

# I Congreso Internacional de Biotecnología Ambiental y Economía Circular - 2022

## APLICACIONES Y DESARROLLO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Ing. Fernando Ramonet, MSc.

Universidad Técnica de Viena (TU Wien)

Instituto de Ingeniería Química, Ambiental y Bociencia

6-7 Diciembre 2022. Lima, Peru.

Grado en Ingeniería Industrial Y De Sistemas (2011-2016)



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Maestría en Ingeniería Mecánica (2018-2020)



**POLITÉCNICA**

Doctorado en Ingeniería Química (2020-2024)



Beca de la Unión Europea: H2020 Marie Skłodowska-Curie



# DIGESTIÓN ANAERÓBICA COMO TECNOLOGÍA DE CAPTURA, ALMACENAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE CARBONO

Fernando Ramonet, Christian Jordan,  
Bahram Haddadi, Michael Harasek

Universidad Técnica de Viena (TU Wien)

Instituto de Ingeniería Química, Ambiental y Biotecnología

I Congreso Internacional de Biotecnología Ambiental y Economía Circular - 2022

6-7 Diciembre 2022. Lima, Peru.

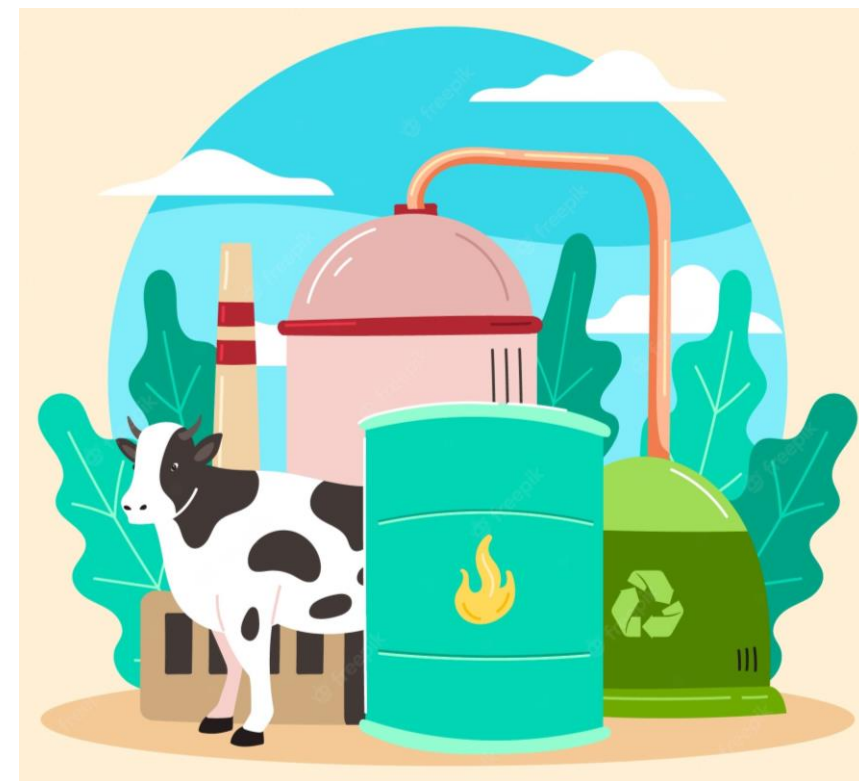


Figura extraída de [www.freepik.es/vectores/biogas](http://www.freepik.es/vectores/biogas)

# Sobre AgRefine

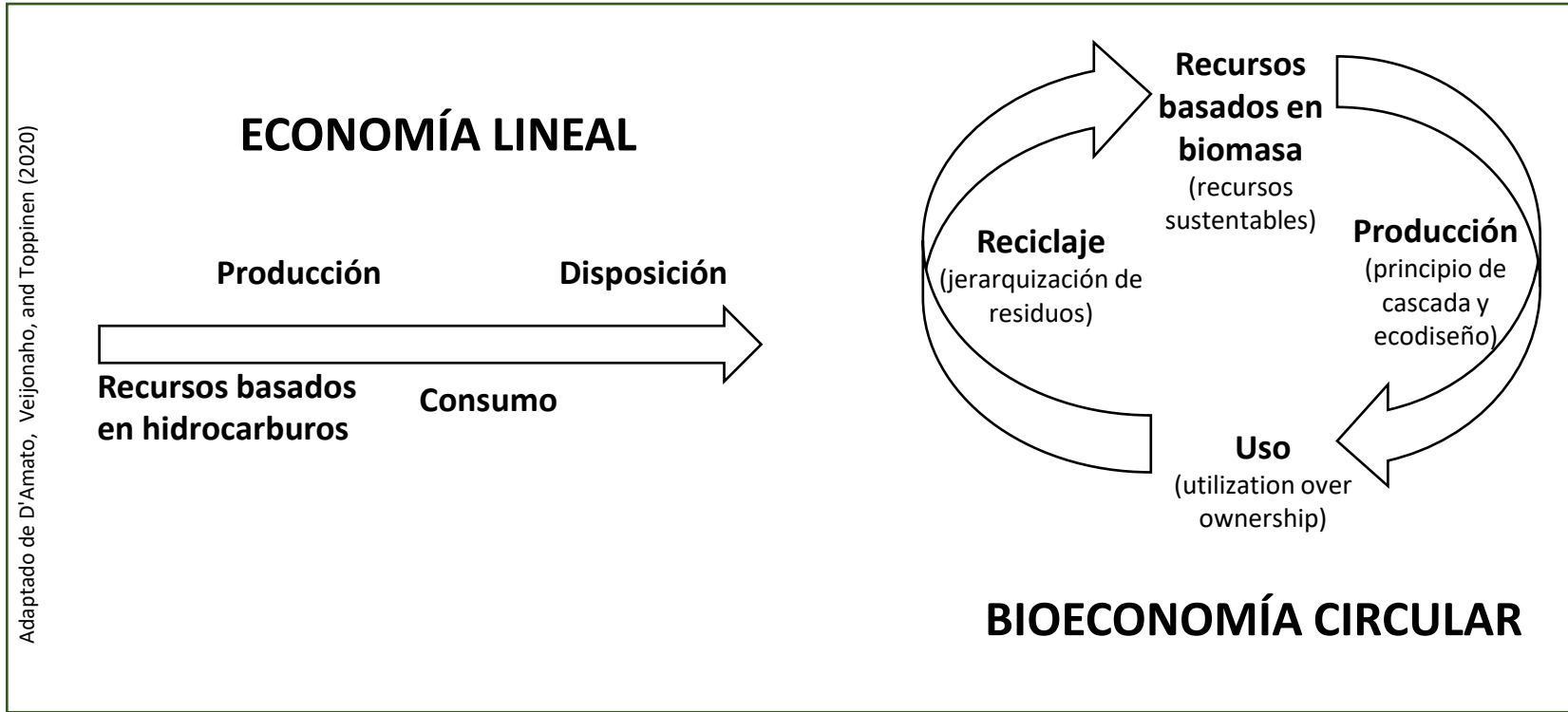
## Red Europea de Formación

- Biorefinerías Verdes (green biorefineries)
- 15 doctorandos, proyectos interdisciplinarios
- 3 grupos de trabajo

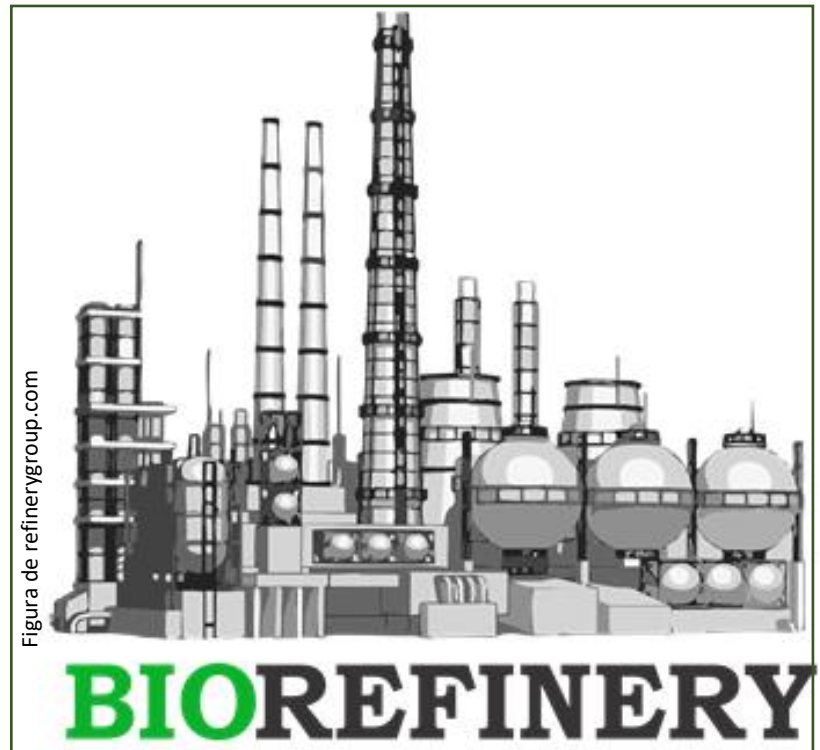


This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 860477

# Transición a la economía circular



Adaptado de D'Amato, Veijonaho, and Toppinen (2020)



Una biorrefinería es un sitio industrial que transforma de manera sostenible la biomasa en productos alimenticios para humanos y animales, biomateriales, biocombustibles y productos químicos con alto valor agregado, como cosméticos. (Schieb et al., 2015).

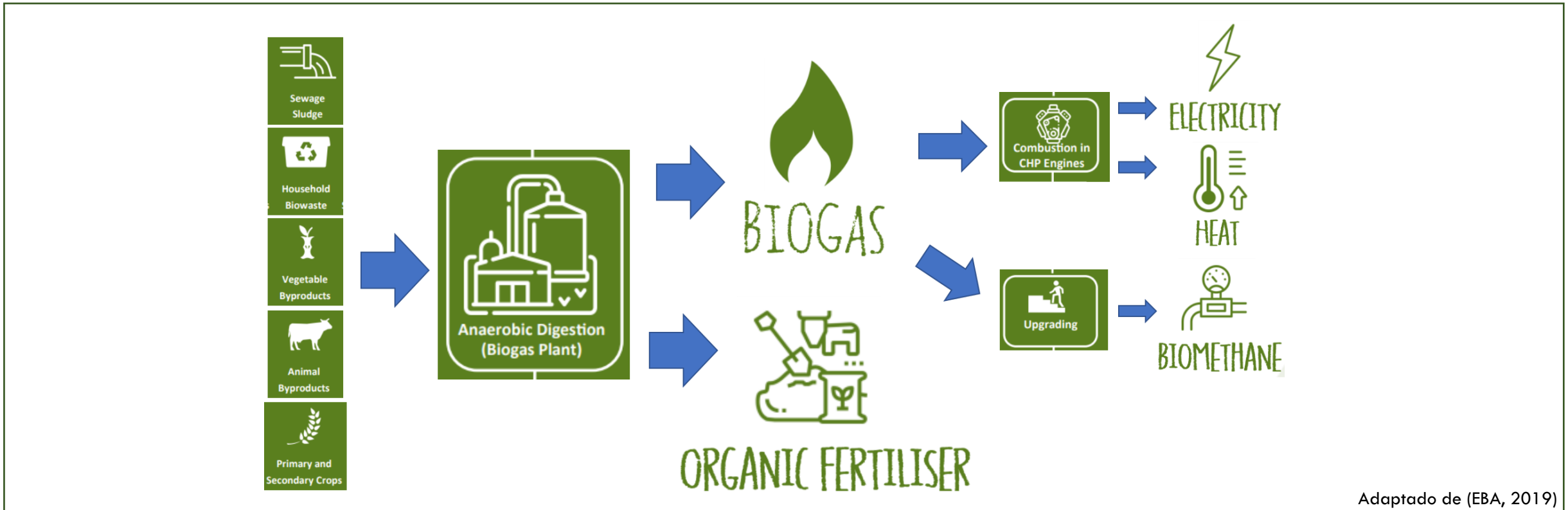
“Una biorrefinería es el procesamiento sostenible de biomasa en un espectro de productos comercializables (alimentos, materiales, productos químicos) y energía (combustibles, energía, calor)”  
(IEA Bioenergy Task 42).

El grupo de trabajo 42 Bioenergía de la Agencia Internacional de la Energía clasifica las biorrefinerías según sus materias primas, procesos, plataformas y productos.

En el concepto de biorrefinería verde se propuso la integración de digestores anaerobios en biorrefinerías como técnica de valorización para producir ácido láctico, aminoácidos, fibras y energía (Kromus et al., 2004).

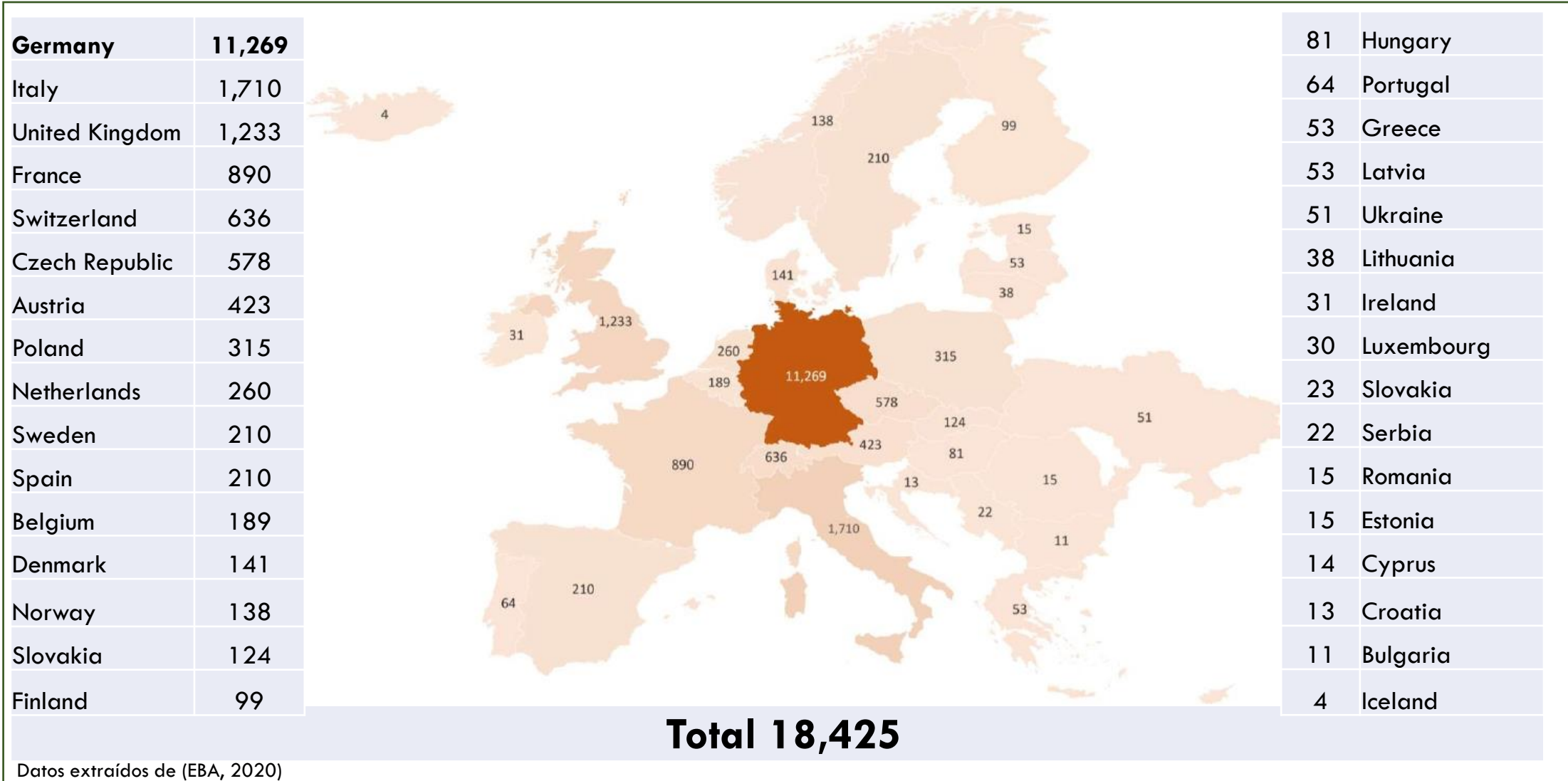
# Planta de Biogas

Una planta de biogás es una instalación en la que se transforman materiales orgánicos en biogás para ser utilizados como energía y calor o para convertirse en gas con calidad de red (biometano > 96 %).

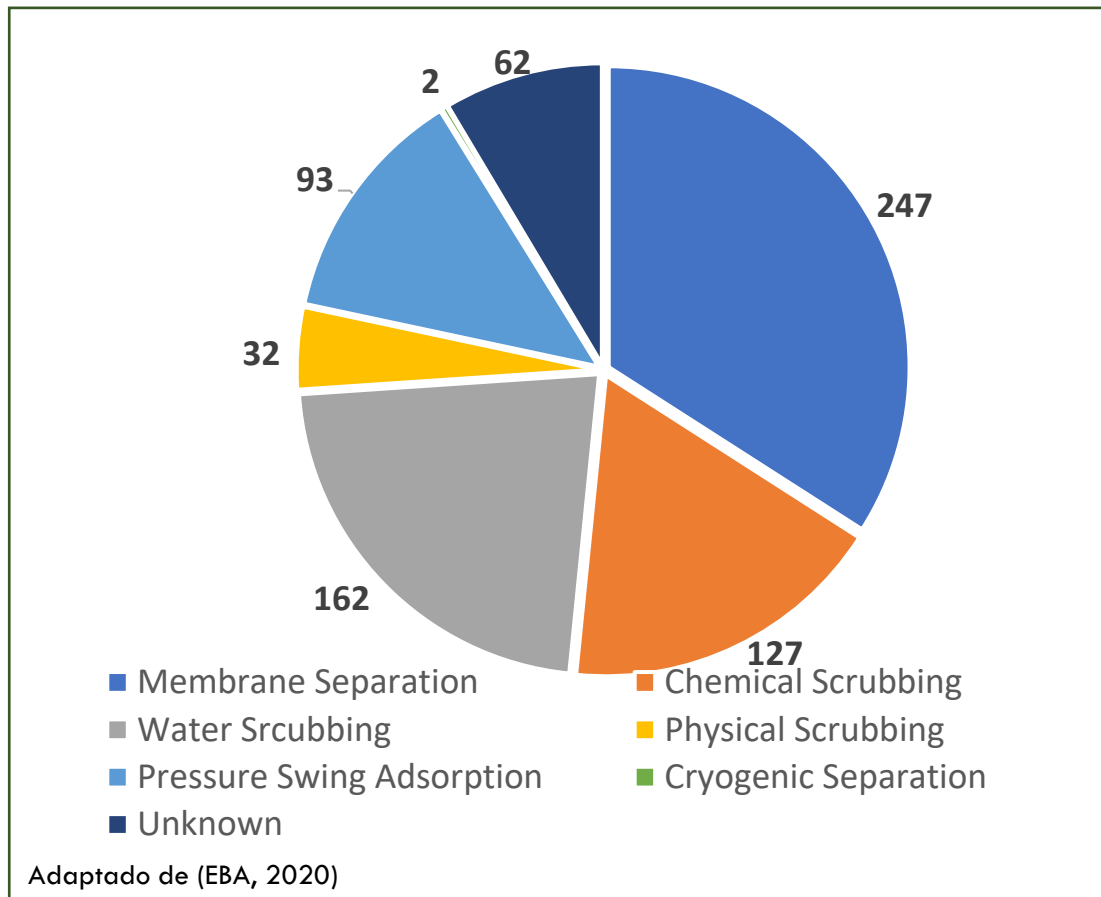


Adaptado de (EBA, 2019)

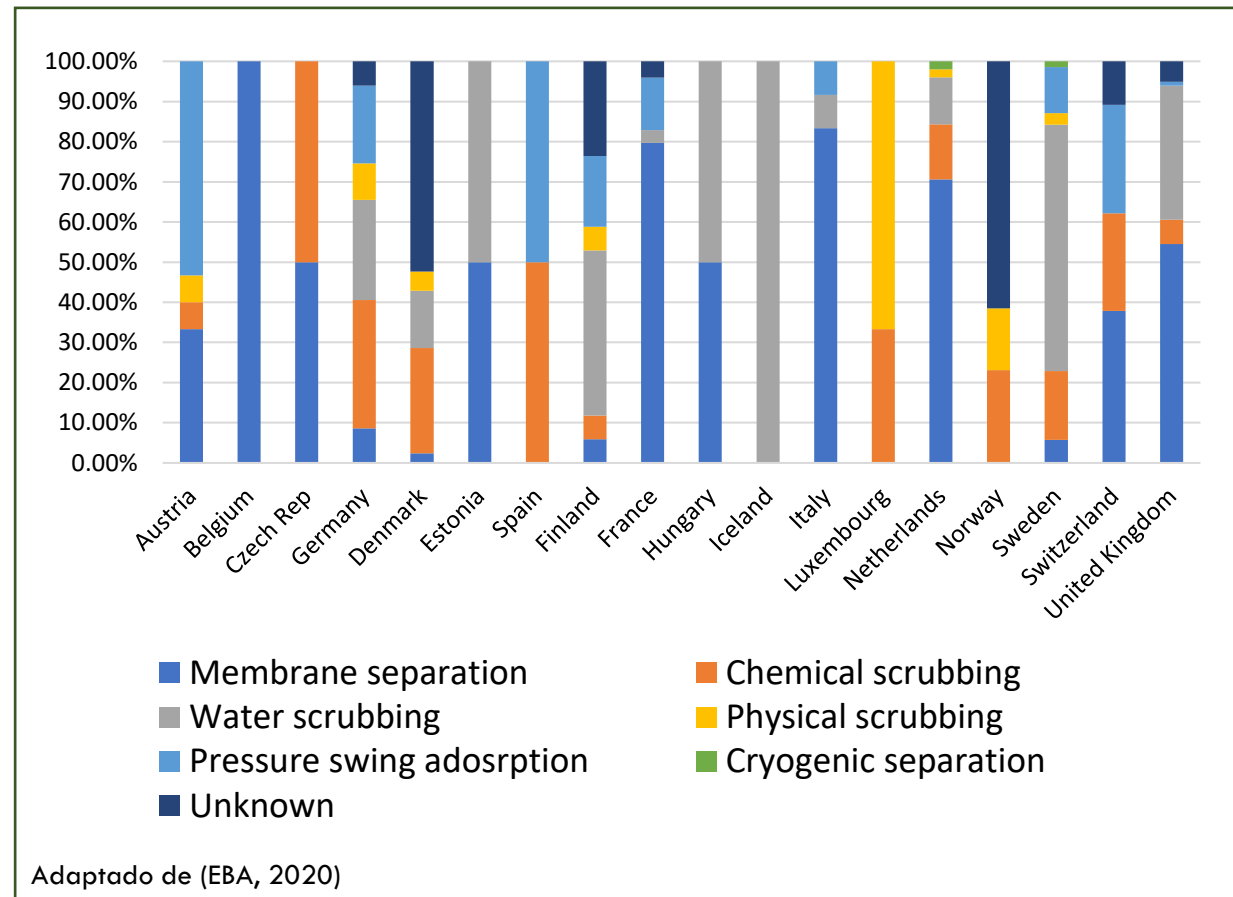
# Plantas de Biogas en Europa en 2020



**Uso relativo de tecnologías de separación en 2019**

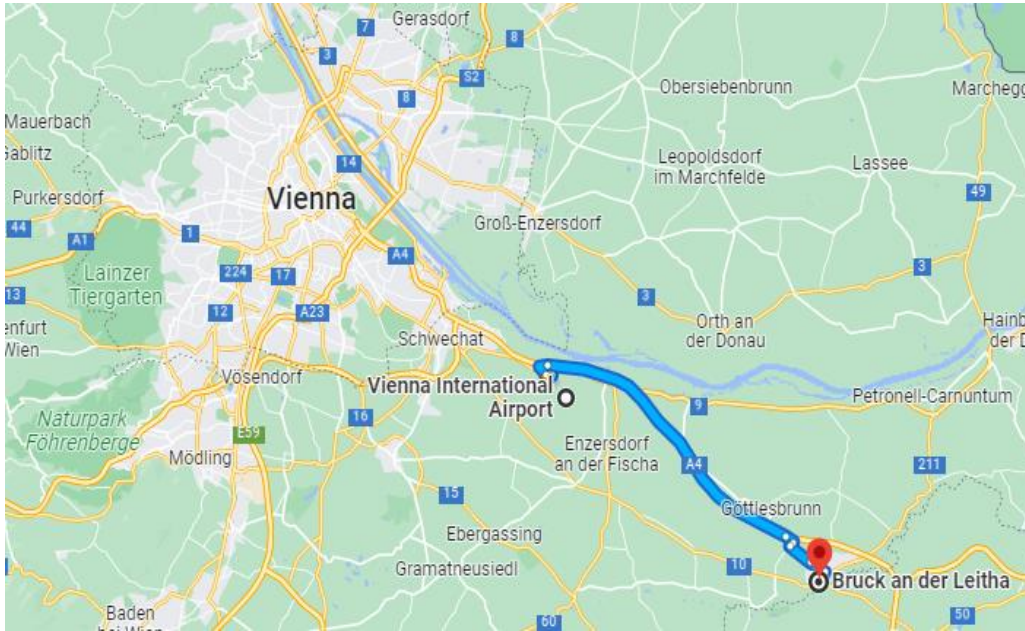


**Tecnologías de purificación de biogás por país**





# Biogas Plant in Bruck an der Leitha



- 7,660 habitantes
- 23.81 km<sup>2</sup>
- 25 km del aeropuerto de Vienna

- Construida en 2004
- Adaptada a planta de biometano en 2008
- 5,200,000 m<sup>3</sup> de biogas son producidos y purificados,
- 3,300,000 m<sup>3</sup> of biometano y
- 1,900,000 m<sup>3</sup> de dióxido de carbono



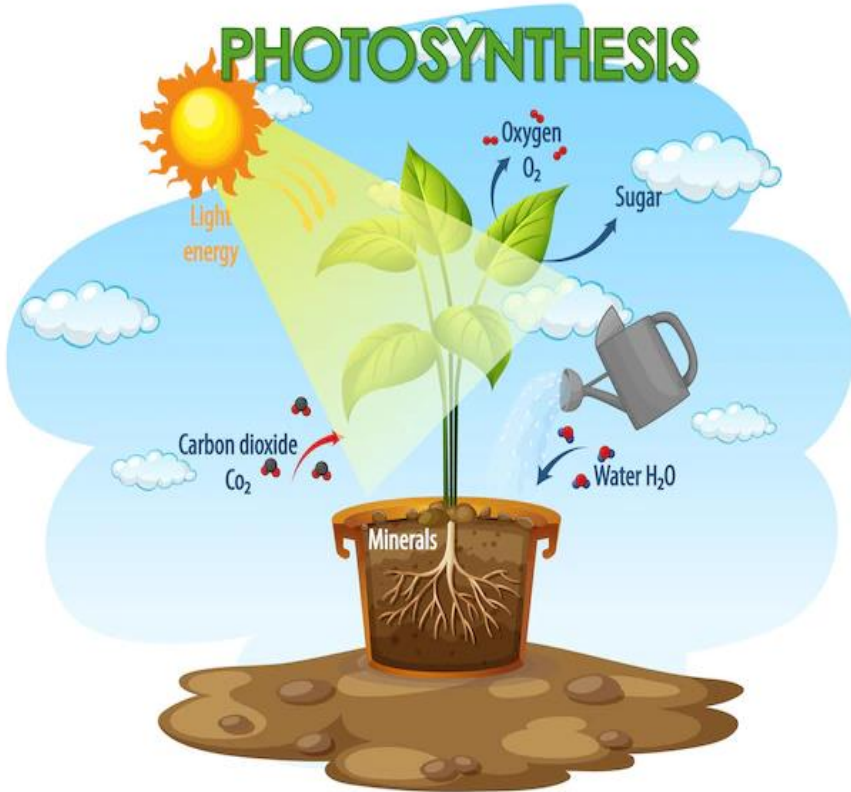


Figura extraída de geeksforgeeks.org



Figura extraída de growersupply.com

## Concentración de CO<sub>2</sub>

- En el aire exterior: 416 ppm<sup>1</sup>.
- En invernaderos con poca ventilación: 200 ppm<sup>2</sup>.
- Concentración de CO<sub>2</sub> óptima para el crecimiento y rendimiento: 700 - 900 ppm<sup>2</sup>.
- Punto de saturación del cultivo: 1,000 - 1,300 ppm<sup>2</sup>.
- 5,000 ppm son dañinos para los humanos<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> gml.noaa.gov; <sup>2</sup> Blom et al., (2002); <sup>3</sup> Daisey, Angell and Apte (2003)

## Meat sector braces for CO<sub>2</sub> shortage as energy prices cut European fertiliser production

By Katy Askew  
25 Aug 2022 - Last updated on 25-Aug-2022 at 14:19 GMT



The energy crisis threatens next year's harvest and meat production / Pic: Gettyimages-jupiterimages

RELATED TAGS: Fertilisers, Meat, CO<sub>2</sub>

Fertiliser production is being reduced across Europe due to high gas prices. This is having a knock-on impact on the availability of carbon dioxide. Meat producers are calling for urgent government intervention.

Agosto 25

NEWS | September 16, 2022

## CO<sub>2</sub> price hikes hit UK brewers following ammonia plant closure

The CO<sub>2</sub> surcharge has soared in the last month.

By James Beeson



Image credit: ian@iaink / Shutterstock.com



**James Beeson**

James has been Just Drinks' deputy editor since February 2022. Previously, he worked at The Morning Advertiser and as a freelance journalist and photographer. His favourite drink is a pint of beer brewed through a spigot.

Related Articles

Septiembre 16

## German drinks makers suffer as energy crisis hits carbon dioxide supplies

Shortage causes manufacturers to slash production and warn of bankruptcies



The shortage of CO<sub>2</sub> has been worsening for months as record gas prices prompt the fertiliser industry to slash output © Jasper Juinen/Bloomberg

Martin Arnold in Frankfurt SEPTEMBER 16 2022



Septiembre 16

## Carbon dioxide shortage threatens EU beer and food industries

Thursday, 22 September 2022

By Danica Van der Merwe



Credit: Belga / Bruno Fahy

Septiembre 22

- “A medida que las fábricas de fertilizantes están cerrando debido a los costos de energía, se avecina una escasez de CO<sub>2</sub> concentrado, y las cerveceras y otras empresas de alimentos están haciendo sonar la alarma de que su comercio se verá particularmente afectado..”
- “La producción de fertilizantes se está reduciendo en toda Europa debido a los altos precios del gas. Esto está teniendo un impacto en cadena en la disponibilidad de dióxido de carbono. Productores de carne piden intervención urgente del gobierno.”

# Datos Climatológicos

**Datos climatológicos promedios mensuales de Bruck an Der Leitha**

Datos extraídos de (WeatherSpark, 2022)

Mes	Radiación Solar (MJ)	Luz Diaria (h)	Temperatura del Aire (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)	Nubosidad (%)
Enero	4.68	8.9	-3 / 3	89	4.43	57
Febrero	7.92	10.3	-2 / 5	84	4.65	57
Marzo	12.6	12	2 / 10	72	4.52	56
Abril	18	13.7	6 / 16	64	4.34	52
Mayo	21.96	15.2	10 / 20	65	4.07	49
Junio	23.76	16	14 / 24	59	3.93	43
Julio	23.76	15.6	16 / 26	55	3.80	35
Agosto	20.52	14.2	15 / 25	54	3.62	37
Septiembre	15.12	12.5	11 / 21	64	3.80	45
Octubre	9.72	10.8	7 / 14	76	3.98	51
Noviembre	5.4	9.2	2 / 8	88	4.16	61
Diciembre	3.96	8.4	-1 / 3	88	4.25	61

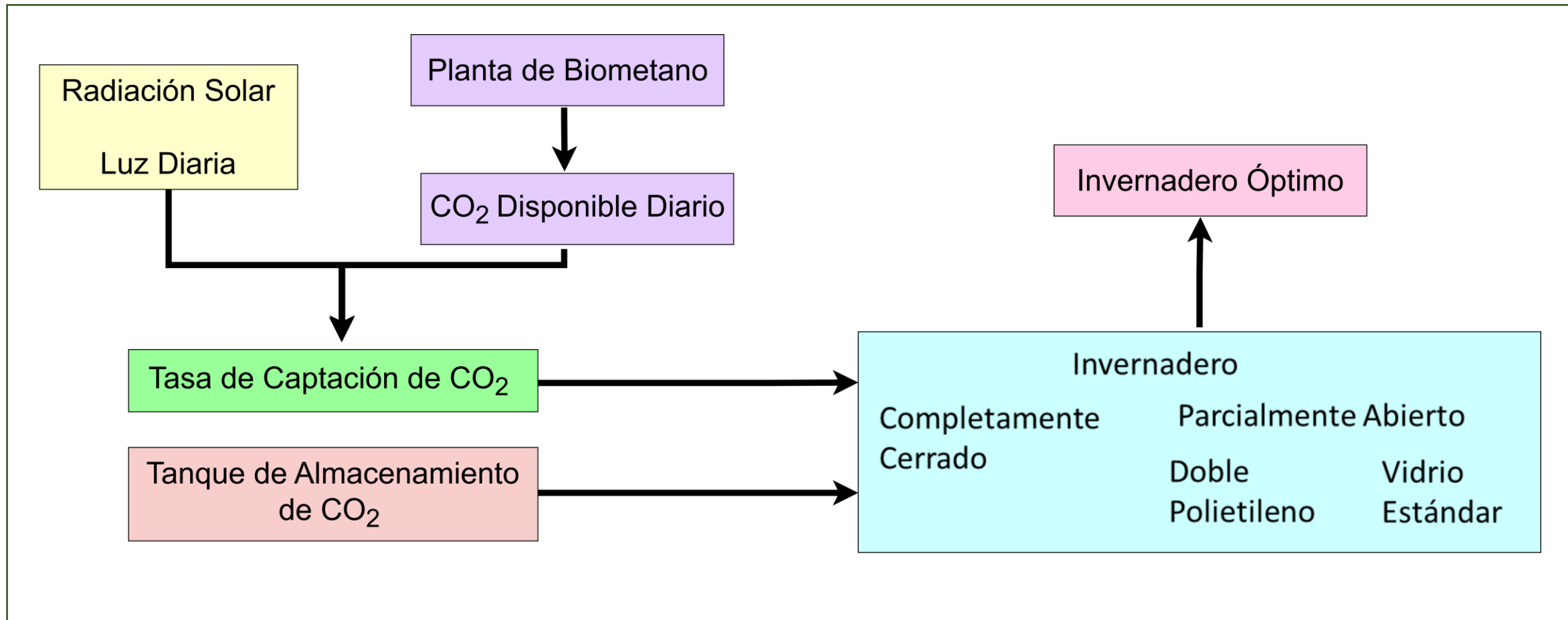
# Cálculo Simplificado

**Uso potencial anual de CO<sub>2</sub> sobre una base mensual basado en las horas de sol en Bruck an der Leitha**

Mes	Número de horas aplicadas (h)	Tasa Aplicada de CO <sub>2</sub> (kg/ha/h)					
		Completamente cerrado			Parcialmente abierto		
		12	18	24	45	65	90
Enero	275.9	3,310.8	4,966.2	6,621.6	12,415.5	17,933.5	24,831
Febrero	288.4	3,460.8	5,191.2	6,921.6	12,978	18,746	25,956
Marzo	372	4,464	6,696	8,928	16,740	24,180	33,480
Abril	411	4,932	7,398	9,864	18,495	26,715	36,990
Mayo	471.2	5,654.4	8,481.6	11,308.8	21,204	30,628	42,408
Junio	480	5,760	8,640	11,520	21,600	31,200	43,200
Julio	483.6	5,803.2	8,704.8	11,606.4	21,762	31,434	43,524
Agosto	440.2	5,282.4	7,923.6	10,564.8	19,809	28,613	39,618
Septiembre	375	4,500	6,750	9,000	16,875	24,375	33,750
Octubre	334.8	4,017.6	6,026.4	8,035.2	15,066	21,762	30,132
Noviembre	276	3,312	4,968	6,624	12,420	17,940	24,840
Diciembre	260.4	3,124.8	4,687.2	6,249.6	11,718	16,926	23,436
<b>Total (kg)</b>		<b>53,622</b>	<b>80,451</b>	<b>107,244</b>	<b>201,082.5</b>	<b>290,452.5</b>	<b>402,165</b>
<b>Área de Invernaderos (Ha)</b>		<b>17.92</b>	<b>11.95</b>	<b>8.96</b>	<b>4.78</b>	<b>3.31</b>	<b>2.39</b>

Based on Blom et al., (2002)

Ramonet et al. (2022)



## Resumen de los resultados del cálculo detallado

Concepto	Completamente Cerrado	Parcialmente Abierto	
		Doble Polietileno	Vidrio Estándar
Invernadero Sin Almacenamiento de CO <sub>2</sub> (Ha)	7.03	4.82	2.81
Invernadero Con Almacenamiento de CO <sub>2</sub> (Ha)	11.31	6.97	3.85
Almacenamiento de CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	368,989	276,515	232,791
Tasa de Captación de CO <sub>2</sub> (kg/h/100m <sup>2</sup> )	0.12-0.24	0.25-0.35	0.5-0.6

Ramonet et al. (2022)

# Comparación de cálculos

## Invernadero parcialmente abierto

Cálculo Simplificado (Ha)		Cálculo Detallado (Ha)			
Tasa Alta	Tasa Baja	Vidrio Estándar		Doble Polietileno	
		Sin Almacenamiento de CO <sub>2</sub>	Con Almacenamiento de CO <sub>2</sub>	Sin Almacenamiento de CO <sub>2</sub>	Con Almacenamiento de CO <sub>2</sub>
<b>2.39</b>	<b>4.78</b>	<b>4.8</b>	<b>7</b>	<b>2.81</b>	<b>3.85</b>



Figure from islandgrower.com

## Invernadero completamente cerrado

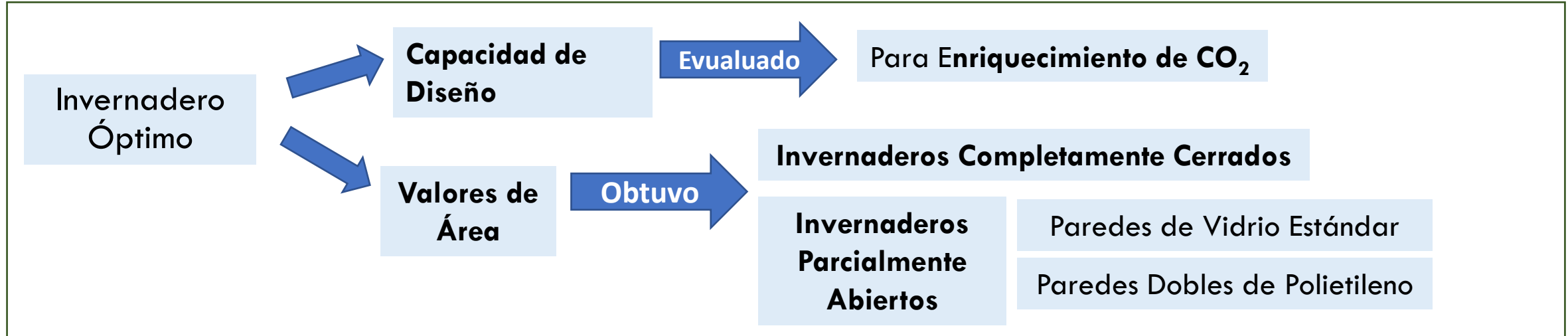
Cálculo Simplificado (Ha)		Cálculo Detallado (Ha)	
Tasa Alta	Tasa Baja	Sin Almacenamiento de CO <sub>2</sub>	Con Almacenamiento de CO <sub>2</sub>
9	18	7	11



Figure from ag.umass.edu

Ramonet et al. (2022)





- Los métodos simplificados permiten cuantificar el potencial de enriquecimiento de CO<sub>2</sub> en invernaderos para la agricultura en invernadero.
- Otro uso del subproducto CO<sub>2</sub> de la planta de biometano de Bruck an der Leitha es el cultivo de algas.

# Desarrollo de un Modelo para la Implementación de la Economía Circular en Regiones Costeras Desérticas

Fernando Ramonet, Mayuki Cabrera-Gonzalez,  
Michael Harasek

Universidad Técnica de Viena (TU Wien)

Instituto de Ingeniería Química, Ambiental y Biociencia

I Congreso Internacional de Biotecnología Ambiental y Economía Circular - 2022

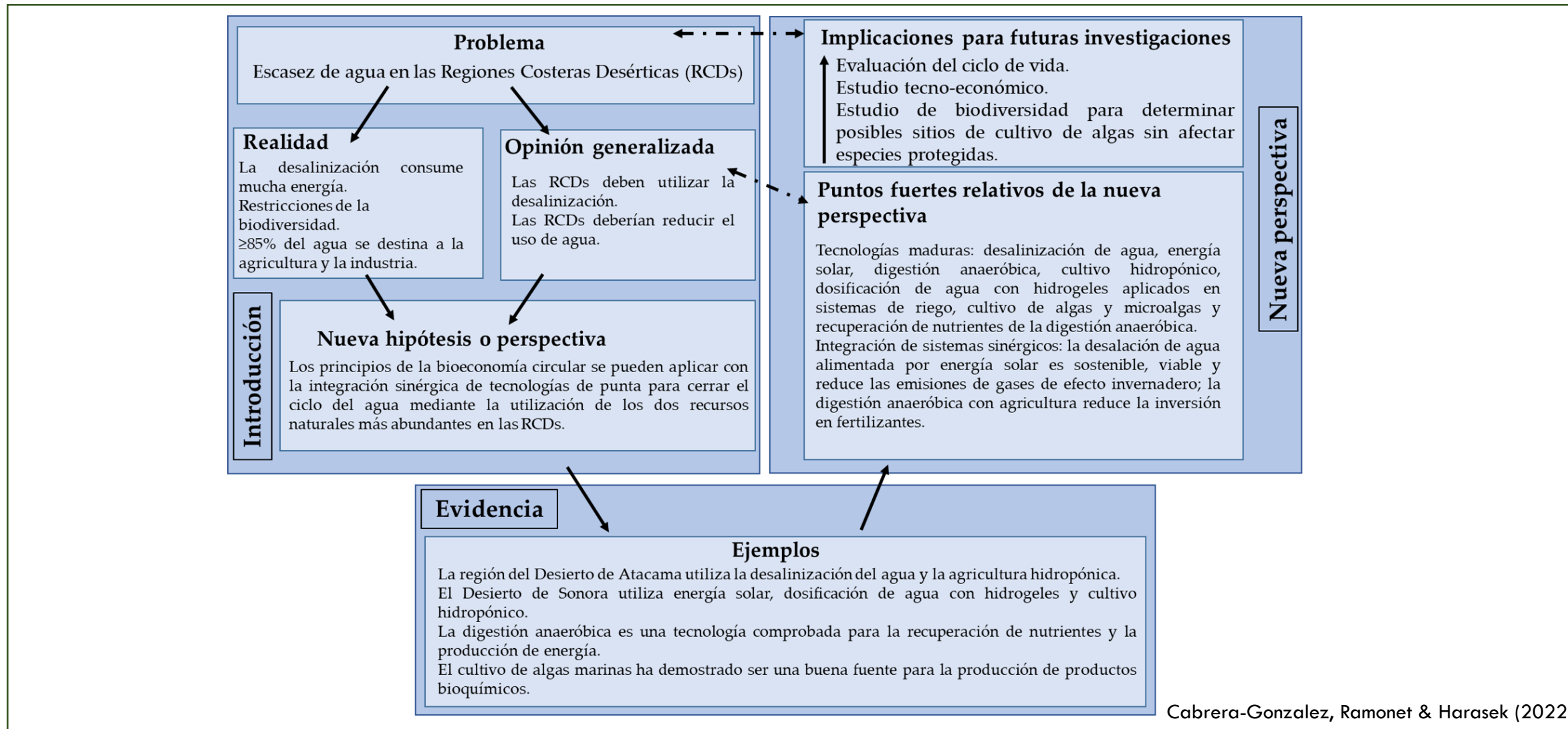
6-7 Diciembre 2022. Lima, Peru.



Figura extraída de [www.nationalgeographic.com.es](http://www.nationalgeographic.com.es)

Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)

# Esquema del proceso seguido en esta investigación



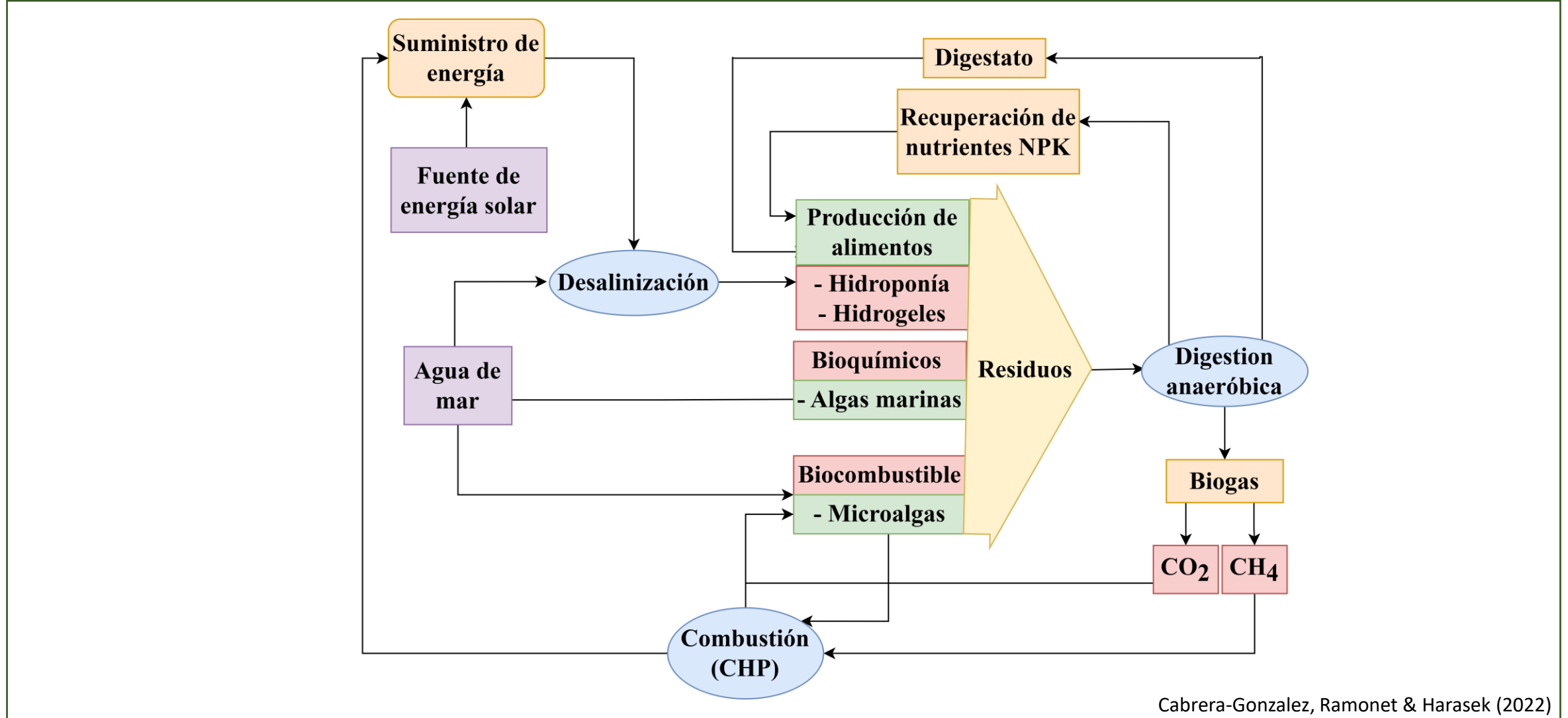
Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)

La Economía Circular (EC) es un cambiador de paradigma de los actuales sistemas de producción lineal. Para lograr grandes avances, es necesario aprovechar pequeños cambios en las perspectivas (Boardman y Sauser, 2008).

El concepto de EC fue introducido por primera vez por Pearce y Turner (1990) al explicar la interdependencia entre el medio ambiente y la economía en su libro. Entre las diferentes definiciones de CE, las siguientes dos ejemplifican su contexto.

La EC se puede definir como “un sistema económico que reemplaza el concepto de ‘fin de vida’ por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción, distribución y consumo” (Rigamonti y Mancini, 2021).

La Fundación Ellen Macarthur define la EC como “un nuevo modelo económico que es restaurativo o regenerativo por diseño y se enfoca en los desafíos relacionados con los recursos para las economías y las empresas”. En la EC, el ciclo de vida debe estar bien planificado para eliminar los residuos utilizándolos como materia prima o recirculando.



Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)

# Desalinización de Agua

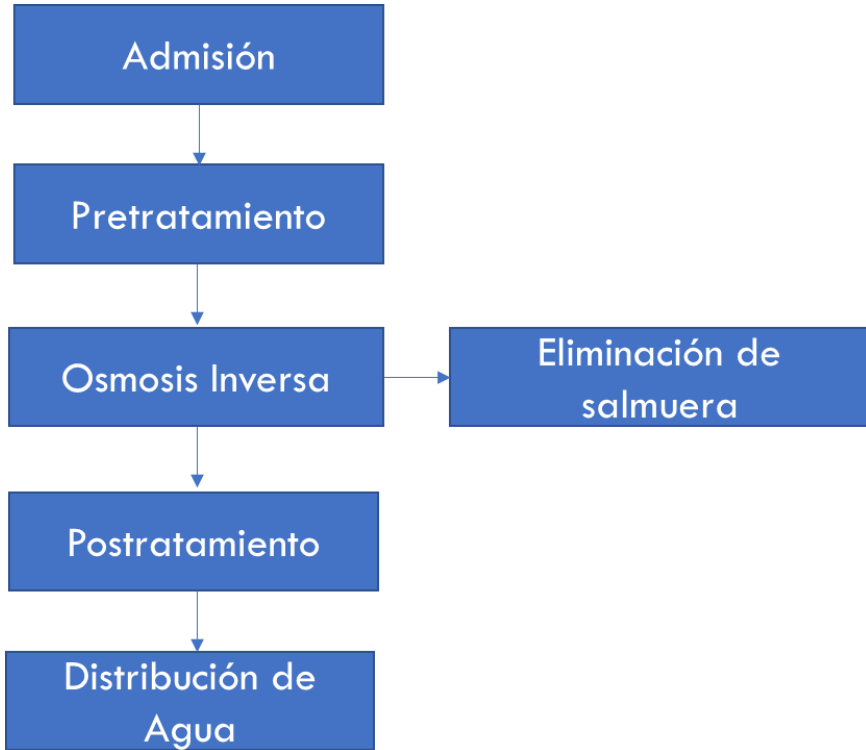


Diagrama de flujo de desalinización de agua



(A)

(A) Planta desaladora en Antofagasta, Chile. (B) Planta desalinizadora en Guaymas, Sonora, México.



(B)

Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)

# Energía Solar

Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)



Parque Solar Bolero, Sierra Gorda, Antofagasta, Chile

En el estado de Sonora se encuentra en construcción la octava planta solar más grande del mundo, con 240 hectáreas, que cosechará 1,000 MWh. Si solo el 1% de la tierra de Sonora se usara para proyectos solares, podría proporcionar suficiente energía para abastecer a todo México (Arancibia-Bulnes et al., 2014).



patrimonio.turistics.com/mexicano.wordpress.com/sonora



# Sistemas hidropónicos para la producción de alimentos

Sistemas hidropónicos: sistemas agrícolas sin suelo que cultivan plantas en agua con nutrientes minerales.

Ventajas: el consumo limitado de agua, la necesidad limitada de pesticidas y la falta de uso de labranza.

Sistema completamente controlado en términos de suministro de nutrientes, temperatura, luz, humedad y concentración de dióxido de carbono.

Figura extraída de De Anda & Shear (2017)



Producción de lechuga usando un arreglo hidropónico vertical en Yucatán, México



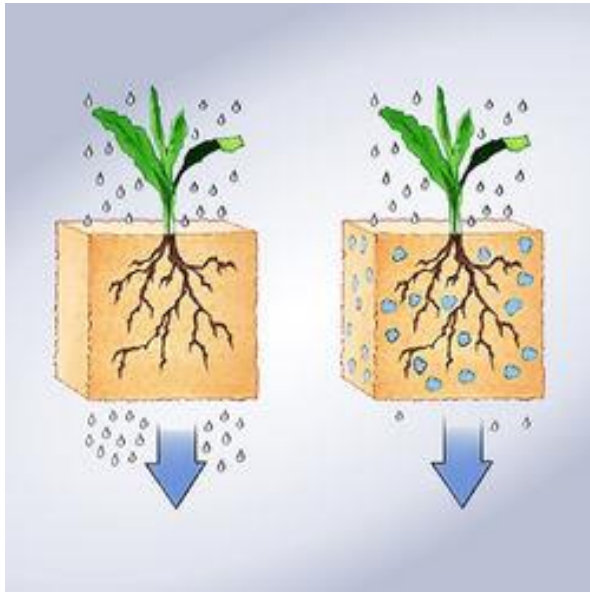
Sistema hidropónico de pimienta morrón, Alto la Portada, Antofagasta, Chile.

Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)



# Dosificación de Agua con Hidrogeles para Agricultura

La aparición de polímeros hidrófilos a base de poliacrilamida se produjo en la década de 1950 en los Estados Unidos de América. A lo largo de los años, su capacidad de hidratación ha mejorado de 20 a 400 veces su peso (Freitas-Azevedo et al., 2002)



Figuras extraídas de [greenforestmexico.com/hidrogel-agricola](http://greenforestmexico.com/hidrogel-agricola)



Figuras extraídas de [eficagua.cl/hidrogeles-como-se-aplican](http://eficagua.cl/hidrogeles-como-se-aplican)

Los hidrogeles son mejoradores del rendimiento y acondicionadores del suelo, que pueden retener nutrientes y agua y luego liberarlos durante un período prolongado (Michalik & Wandzik, 2020).

## Cultivo de microalgas como biomasa y cultivo para el suministro de productos bioquímicos



Figura extraída de [globalseafood.org/advocate/farming-algal-fuel-economics-challenge-process-potential](http://globalseafood.org/advocate/farming-algal-fuel-economics-challenge-process-potential)



Figura extraída de [wiki.opensourceecology.org/wiki/Photobioreactor](http://wiki.opensourceecology.org/wiki/Photobioreactor)

Según el proyecto AlgaHealth, se necesita la agricultura oceánica en el desierto para suministrar todos los suplementos dietéticos necesarios. Sin embargo, se ha encontrado una falta de investigación sobre este tema.



Figura extraída de Zamroni (2021)

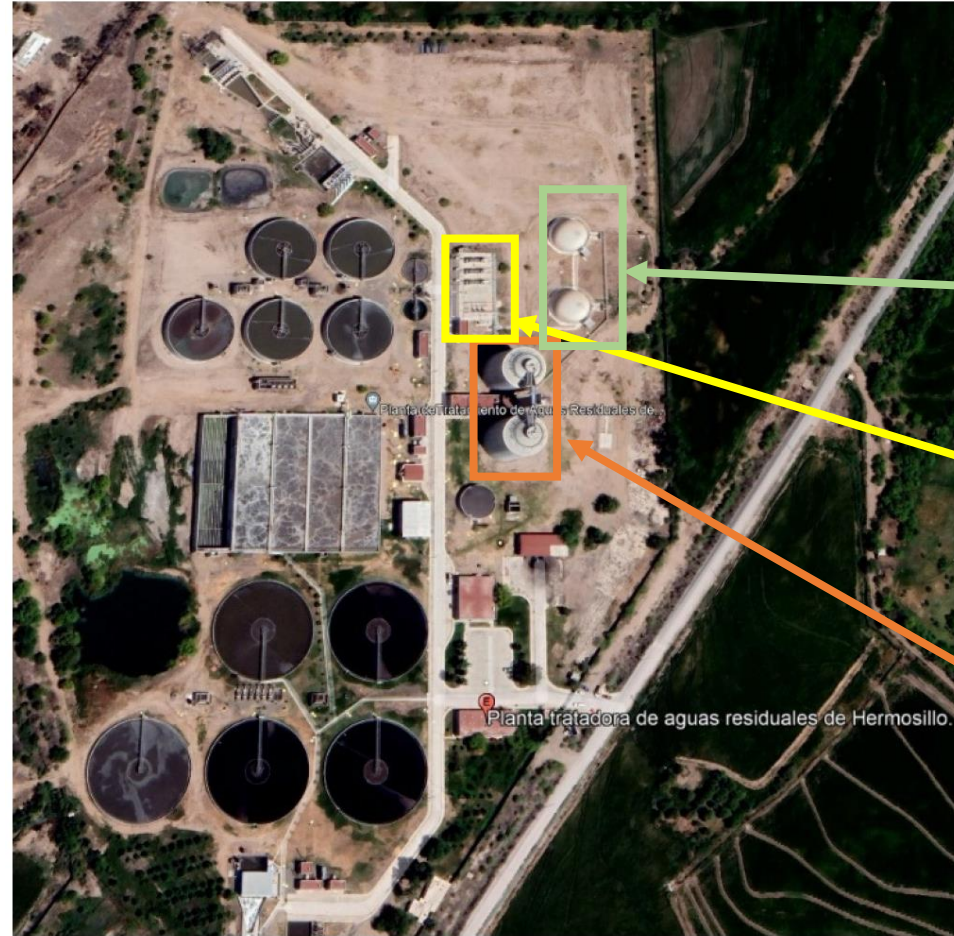


Figura extraída de [globalseafood.org/advocate/kelp-is-the-climate-friendly-crop-that-could](https://globalseafood.org/advocate/kelp-is-the-climate-friendly-crop-that-could)

En el caso de México, el gobierno federal ha manifestado su interés por desarrollar Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) integradas con digestión anaerobia para producir y utilizar su propia energía para disminuir los costos operativos.

Un ejemplo de esto es la PTAR de Hermosillo, que cuenta con:

- 2 digestores anaerobios de 12,000 m<sup>3</sup>,
- 3 unidades combinadas de calor y electricidad de 874 kW (dos en operación y una en stand-by) y
- 2 tanques de almacenamiento de 2,150 m<sup>3</sup>.



Figuras extraídas de Agencia Danesa de Energía (2019)

Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)

## Recuperación de nutrientes de tratamiento de aguas residuales y digestión anaeróbica

Las tecnologías de recuperación de nutrientes se pueden dividir en bajo consumo de energía y alto consumo de energía.

La formación de estruvita y la extracción de amoníaco son dos tecnologías fáciles de operar que, en comparación con las tecnologías de membrana, se pueden implementar a un bajo costo de energía (Shi et al., 2021).

La destilación por membrana, la electrodiálisis, la ósmosis inversa y la nanofiltración son tecnologías eficaces de recuperación de nutrientes, pero su funcionamiento a largo plazo está limitado por el encrustamiento (ensuciamiento) de la membrana (Shi et al., 2021).

En el estado de Sonora, hay ejemplos de uso eficiente de los recursos naturales, como la planta de tratamiento de aguas residuales que funciona con energía solar que sirve a la ciudad de Nogales con una capacidad instalada de 220 litros de aguas residuales por segundo (Navarro, 2016).

Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)



Planta de tratamiento de agua alimentada por energía solar en Nogales, México



Planta de tratamiento de agua con producción de biogas en Hermosillo, México



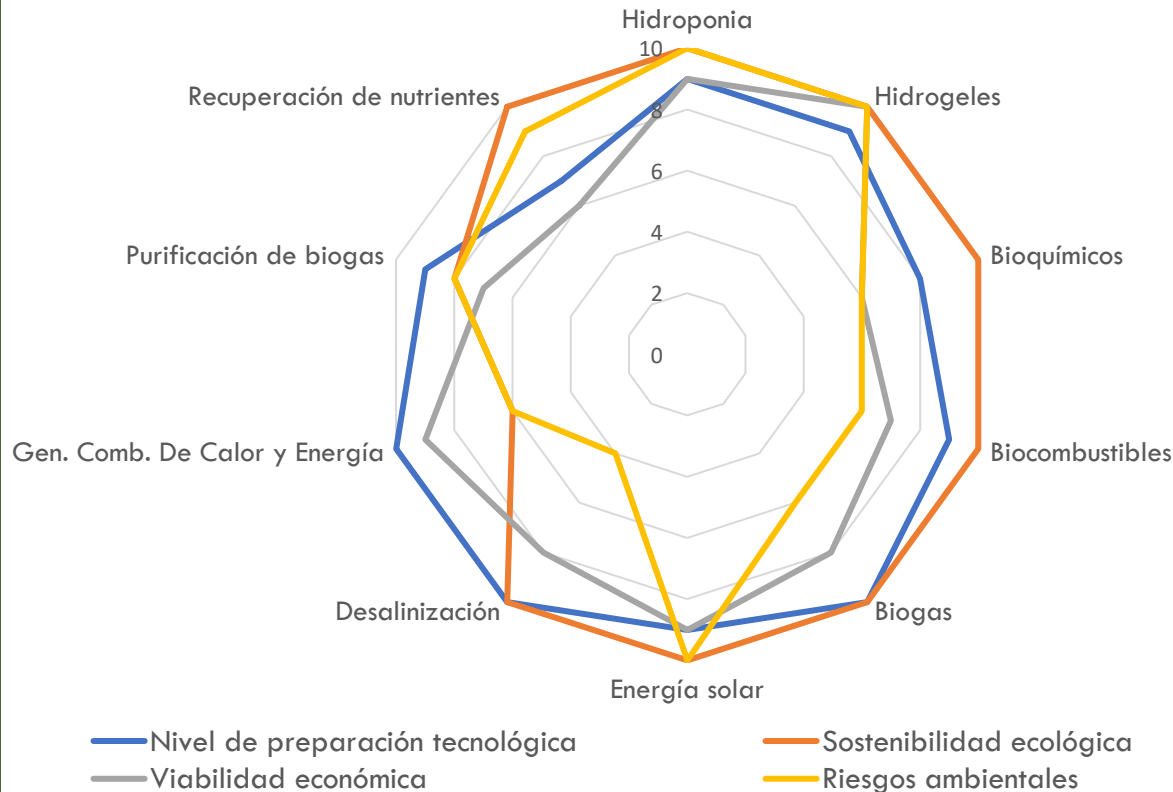
Sistema hidropónico con agua desalinizada, Alto la Portada, Antofagasta, Chile.



Irrigación con hidrogeles

Figura extraída de [portalfiticultora.com/noticias/2017/10/04/...](http://portalfiticultora.com/noticias/2017/10/04/)

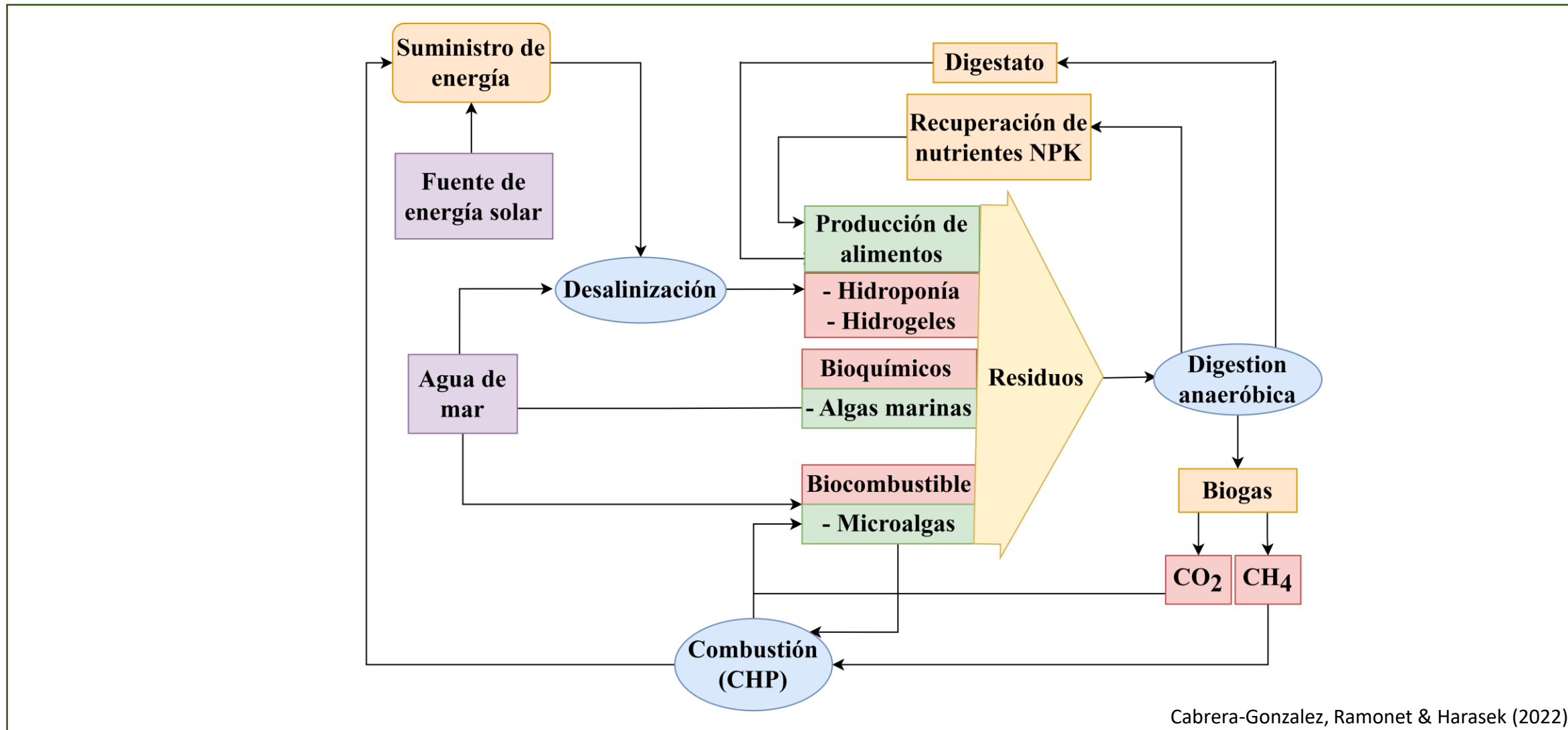
## Evaluación de atributos



Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)

De acuerdo con Corvellec, Stowell y Johansson (2022), un modelo de economía circular debe rendir cuentas de sus logros y deficiencias; por lo tanto, la viabilidad de implementar las tecnologías propuestas debe abordarse en relación con los riesgos ambientales, la sostenibilidad ecológica, la viabilidad económica y el nivel de preparación de la tecnología.

Las organizaciones internacionales, los gobiernos, los inversores y las empresas deben trabajar juntos para la implementación de este modelo.



Cabrera-Gonzalez, Ramonet & Harasek (2022)



- Se ha propuesto un modelo de economía circular para el desarrollo de las regiones desérticas costeras complementando las condiciones y experiencias del Desierto de Atacama y el Desierto de Sonora.
- La integración de la desalinización y la agricultura hidropónica, la energía solar y el tratamiento de aguas residuales, el tratamiento de aguas residuales y la producción de biogás, y los hidrogeles y el riego ya son una realidad en el Desierto de Atacama y el Desierto de Sonora. El cultivo de macroalgas en alta mar, la producción de microalgas y la recuperación de nutrientes son los componentes faltantes necesarios para la implementación del modelo propuesto.
- Se necesitan estudios para garantizar la sostenibilidad ambiental, social y económica antes de implementar la prueba piloto. Dentro de estos estudios, se recomienda la evaluación del ciclo de vida, el análisis tecno-económico y un estudio de biodiversidad para garantizar el despliegue de este modelo sin dañar el medio ambiente ni las especies protegidas.

- Ramonet, F., Jordan, C., Haddadi, B., & Harasek, M. (2022). Anaerobic Digestion as a Carbon Capture, Storage, and Utilization Technology. *Chemical Engineering Transactions*, 96, 49-54.
- Cabrera-González, M., Ramonet, F., & Harasek, M. (2022). Development of a Model for the Implementation of the Circular Economy in Desert Coastal Regions. *Land*, 11(9), 1506.



**1<sup>er</sup> Congreso Internacional de  
Biotecnología Ambiental y  
Economía Circular - 2022**

**Lima, Perú. 6 de Diciembre 2022**



**Fernando Ramonet**

[fernando.ramonet@tuwien.ac.at](mailto:fernando.ramonet@tuwien.ac.at)

[AgRefine.eu](https://AgRefine.eu)

[TUWien.at/tch/icebe](https://TUWien.at/tch/icebe)

**¡Gracias por su atención!**



**Universidad César Vallejo**

