite para el año 2022

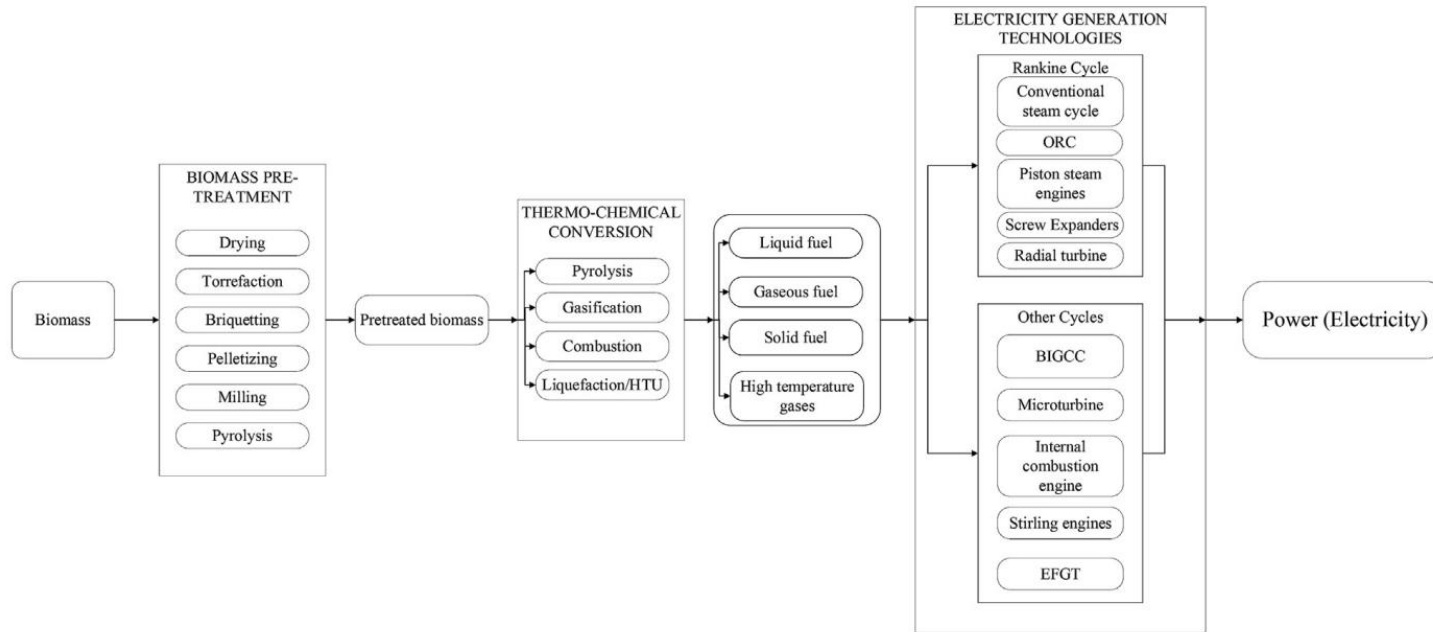
Fuente: Autor.

Características técnicas y económicas de tecnologías maduras de cogeneración con biomasa



Ruta	Configuración	Capacidad	Eficiencia		CAPEX	OPEX	
			térmica	eléctrica			
Ciclos de vapor	Caldera AP + Turbina de extracción-condensación	0.6 -100			15 – 35%	6500 -2300 USD/KW	
	Caldera AP + Turbina de extracción-condensación	10	85%	35 – 50%	1400 USD/KW	4%-5%	
					17 - 40%	2000 – 7000 USD/kW	
	Caldera MP + Turbina de condensación	10	62 – 84.5	28.5			
		30	66 – 80.5	32.5			
80		69 -80	35.5	690 – 850 USD/KW			
	1.2	79%	6 -25%				
Gasificación	Gasificador + motor a gas	0.05 – 50		22 - 40	3000 – 7000 USD/kW		
		1		28 -34	4500-7500 USD/KW	245 – 291 USD/KW	
		10			2400 – 3700 USD/KW	65 USD/KW	
	Gasificador + turbina + gas	0.03 -20		15 – 40%	500 – 8500 USD/KW		
		23.6	41.8 %	18.7	1350 USD/KW		
ORC	Módulo ORC	2 – 1.6		7 – 20%	1500-3000 USD/kW		
		4	80 - 85%	15 – 19%	875 USD/KW	80 – 160 USD/KW	
		0.2 – 2		15 -39%	2700 – 7200 USD/KW		

Nivel de madures de tecnologías de generación de electricidad a partir de biomasa



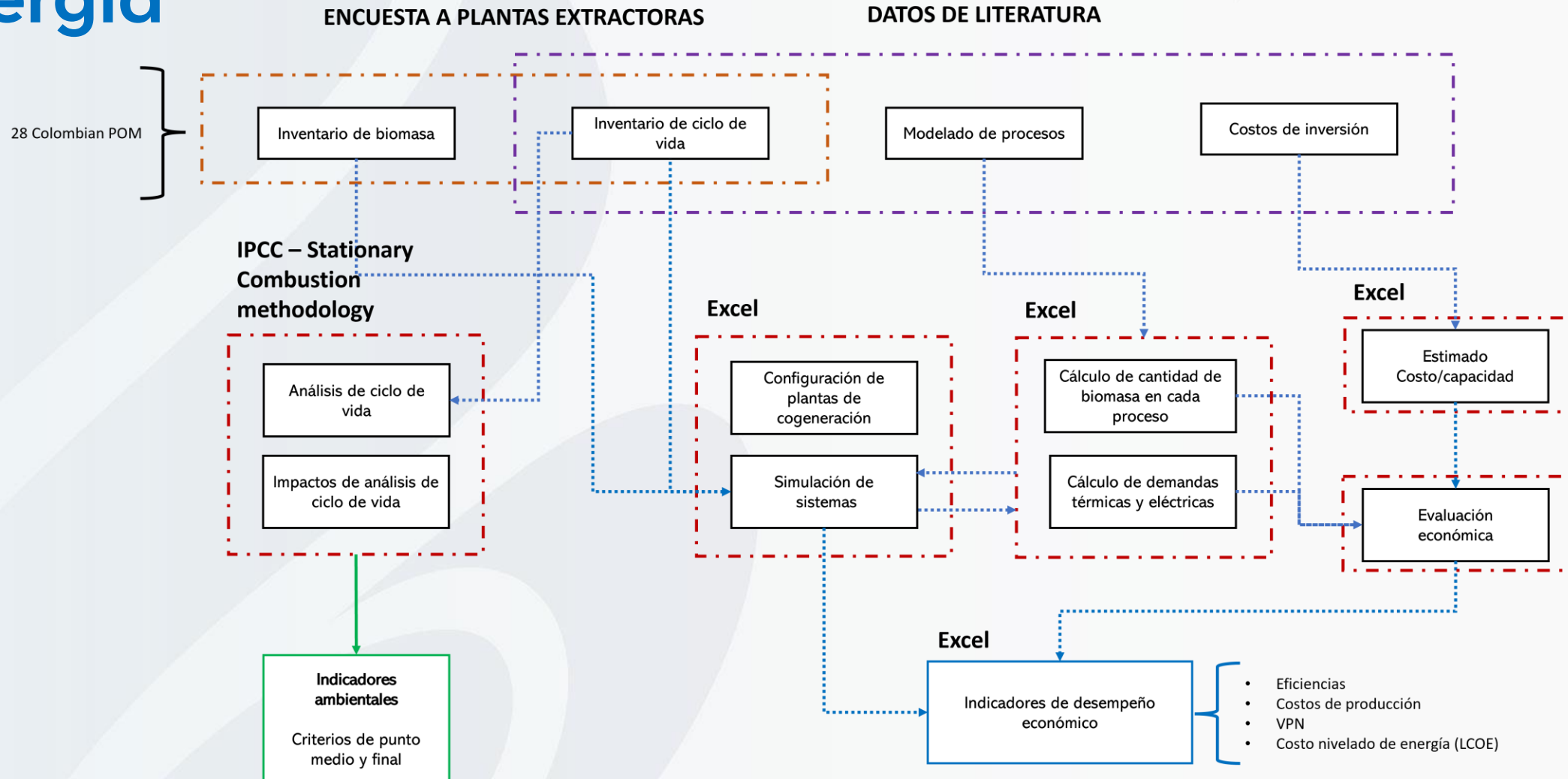
Fuente: Dovichi Filho, F. B., Castillo Santiago, Y., Silva Lora, E. E., Escobar Palacio, J. C., & Almazan del Olmo, O. A. (2021). Evaluation of the maturity level of biomass electricity generation technologies using the technology readiness level criteria. *Journal of Cleaner Production*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126426>

Tecnología	Weighted TRL	Maturity Level
Conventional Rankine Cycle	8.22	High
BIGCC-Biomass integrated gasifier combined cycle	6.38	Medium to high
Organic Rankine Cycle (ORC)	7.38	High
Externally fired gas turbine (EFGT)	6.51	Medium to high
Steam radial turbines	6.68	Medium to high
Piston steam engines	7.18	High
Screw expanders	6.36	Medium to high
Sterling Engines	6.38	Medium to high
Gasification/internal combustion engine (G/ICE) systems	6.84	Medium to high
Gasifier/Gas microturbine	5.95	Medium

Metodología – Escenarios de generación de energía



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023



Escenarios evaluados



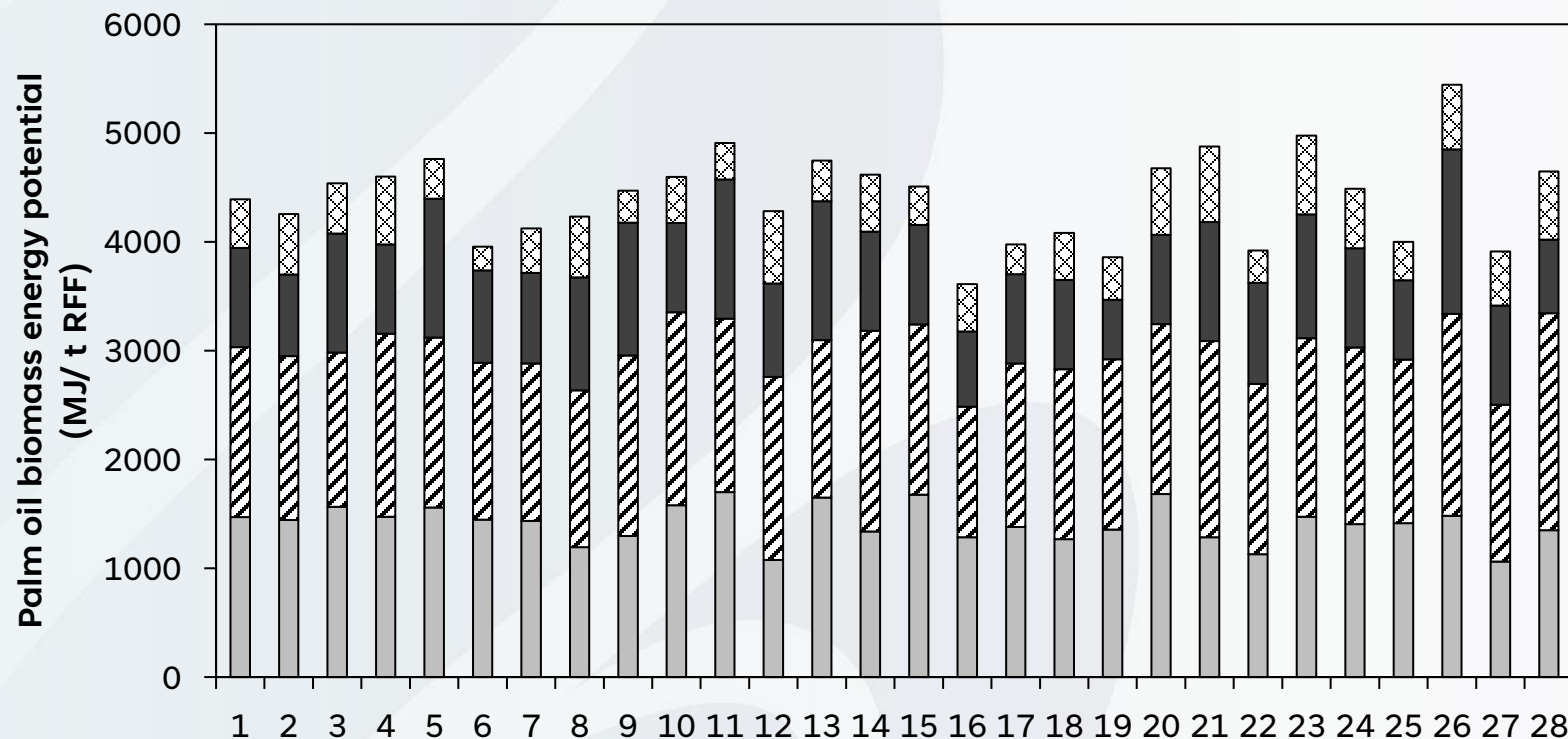
Scenario	Biomass input	Technology	Consideration
Baseline	<ul style="list-style-type: none"> MF and PKS used as fuel in boiler No use of EFB POME used in AD system 	<ul style="list-style-type: none"> Low pressure boiler 15 POM with Backpressure turbine 3 POM with Biogas capture and use 	Estimation of the cogeneration efficiency for back-pressure turbine systems, the thermal efficiency of boilers, and biogas utilization.
1	<ul style="list-style-type: none"> Same amount of MF and PKS used as fuel boiler in Baseline 		Scenario focused to identify the increase in electricity generation potential only through the substitution of cogeneration technology.
2	<ul style="list-style-type: none"> All MF and PKS in combustion All POME in AD system 	<ul style="list-style-type: none"> Medium pressure boiler 	Scenario focused on the use of all biomasses except for EFB
3	<ul style="list-style-type: none"> All MF and PKS with 25 % of EFB in combustion All POME with 75% EFB in co-digestion in AD System 	<ul style="list-style-type: none"> extraction-condensing steam turbines AD system 	EFB is limited to 25% because of its high potassium content, which might affect the boiler's performance due to ash accumulation.
4	<ul style="list-style-type: none"> All MF and PKS in combustion All POME with all EFB in co-digestion in AD System 		Scenarios focused on increasing biogas production using EFB as substrate

Potencial energético de la biomasa residual de palma de aceite



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

- Energy potential EFB ▨ Energy potential MF
- Energy potential PKS ▩ Energy potential POME



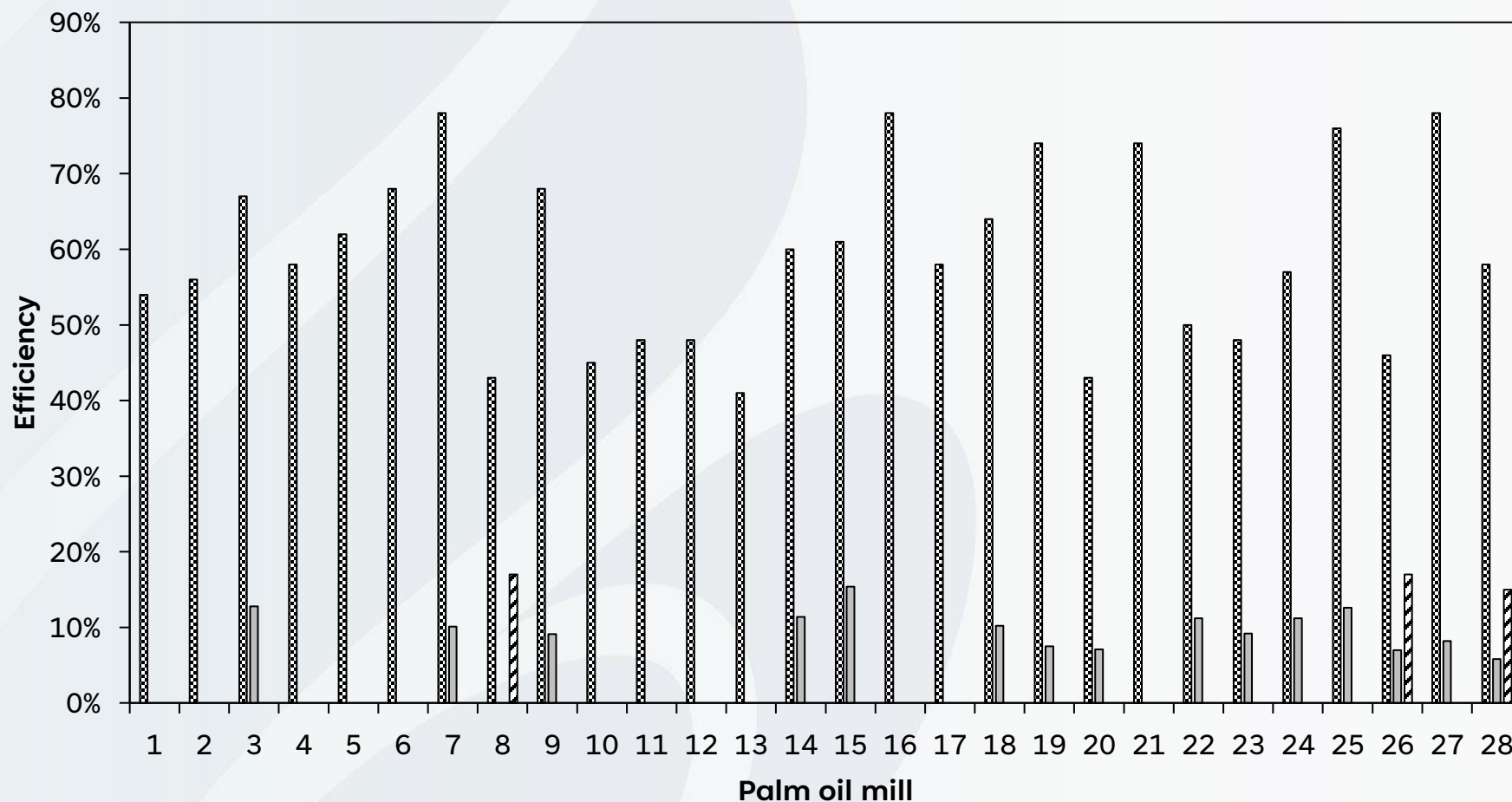
Biomasa	Potencial energético (MJ/t RFF)	Desviación estándar
Tusa	1410	174
Fibra	1587	163
Cuesco	1513	221
POME	467	136
Total	4977	

Eficiencia energética por tecnología en sector palma de aceite



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

▣ Thermal efficiency boiler (%) □ CHP electric efficiency (%) ▨ AD electric efficiency (%)



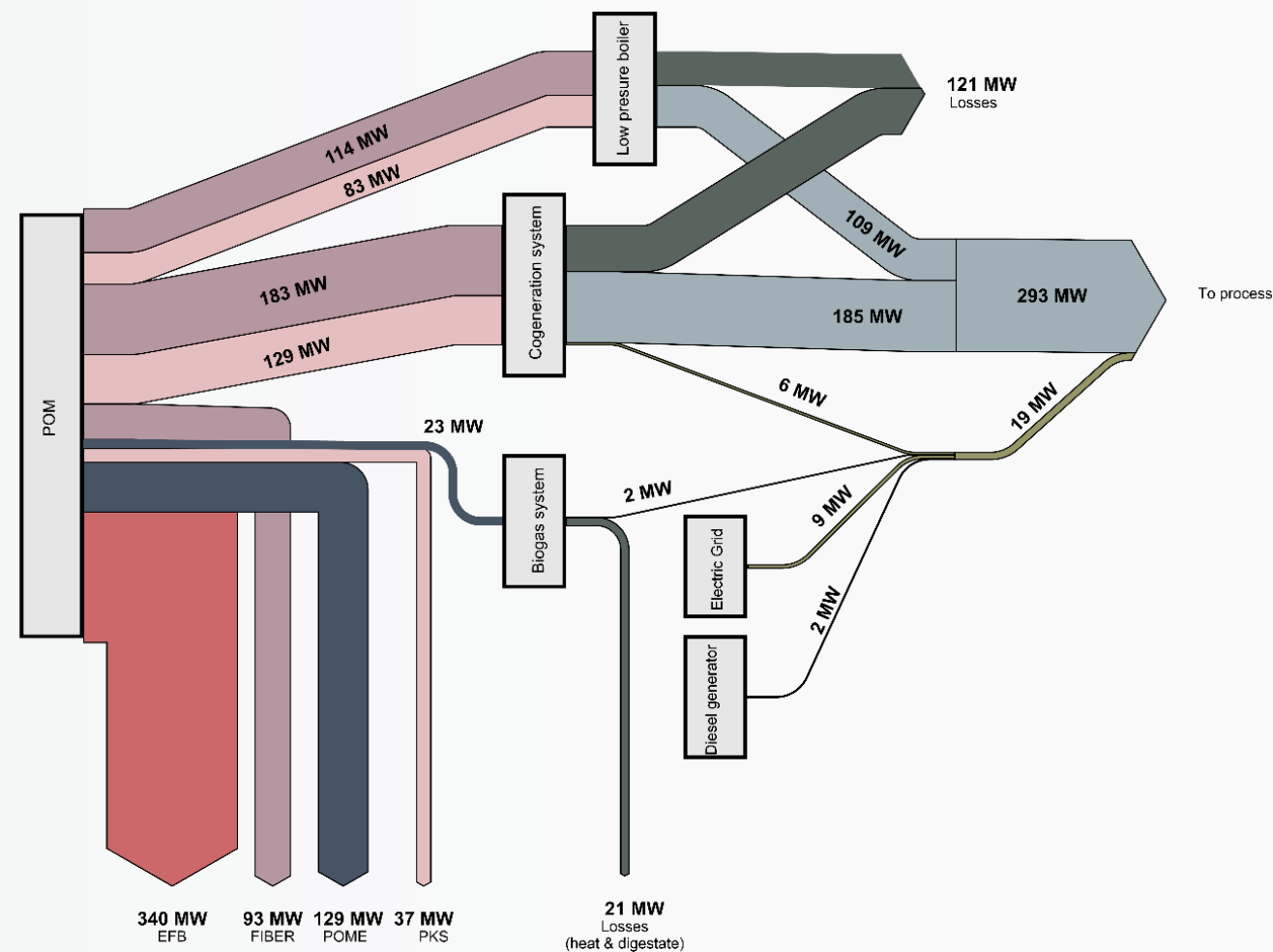
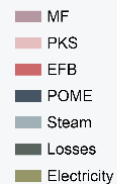
Calderas de baja presión con precarios sistemas de alimentación y control de combustión.

Cogeneración con turbinas de contrapresión que limitan la generación de electricidad.

Operación discontinua de sistemas de digestión anaeróbica.

Diagrama de Sankey – Escenario LB

- 26% potencial biomasa usado en vapor
- Electricidad de proceso representa el 1.7 % del potencial energético de biomasa
- 30% potencial energético corresponde no se utiliza (Tusa)
- Altas pérdidas de calor en proceso de conversión
- 5% aprovechamiento potencial



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

Diagrama de Sankey – Escenario 1



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

- 7% del potencial energético convertido en electricidad
- 32% del potencial energético convertido en vapor
- 55% del potencial energético no aprovechado

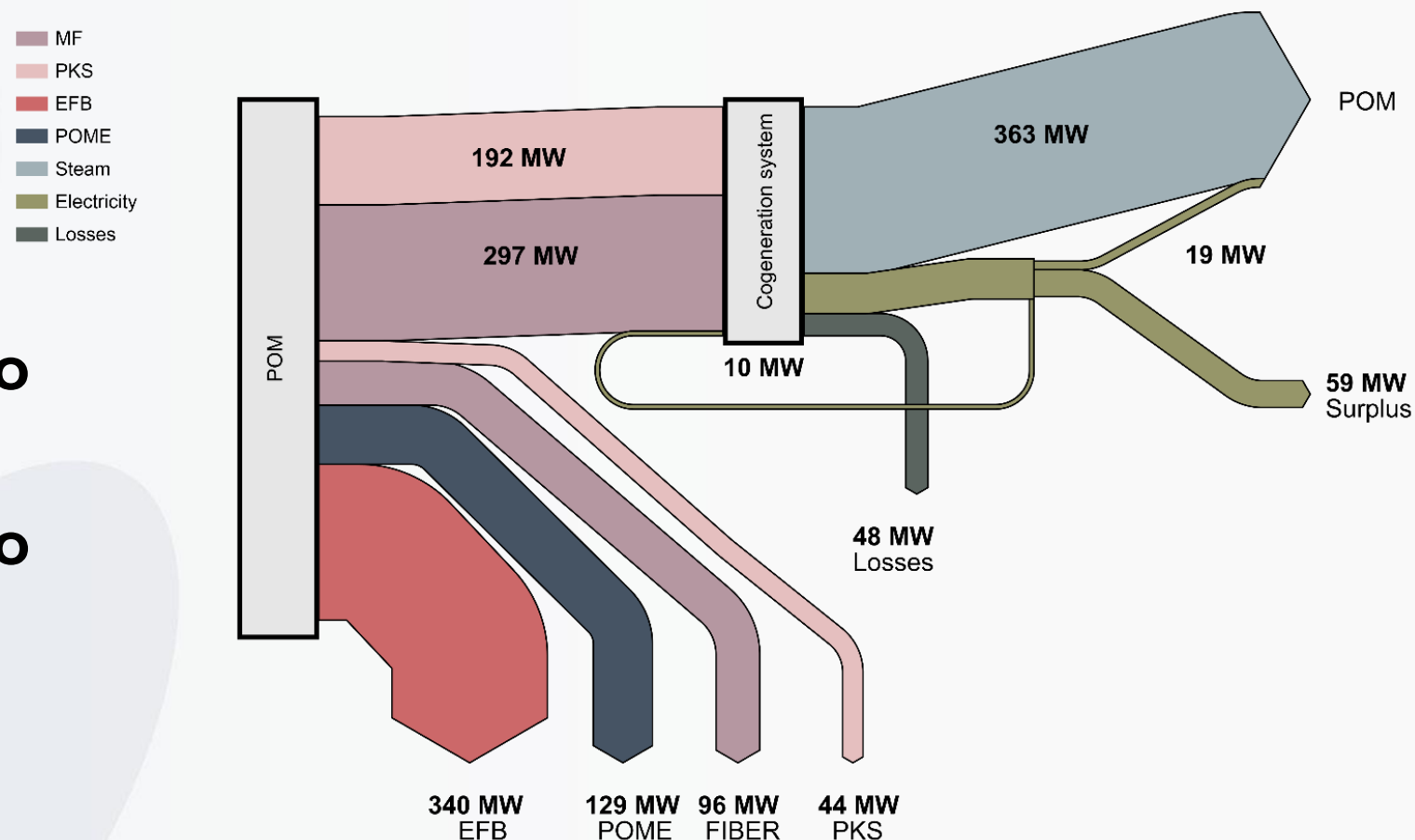


Diagrama de Sankey – Escenario 2

- 16,6% del potencial energético convertido en electricidad
- 32,7% del potencial energético convertido en vapor
- 20,8 % de la electricidad generada por sistema DA
- Excedentes son 7 veces consumo actual en PB

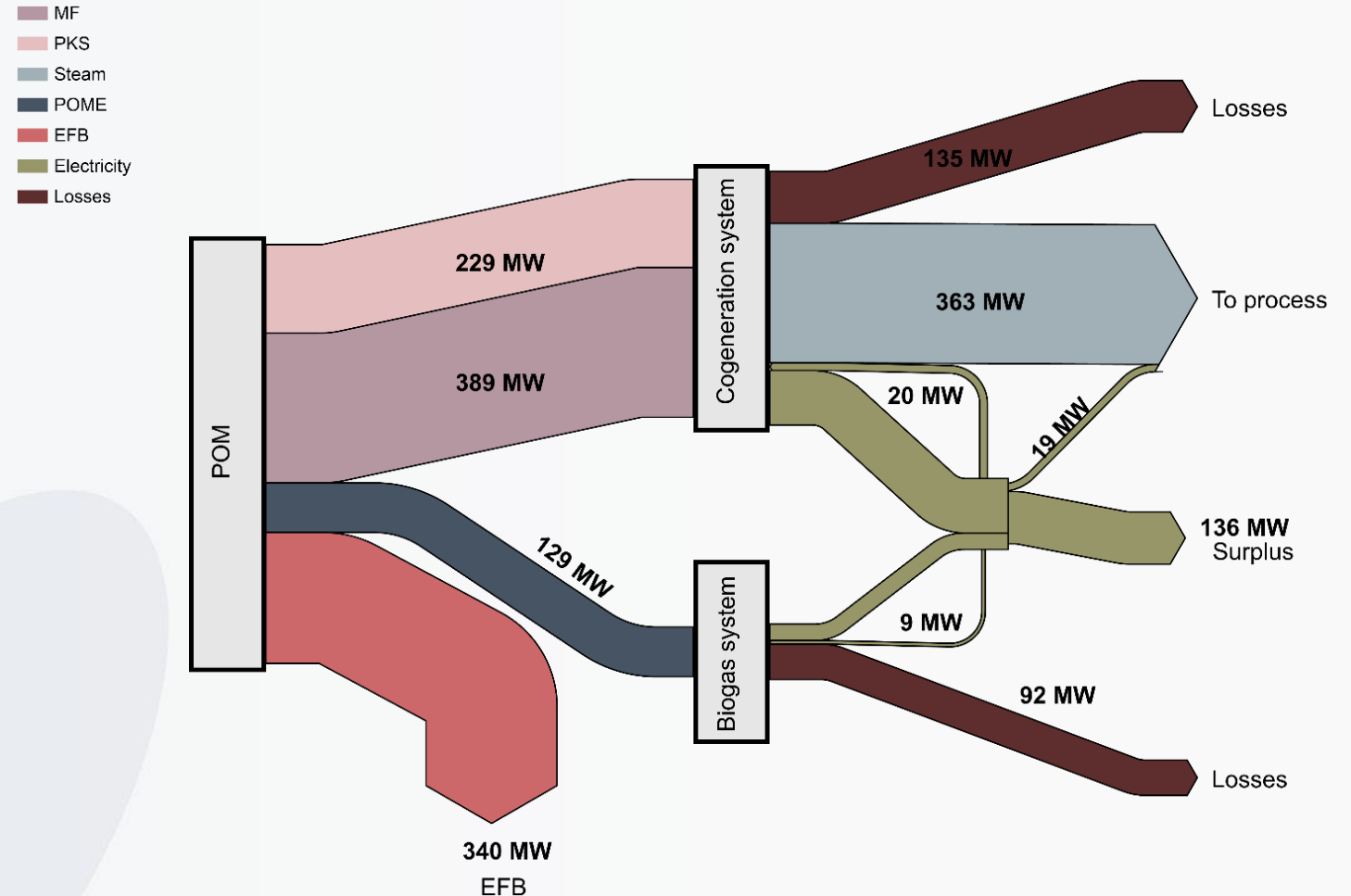
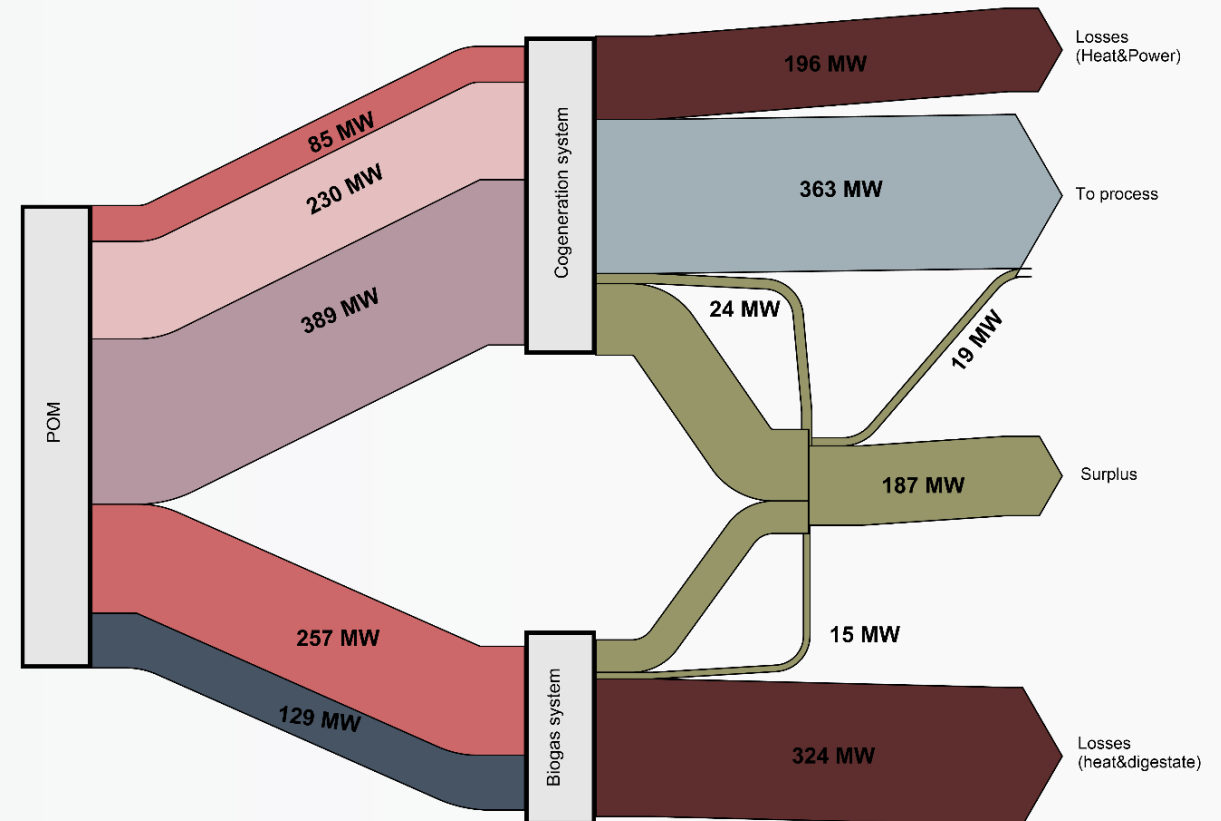


Diagrama de Sankey – Escenario 3

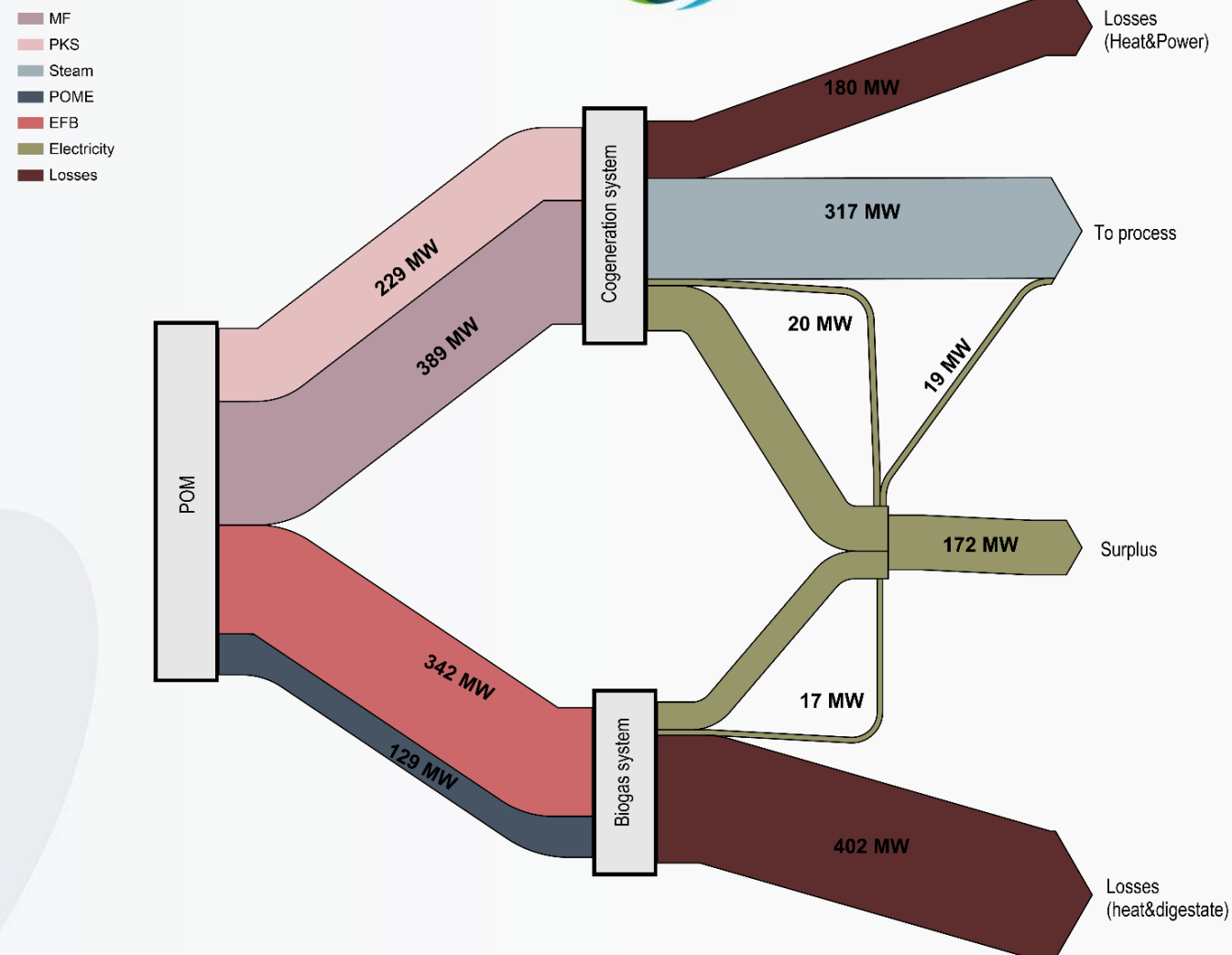
- 7% del potencial energético convertido en electricidad
- CH4 generado representa 0,13% reservas de gas para 2019
- 22,1% del potencial energético de biomasa convertido en electricidad
- 70% electricidad generada por cogeneración



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

Diagrama de Sankey – Escenario 4

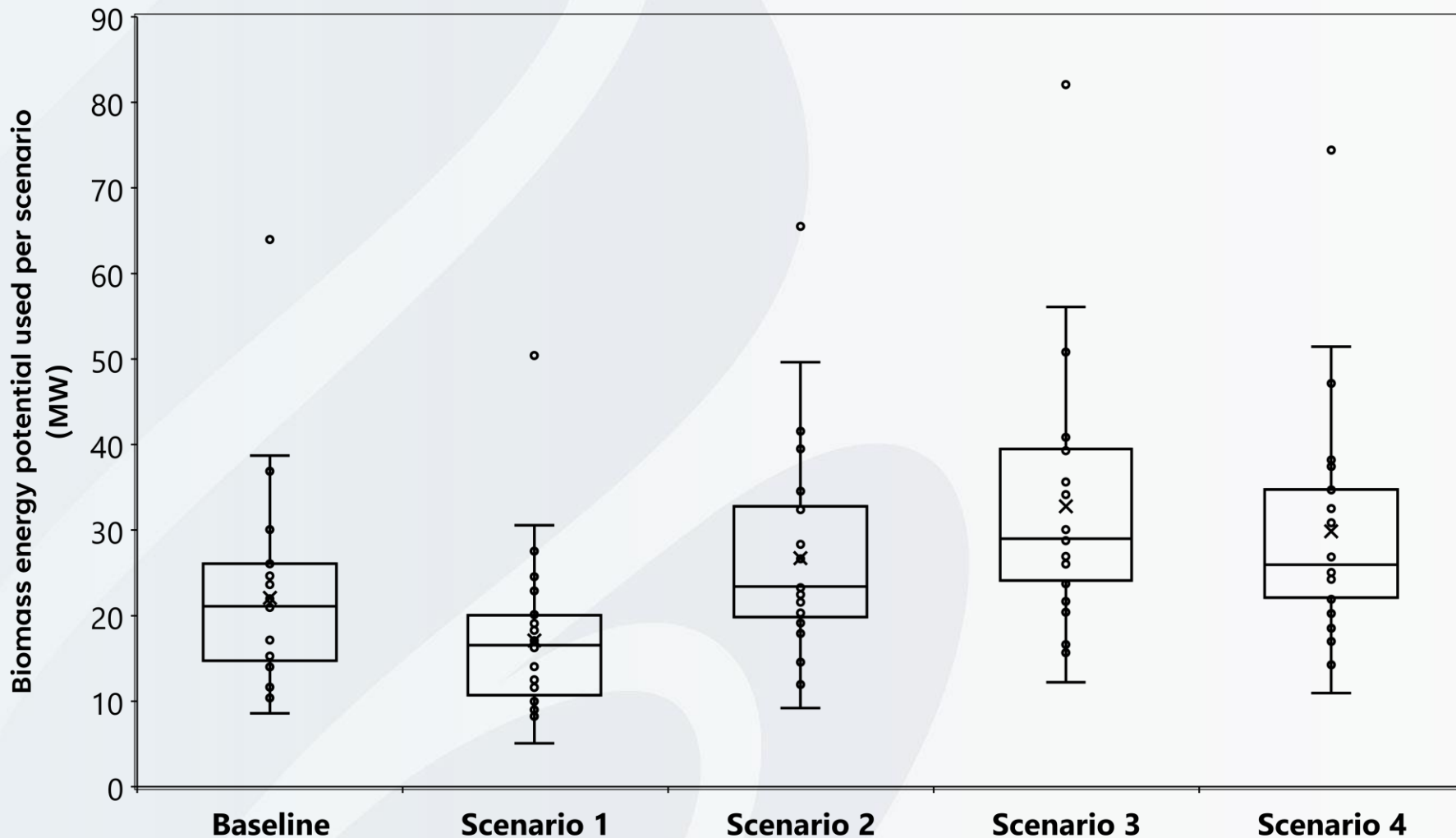
- Incremento del 12% de biogás en digestión anaeróbica
- 20,5% del potencial energético convertido en electricidad
- 38% electricidad proviene de digestión anaeróbica



Potencial energético de biomasa utilizado por escenario



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023



CH₄ generado de efluentes tiene un potencial de 129 MW, equivalente a 12,724 m³ de CH₄ por hora procesada.

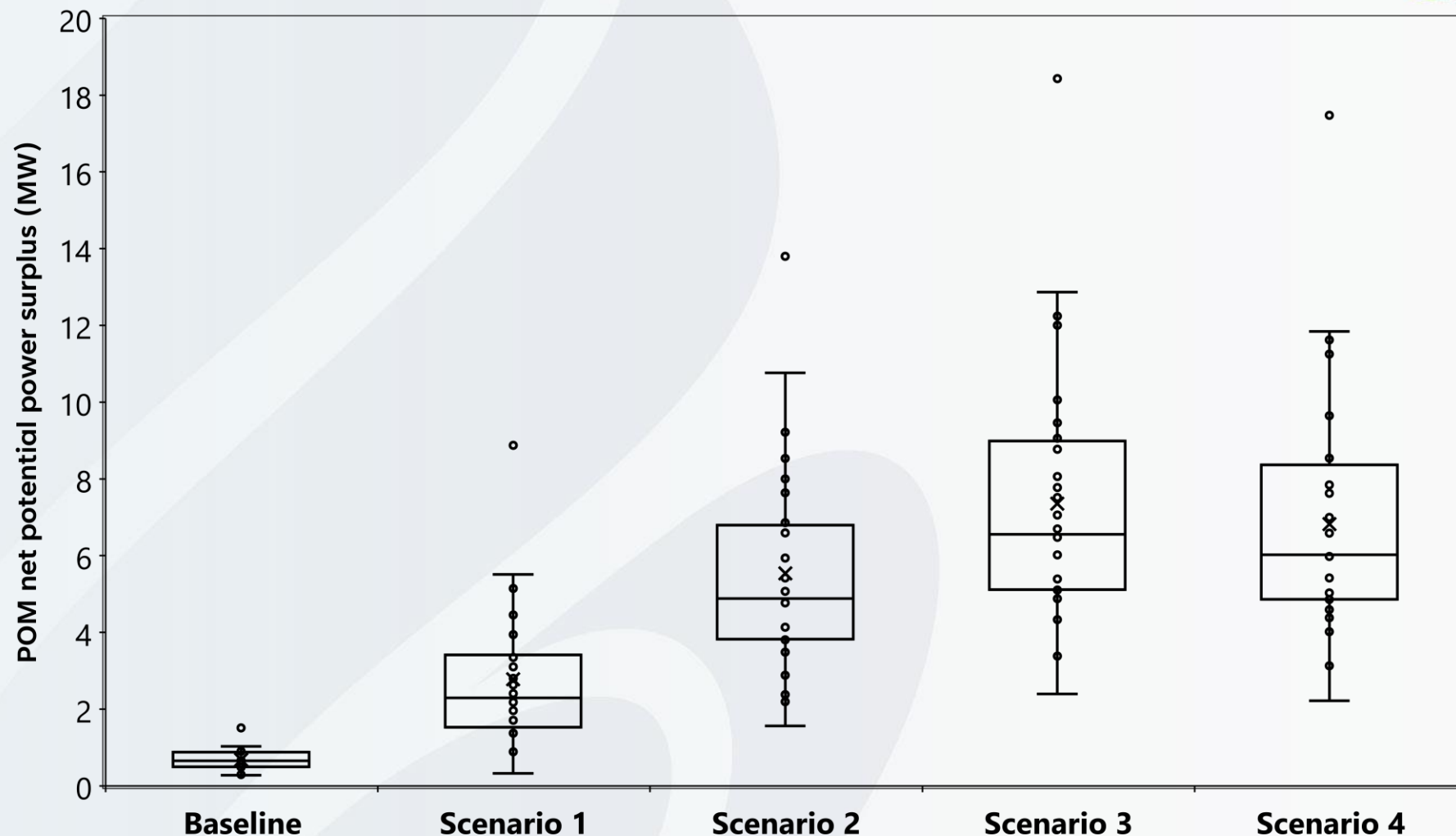
Tusa en co-digestión, puede incrementar potencia de CH₄ hasta 217 MW equivalentes a un flujo de 23,779 m³ de CH₄ por hora de operación.

Uso promedio de biomasa en PB está en el rango de 17,1 – 32,8 MW.

Excedentes netos de electricidad por escenario evaluado



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023



Actualmente, la capacidad de generación de energía es de 7.6 MW, con un 78% proveniente de la cogeneración y el resto del sistema de digestión anaeróbica.

Con una actualización tecnológica, la capacidad de cogeneración puede aumentar hasta 77.8 MW, con un potencial promedio de 2.7 MW por POM.

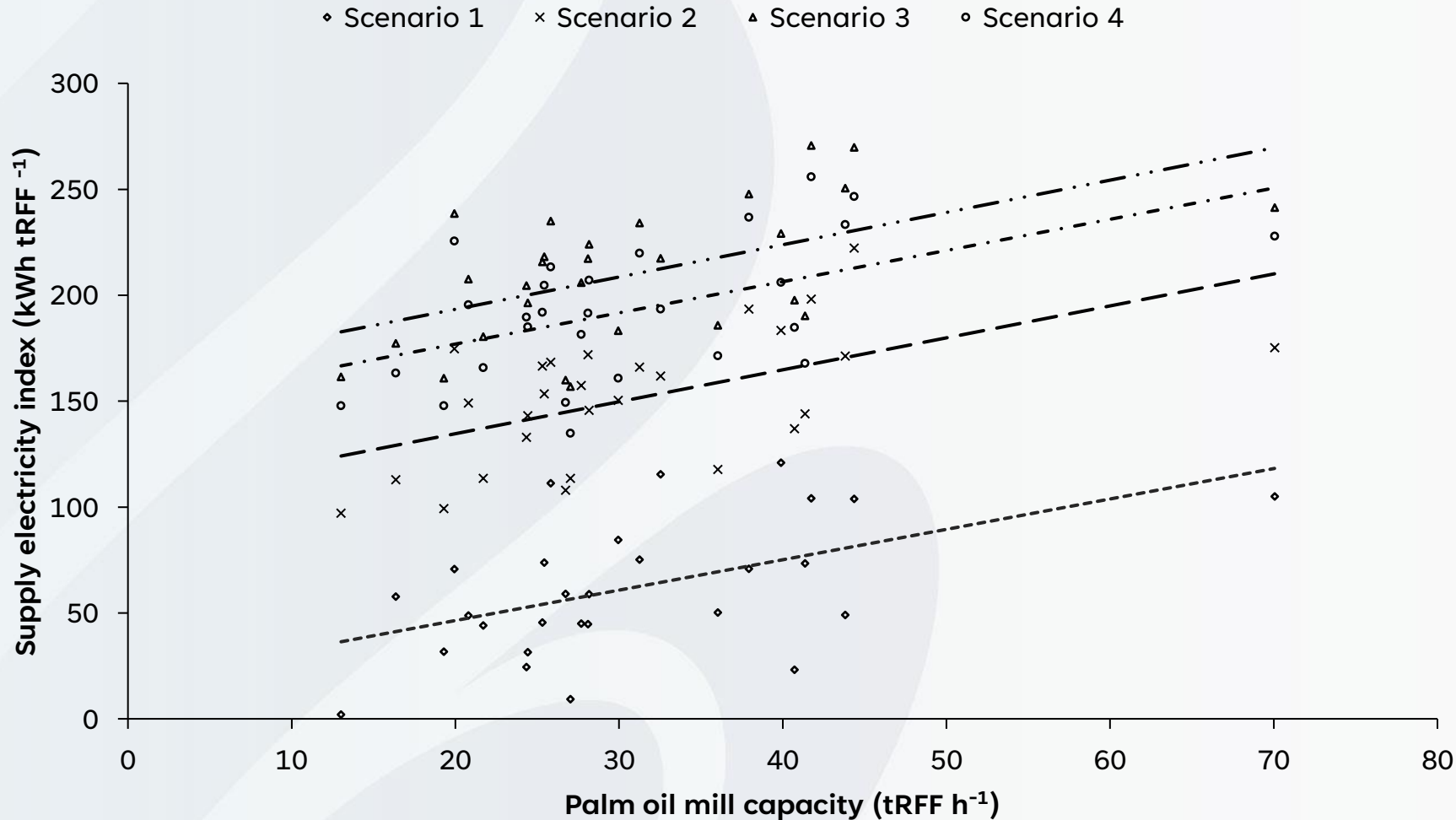
La cogeneración podría incrementarse en promedio 5.1 MW por PB. Capacidad promedio con AD es de 2.2 MW por POM.

Capacidad promedio de 6.8 MW por POM en escenario 4.

Tendencia de excedentes de energía eléctrica por escenario



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023



Escenario 1, el excedente calculado varía de 2.1 a 121 kWh tFFB⁻¹, con un promedio de 62 kWh tFFB⁻¹.

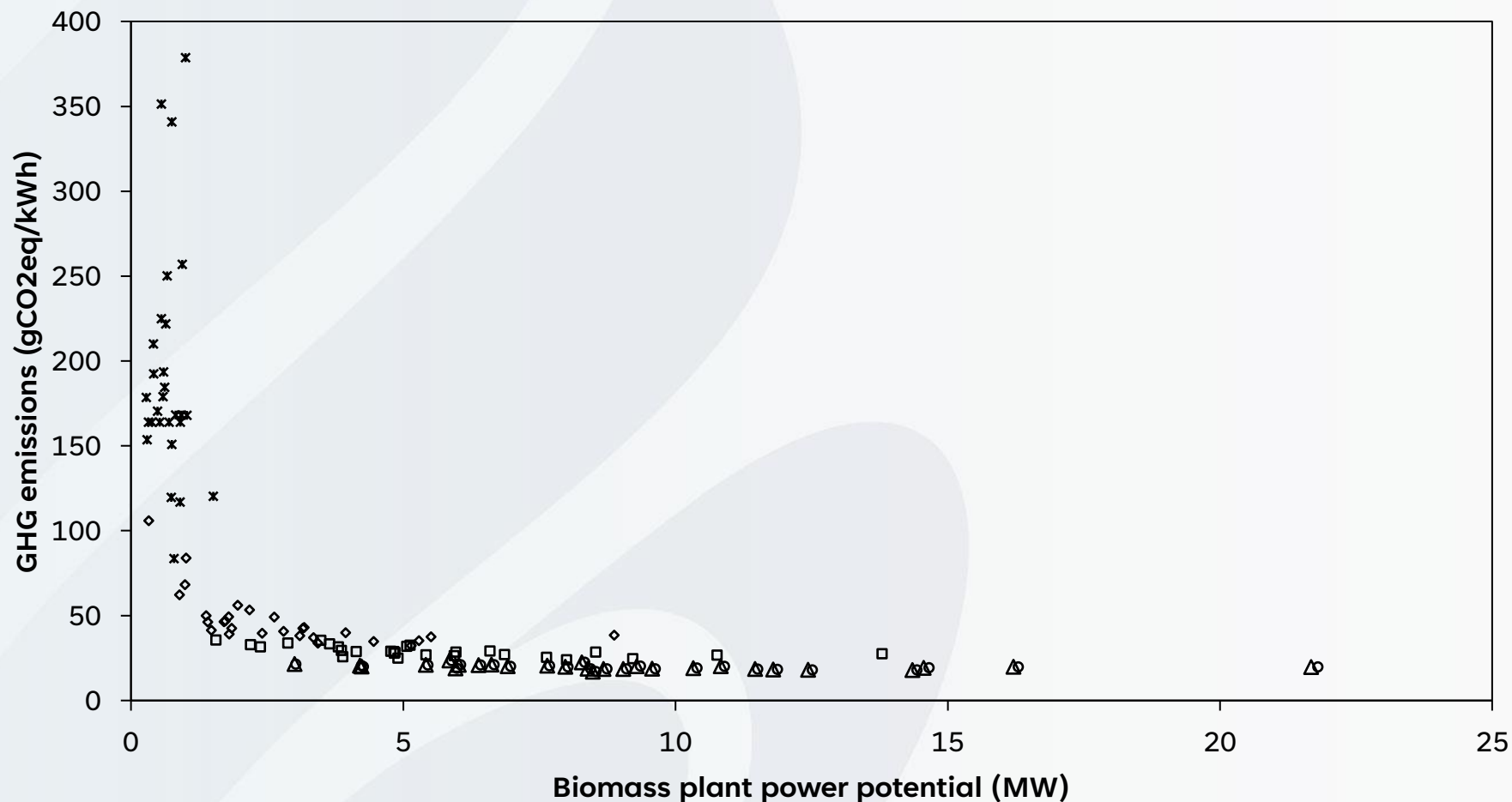
Escenario 2, el excedente varía de 97.2 a 222.4 kWh tFFB⁻¹, con un promedio de 151.1 kWh tFFB⁻¹.

Escenario 3 presenta suministros entre 196.4 y 345.1 kWh tFFB⁻¹, con un promedio de 210 kWh tFFB⁻¹.

Escenario 4 proporciona un suministro de 134.9 a 255.9 kWh tFFB⁻¹, con un promedio de 192.2 kWh tFFB⁻¹.

Emisiones GEI específicas por escenario

* Baseline ♦ Scenario 1 □ Scenario 2 △ Scenario 3 ○ Scenario 4



No se considera emisiones asociadas al cultivo

Factores de emisión tomados de IPCC para combustión estacionaria.

Método de asignación por flujo energético

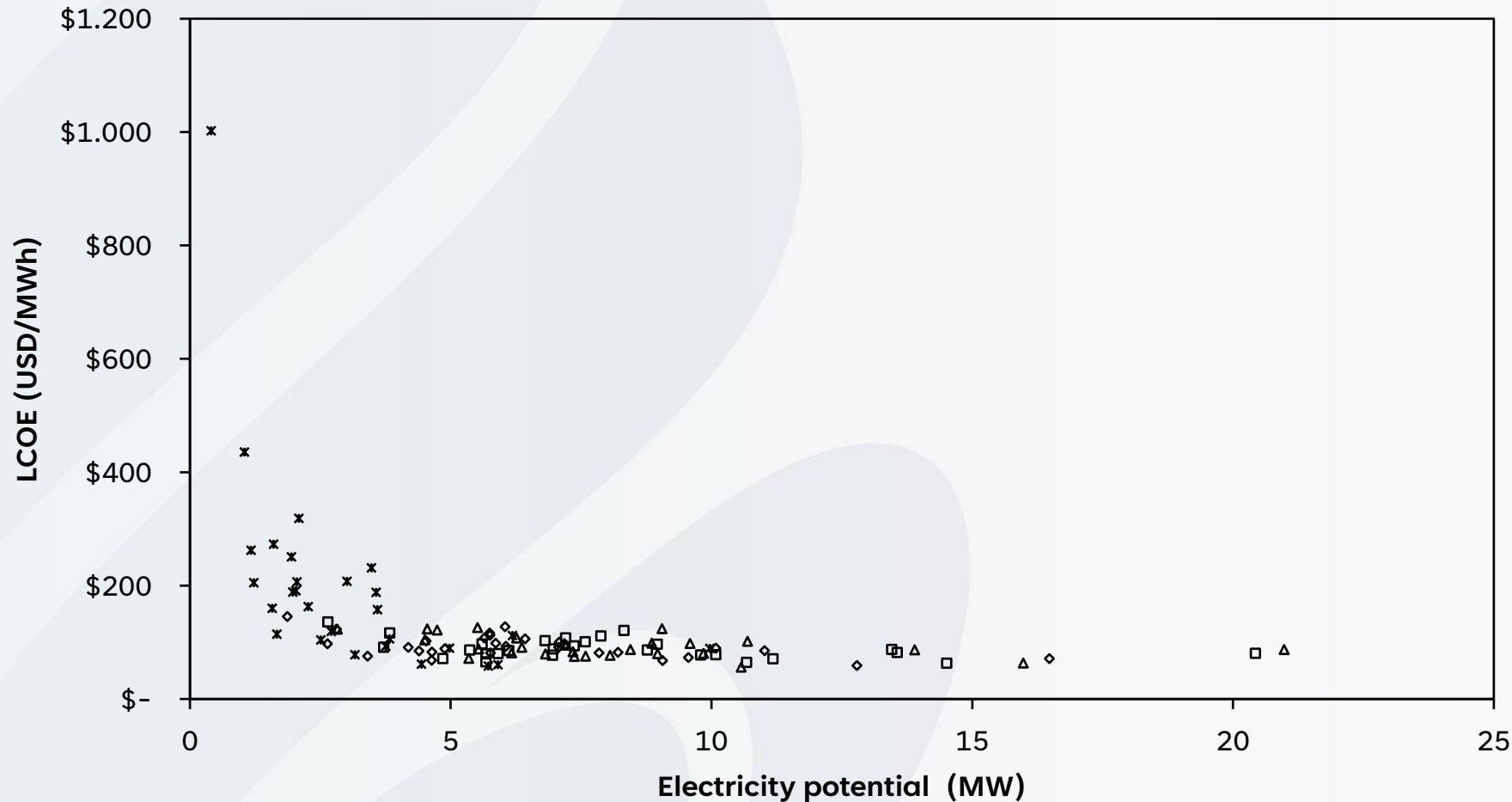
Unidad funcional: kWh generado por t RFF

Costo nivelado de energía por escenario evaluado



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023

× Scenario 1 ◇ Scenario 2 □ Scenario 3 ▲ Scenario 4



Costo de inversión determinados de referencias bibliográficas y actualizados con IPC.

Costo operativo 1.5 % CAPEX/anual

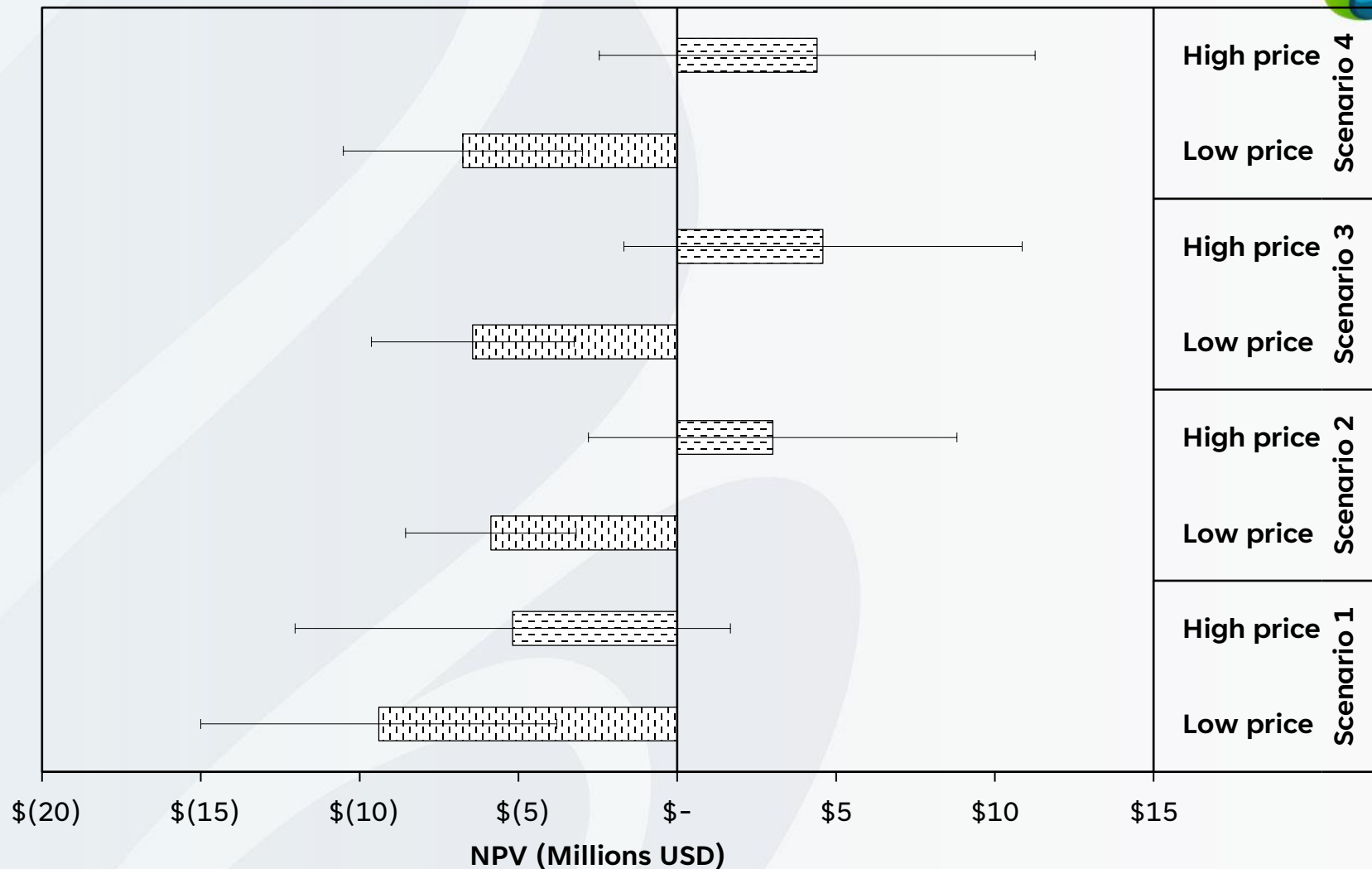
20 años de operación con incremento de producción anual del 4%

Tasa de descuento: 10%

Prefactibilidad por escenarios evaluados



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023



Bajo precio: 27.4 USD/MWh;
Alto precio: 43.8 USD/MWh

Costo promedio electricidad
entre 39.3 – 229.5
USD·MWh⁻¹.

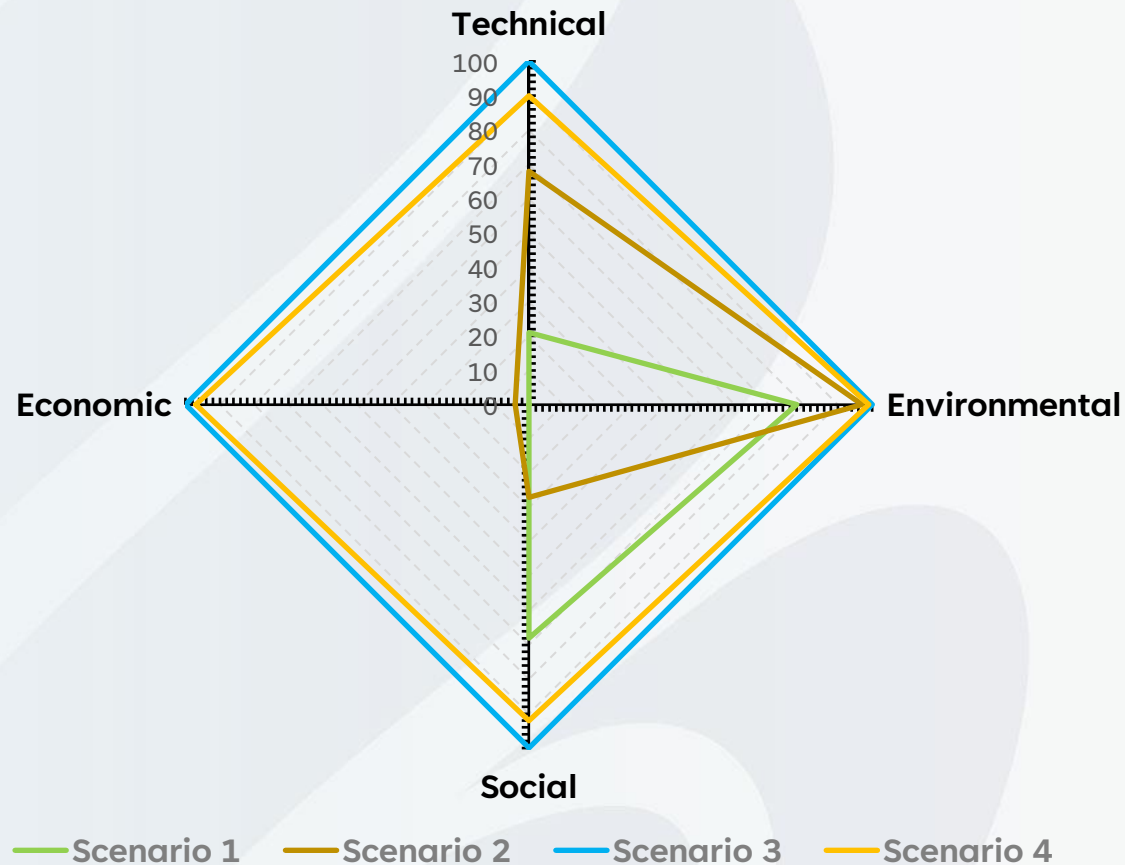
Costo cogeneración y
digestion anaerobica varia
51.6 USD MWh⁻¹.

PB que pueden procesar
más de 240,000 tFFB
anualmente pueden ser más
rentables.

Comparación de escenarios por índice de sostenibilidad



XVIII
REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL
DE PALMA DE ACEITE
2023



Escenario 3 demostró el mejor rendimiento. Esto se atribuye a la fracción significativa de EFB utilizada como combustible.

Escenario 1 fue calificado negativamente en el aspecto económico debido alto costos de energía

Escenario 2 volumen de energía generada no fue suficiente para alcanzar un precio competitivo.

Conclusiones



- 46% de uso actual de biomasa se utilizan en calderas de vapor a baja presión.
- 5% de la biomasa es utilizado en sistemas de cogeneración.
- 28 plantas de extracción que podrían suplir entre el 0.4% y el 1.1% de la demanda eléctrica.
- Proyectos de energéticos en la industria de aceite de palma potencial para disminuir hasta un 2.1% de las emisiones CO₂ nacionales.
- Dado que existen tecnologías de cogeneración maduras, es imprescindible fomentar proyectos de energía biomasa en las plantas de aceite de palma.

Para seguir trabajando...



- Para mejorar la eficiencia energética en PB mediante la incorporación de alternativas tecnológicas:
 - integración de procesos,
 - esterilización continua,
 - clarificación dinámica,
 - cogeneración,
 - clústeres energéticos.
- Se requiere un estudio más detallado que considere el impacto de las incertidumbres relacionadas con la producción de fruto, las condiciones climáticas, la operación dinámica de plantas de beneficio, las técnicas agrícolas y la eficiencia del proceso para resaltar aún más el potencial energético basado en biomasa de palma de aceite.



XVIII
**REUNIÓN TÉCNICA
NACIONAL**
DE PALMA DE ACEITE

2023

GRACIAS

