



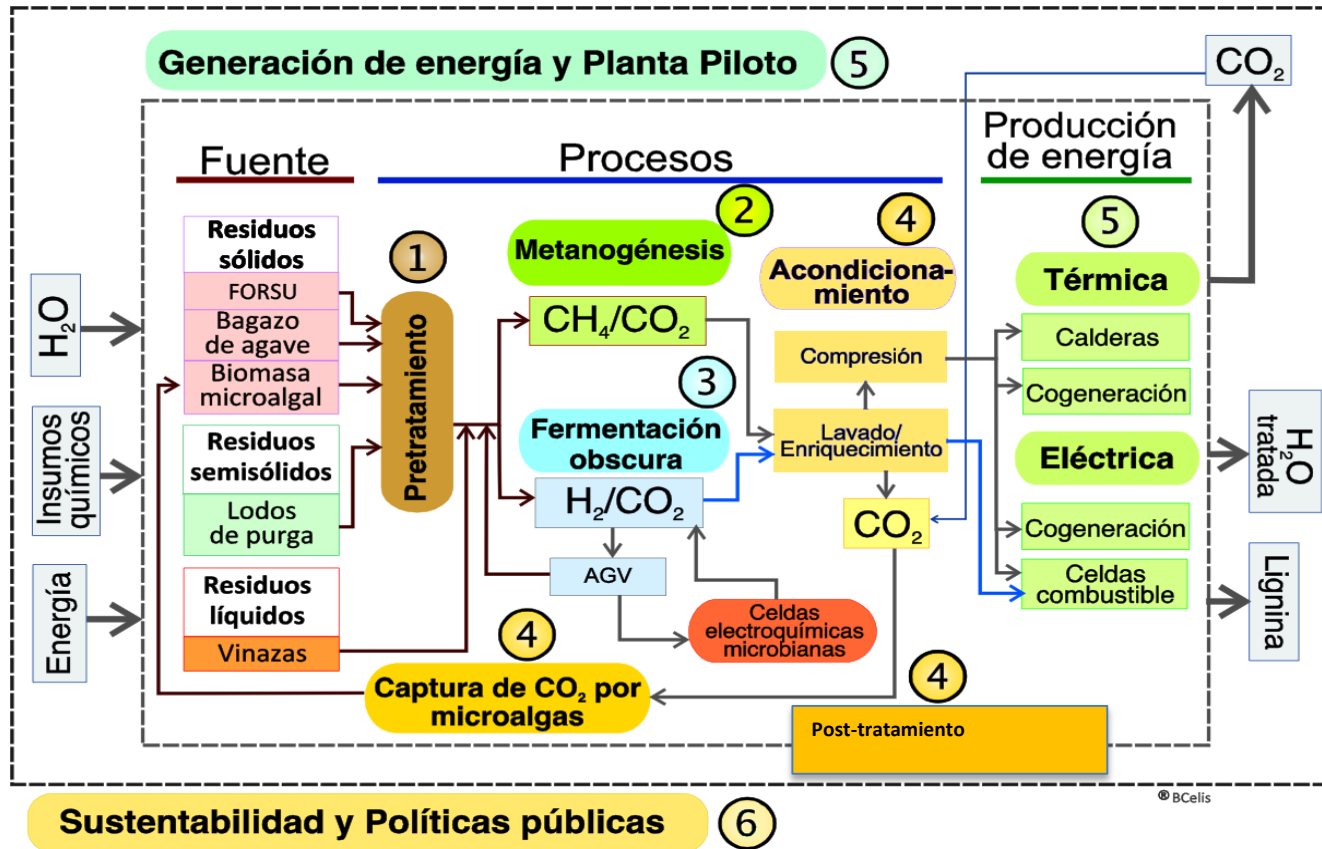
**CLÚSTER**  
**BIOCOMBUSTIBLES GASEOSOS**

---

**CAPTURA DE CO<sub>2</sub> Y ACONDICIONAMIENTO DE BIOGÁS**

**Dra. Marcia G. Morales Ibarría**  
UAM-Cuajimalpa

# Post-tratamiento y acondicionamiento de corrientes gaseosas



Desarrollar un prototipo con **base biotecnológica** para la **depuración de biogás** y **reducción de gases de combustión** con el uso de microalgas - bacterias - adsorbentes e integrar esta etapa a través de sistemas de **acondicionamiento y almacenamiento** al proceso de producción de energía.



# Composición de biogás

**La composición del biogás depende del estado de oxidación de la materia orgánica y tipo de proceso**

Composición	Gas de vertedero	Digestores
CH <sub>4</sub>	35-65	53-70
CO <sub>2</sub>	15-50	30-47
N <sub>2</sub>	5-40	0-3
O <sub>2</sub>	0-5	0-1
H <sub>2</sub>	0-3	-
CO	0-3	-
H <sub>2</sub> S	0-100 ppmv	0-10,000 ppmv
NH <sub>3</sub>	0-5 ppmv	0-100 ppmv
Siloxano	0-5 mg m <sup>-3</sup>	0-41 mg m <sup>-3</sup>
Halocarbonados	20-200 ppmv	-
COVs	0-4500 mg m <sup>-3</sup>	0-200 mg m <sup>-3</sup>

CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ↓  
**Disminución poder calorífico**

O<sub>2</sub> ↓ **Aumento riesgo explosión**

CO, H<sub>2</sub> ↓ **Disminución de CH<sub>4</sub>**

H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, HC ↓  
**Corrosión en tuberías, compresores y motores**

Siloxanos ↓  
**Formación de óxidos silicio, obturación de tuberías y motores**



# Depuración de biogás

Vertedero

Depuradoras

FORSU

R. agroindustriales



## Biogás

Caldera

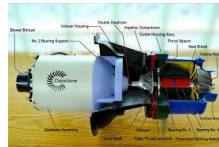
Moto-generator

Microturbinas

Vehiculos

Redes de Gas natural

Celdas de combustible



## Necesidad de depuración

### Combustible de Motogenerador

PCI >5 kWh/Nm<sup>3</sup>  
 H<sub>2</sub>S <0.05%/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>  
 NH<sub>3</sub> <30 mg/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>  
 Humedad relativa <80%  
 Presión >20 mbar

### Combustible de vehículos

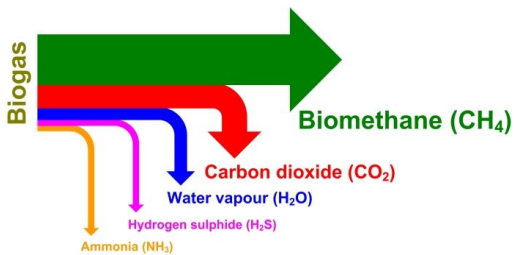
CH<sub>4</sub> >96%, CO<sub>2</sub> <3%, O<sub>2</sub> <1%  
 H<sub>2</sub>S <23 ppb  
 H<sub>2</sub>O <32 ppb

### Red de gas natural

CH<sub>4</sub> >96%, O<sub>2</sub> <0.5%  
 H<sub>2</sub>S <0.5 ppb  
 H<sub>2</sub>O <32 ppb

### Biogas para FC

Reformado catalítico para  
 convertir CH<sub>4</sub> en H<sub>2</sub>  
 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O, CO, NH<sub>3</sub> y  
 halógenos contaminan la FC



## Acondicionamiento de biogás

Desulfuración  
 Presurización  
 Trampa de condensados  
 Depuración (en caso de aprovechamientos distintos a co-generación)

221 plantas depuradoras de biogás  
 96% Alemania  
 41% Lavado de gases

Baurer et al., 2013

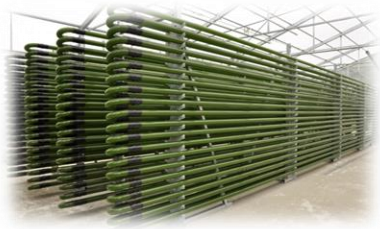
1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a la energía de 0.65 m<sup>3</sup> de gas natural y puede llegar a producir 2.1 kWh de energía eléctrica renovable



# Alternativas de tratamiento



## Físico-Químicas



## Biológicas

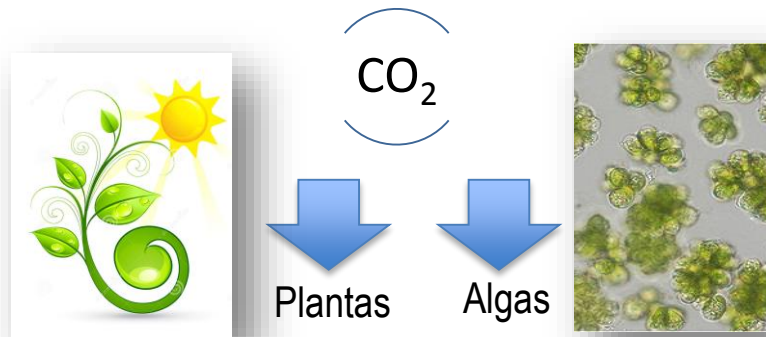
▪ **Evolutiva**, fueron los primeros organismos en realizar la fotosíntesis oxigénica y ayudaron a constituir la atmósfera de la Tierra

▪ **Ecológica**, debido a que realizan procesos importantes para mantener el equilibrio en la biósfera como:

- ✓ La producción de oxígeno
- ✓ La fijación de carbono y de nitrógeno

## Ventajas alternativas biológicas

- Bajo Impacto Ambiental
- Reducción de costos
- Aprovechamiento de biomasa o producción de sustancias de valor agregado.



Las microalgas crecen más rápido que las plantas y su eficiencia de fijación de CO<sub>2</sub> es entre 10-50 veces mayor.

Costa et al., 2000

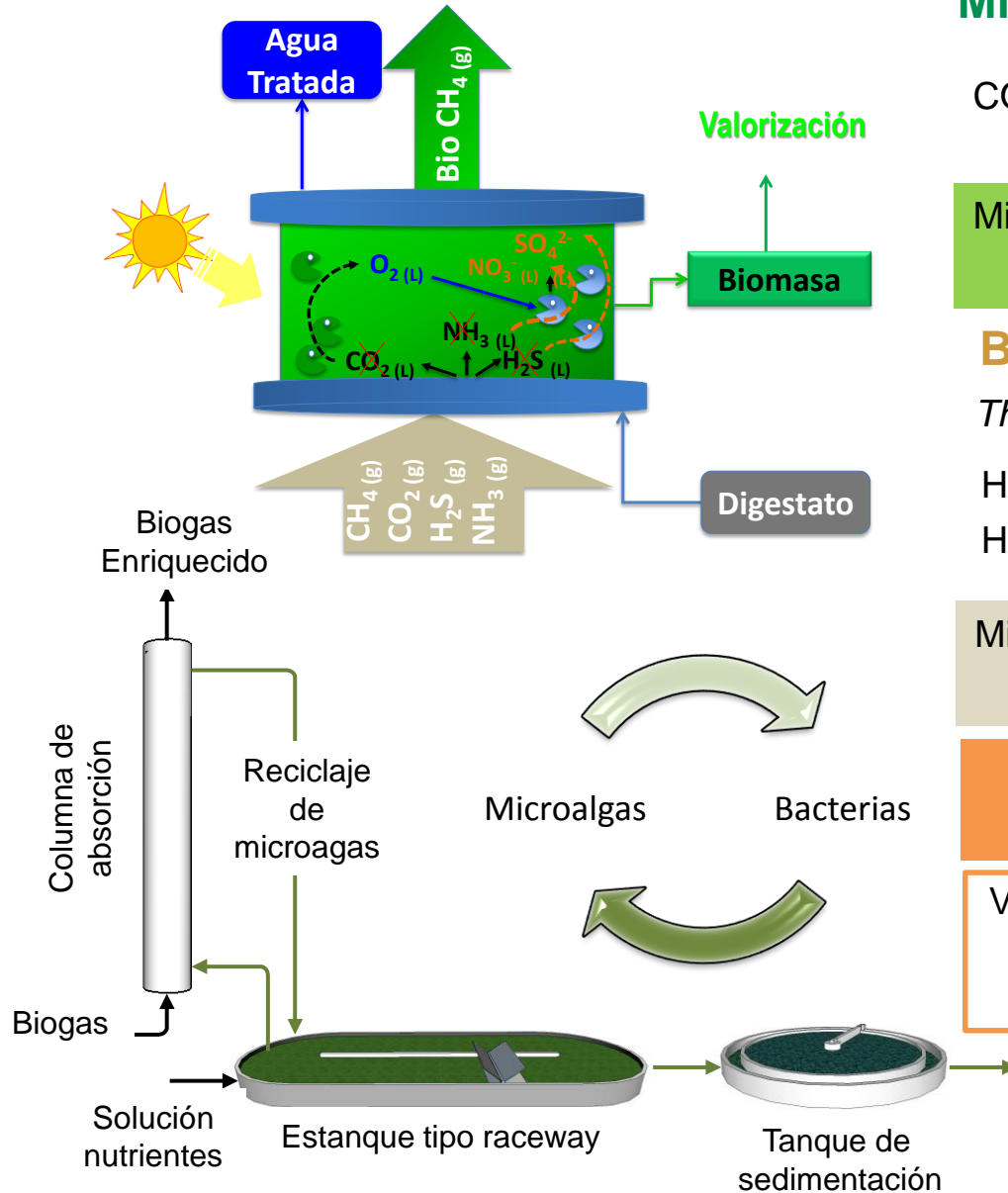
**45-50% del oxígeno en la Tierra se produce a partir de las microalgas en los océanos\***

**50% del CO<sub>2</sub> se fija por la fotosíntesis de las microalgas\***

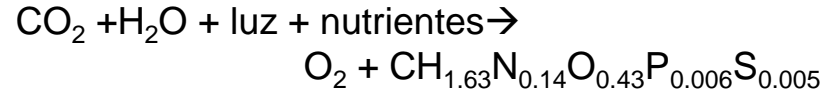
La contribución para la fijación de CO<sub>2</sub> de las plantas es sólo entre 3-6%\*\*



# Depuración de biogás



## Microalgas

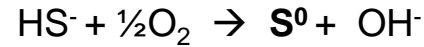
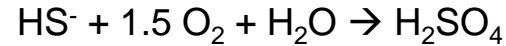


Microorganismos fotoautótrofos:

Luz fuente de energía, CO<sub>2</sub> fuente de carbono

## Bacterias-sulfoxidantes

*Thiobacillus thiooxidans*



Microorganismos litoautótrofos:

H<sub>2</sub>S fuente de energía, CO<sub>2</sub> fuente de carbono

Eliminación simultánea de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S  
 Baja concentración de O<sub>2</sub>

Velocidades de Asimilación: 36-45 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>  
 Consumos Energéticos: 0.5-3 W m<sup>-3</sup>  
 [CH<sub>4</sub>] > 95 %



# Gases de combustión

- ❖ El sector de energía eléctrica involucra la generación, transmisión y distribución de electricidad. El CO<sub>2</sub> constituye una porción importante de las emisiones de GEI. Estos gases se liberan durante la combustión de combustibles como carbón y gas natural para producir electricidad.
- ❖ En 2013, en el sector energético, la producción de energía eléctrica fue la mayor fuente de emisiones de GEI de U.S. contribuyendo con 31% de las emisiones totales y en México la contribución es de 39%.

## CLIMATE PROFILE: MEXICO

### GHG EMISSIONS: (Mt CO<sub>2</sub>eq.)

2011–Including LUCF  
**723.19 Mt CO<sub>2</sub>eq**

Mexico ranks as the **second largest emitter in Latin America and the Caribbean** and the 10th largest globally.

### TOP THREE SOURCES:

Energy\*  
**67%**

Waste  
**15%**

Agriculture  
**9%**

\* includes transportation

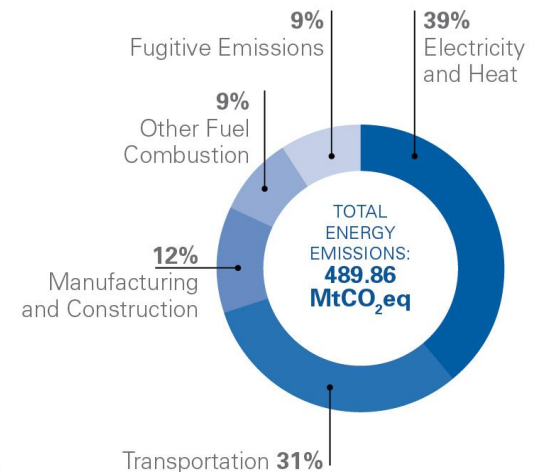
### CLIMATE CHANGE MITIGATION PLEDGES: (Voluntary)

Reduce emissions **30 percent by 2020** compared to a 2000 business as usual baseline.

Further emission reductions of **50 percent by 2050**.

**35 percent non-fossil fuel generation by 2024** (includes large hydro and nuclear).

### SOURCES OF ENERGY EMISSIONS



- ❖ La composición de los gases de combustión varían y dependen fuertemente de la calidad del combustible usado así como de la técnica de combustión.
- ❖ Rango de concentración de CO<sub>2</sub> entre 3-25%
- ❖ Otros compuestos principales de los gases de combustión son SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> que tienen efectos ambientales (lluvia ácida-smog-ozono) por los otros componentes

**Table 2.1** Properties of candidate gas streams that can be inputted to a capture process (Sources: Campbell et al., 2000; Gielen and Moriguchi, 2003; Foster Wheeler, 1998; IEA GHG, 1999; IEA GHG, 2002a).

Source	CO <sub>2</sub> concentration % vol (dry)	Pressure of gas stream MPa <sup>a</sup>	CO <sub>2</sub> partial pressure MPa
<b>CO<sub>2</sub> from fuel combustion</b>			
• Power station flue gas:			
Natural gas fired boilers	7 - 10	0.1	0.007 - 0.010
Gas turbines	3 - 4	0.1	0.003 - 0.004
Oil fired boilers	11 - 13	0.1	0.011 - 0.013
Coal fired boilers	12 - 14	0.1	0.012 - 0.014
IGCC <sup>b</sup> : after combustion	12 - 14	0.1	0.012 - 0.014
• Oil refinery and petrochemical plant fired heaters	8	0.1	0.008
<b>CO<sub>2</sub> from chemical transformations + fuel combustion</b>			
• Blast furnace gas:			
Before combustion <sup>c</sup>	20	0.2 - 0.3	0.040 - 0.060
After combustion	27	0.1	0.027
• Cement kiln off-gas	14 - 33	0.1	0.014 - 0.033
<b>CO<sub>2</sub> from chemical transformations before combustion</b>			
• IGCC: synthesis gas after gasification	8 - 20	2 - 7	0.16 - 1.4

<sup>a</sup> 0.1 MPa = 1 bar.

<sup>b</sup> IGCC: Integrated gasification combined cycle.

<sup>c</sup> Blast furnace gas also contains significant amounts of carbon monoxide that could be converted to CO<sub>2</sub> using the so-called shift reaction.





# Emisiones de CO<sub>2</sub>

Vertedero

Depuradoras

FORSU

R. agroindustriales



**Biogás**

Caldera

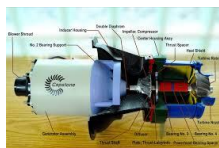
Moto-generator

Microturbinas

Vehiculos

Redes de Gas natural

Celdas de combustible



## Emisiones de CO<sub>2</sub>

Motores de combustión interna.		
Combustible	Diesel	Biogás 60%, Diesel 40%
	Otto	100% Biogás
Tamaño	5 kW-5 MW	
Eficiencia (%)	30-45	
Emisiones (kg/MWh)	CO <sub>2</sub>	590-800
	NO <sub>x</sub>	4.5-18.6
	SO <sub>2</sub>	0.18-1.36
	CO	0.18-4
	Disponibilidad (%)	90-95
Tiempo de arranque	10	
Superficie (m <sup>2</sup> /kW)	0.003-0.03	

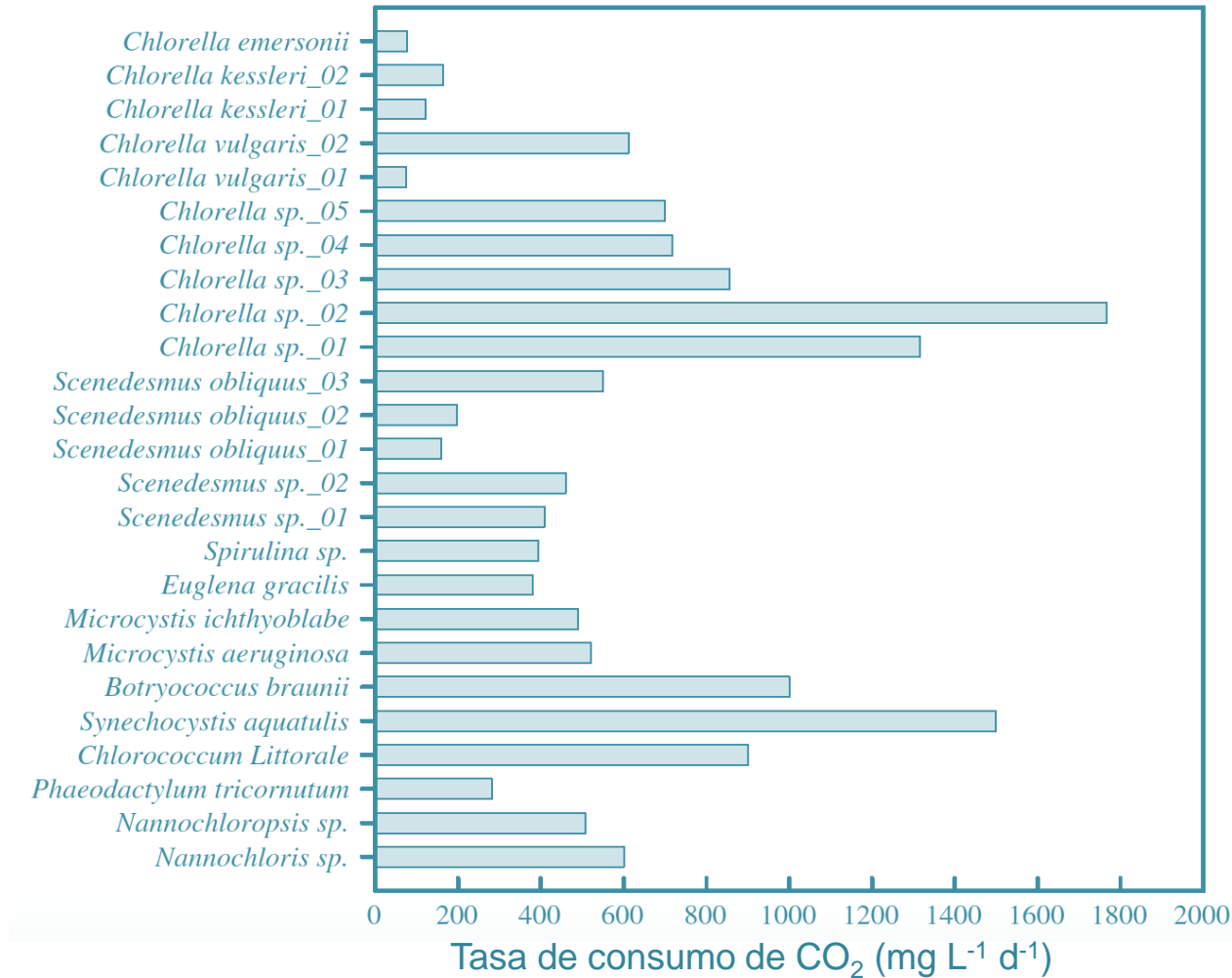
Microturbinas		
Combustible	100% Biogás	
Tamaño	20-500 kW	
Eficiencia (%)	20-30	
Emisiones (kg/MWh)	CO <sub>2</sub>	590-800
	NO <sub>x</sub>	0.09-0.64
	SO <sub>2</sub>	despreciable
	CO	0.14-0.82
Disponibilidad (%)	90-98	
Tiempo de arranque	60	
Superficie (m <sup>2</sup> /kW)	0.025-0.065	

Celdas de hidrógeno alta temperatura		
Combustible	100% Biogás	
Tamaño (MW)	Baja Temp.	1 kW-200 kW
	Alta Temp.	1 kW-10 MW
Eficiencia (%)	30-50	
Emisiones (kg/MWh)	CO <sub>2</sub>	360-630
	NO <sub>x</sub>	<0.023
	SO <sub>2</sub>	0
	CO	0.005-0.055
	Disponibilidad (%)	Superior al 95
Tiempo de arranque	3-48 h	
Superficie (m <sup>2</sup> /kW)	0.06-0.11	

Emisiones de CO<sub>2</sub> 590-800 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>



# Captura de CO<sub>2</sub> por microalgas



La tasa de fijación de CO<sub>2</sub> de las microalgas tiende a ser baja en comparación con los métodos fisicoquímicos (Lee, 2001; Suh y Lee, 2003).



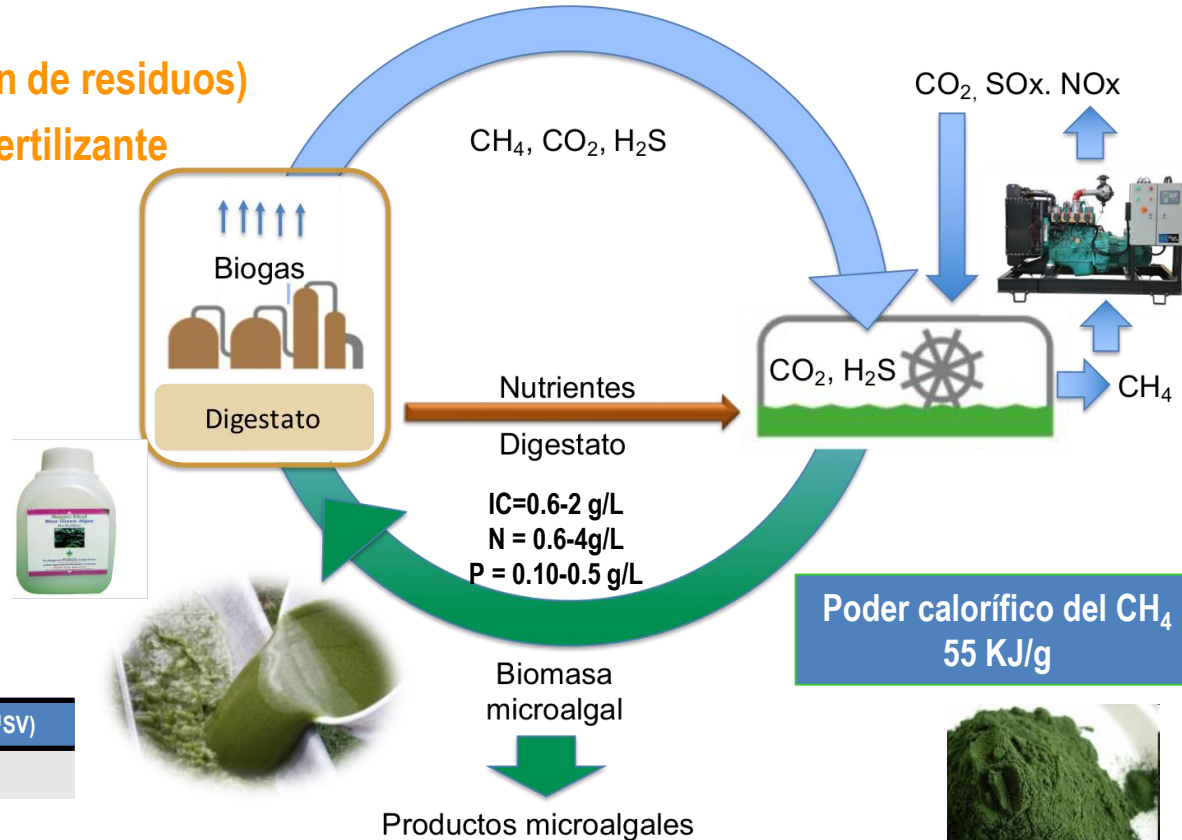
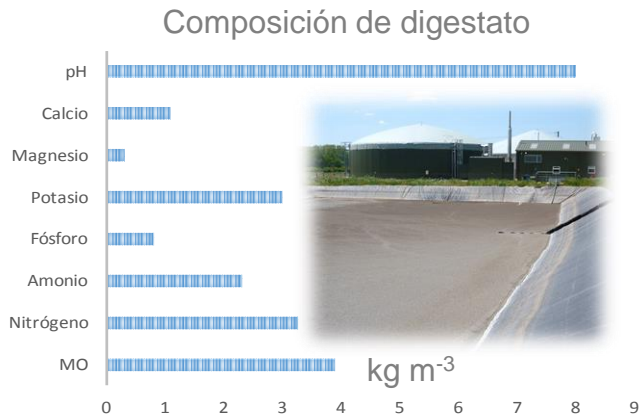
## Características de crecimiento y fijación de CO<sub>2</sub> de las cepas microalgales bajo diferentes concentraciones, temperaturas y contenidos de NO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub>

Especies microalgas	CO <sub>2</sub> (%)	Temperatura (°C)	NO <sub>x</sub> /SO <sub>x</sub>	Productividad biomasa (mg/L/d)	Consumo de CO <sub>2</sub> (mg/L/d)
<i>Chlorella sp.</i>	15	25	0/60	1000	1880 <sup>a</sup>
<i>Chlorella sp.</i>	20	40	–	700	1316 <sup>a</sup>
<i>Chlorella sp.</i>	50	25	–	500	940 <sup>a</sup>
<i>Chlorella sp.</i>	50	25	–	386	725 <sup>a</sup>
<i>Chlorella sp.</i>	50	35	60/20	950	1790
<i>Chlorogleopsis sp.</i>	5	50	–	40	20.45
<i>Hot spring algae</i>	15	50	–	266.7	501.3 <sup>a</sup>
<i>Nannochloris sp.</i>	15	25	0/50	350	658
<i>Nannochloropsis sp.</i>	15	25	0/50	300	564

# Reutilización de biomasa microalgal

## Uso digestato (nutrientes, minimización de residuos)

## Biomasa microalgal para biogás o biofertilizante



Sustratos para producción de biogás	Rendimiento CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> SV)
Residuos sólidos municipales	0.20-0.53
Residuos frutas y verduras	0.42
Estiércol	0.34
Rastrojo de maíz y trigo	0.31
<b>Microalgas</b>	<b>0.26</b>
Residuos orgánicos ricos en lignina	0.20

Productos	Precio (USD)	Mercado (USD x 10 <sup>6</sup> año)
Biomasa para humanos	50 por kg	1250-3800
Alimentos acuicultura	70 por L, >160 por kg	~700
β - caroteno	30-300 por kg	>280
Astaxantina	2,500-10,000 por kg	150-200
PUFA	60 por kg	~1530
Ficobiliproteínas	3.25-17 por mg	12-50

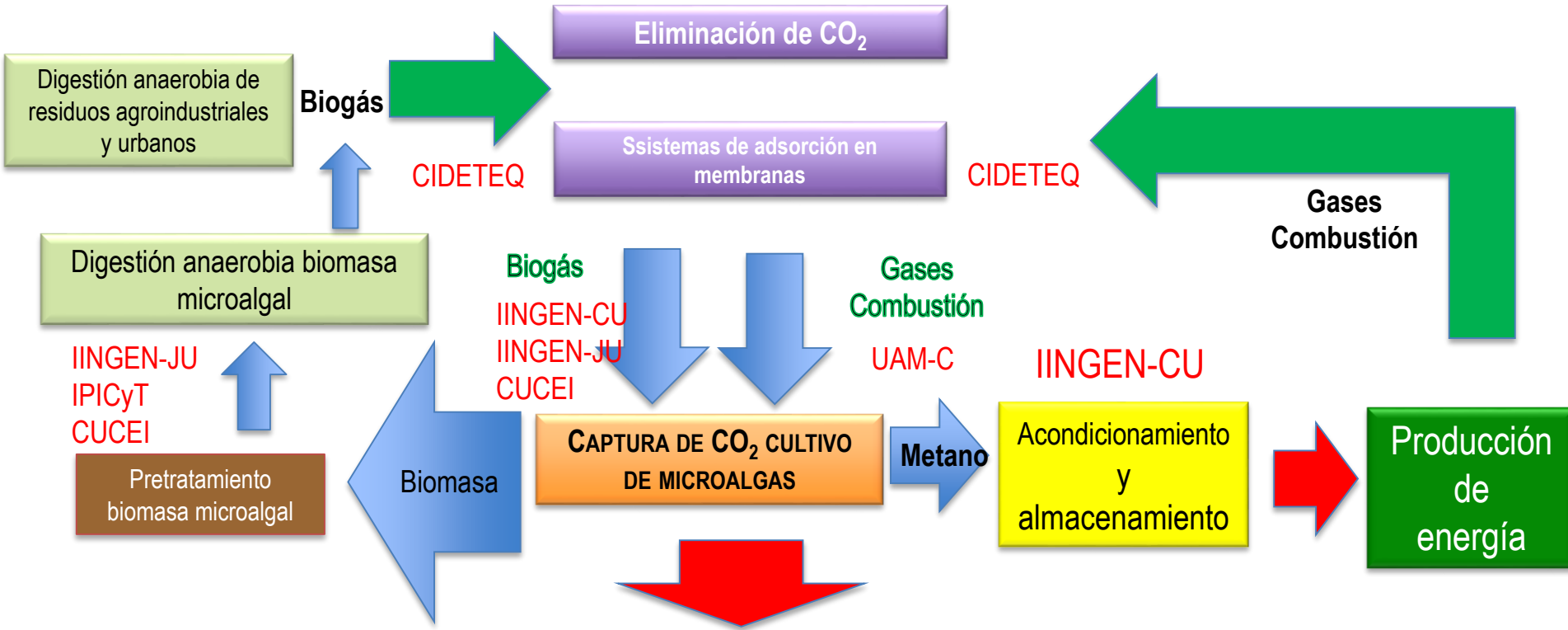
Poder calorífico biomasa microalgal  
 20-27 KJ/g

- ❖ Primer reporte digestión anaerobia microalga: Golueke (1957)
- ❖ Rendimientos menores que para otros sustratos orgánicos
- ❖ Mayor resistencia al ataque microbiano por la presencia de pared celular, necesidad de pretratamientos



# Diagrama conceptual

Sistemas fisicoquímicos y microalgales para la depuración y acondicionamiento de biogás, reducción de gases de combustión y para la generación de biomasa valorizable como biocombustible



Depuración de biogás (mejora procesos de obtención de energía)  
 Reutilización de corrientes de proceso (Gases de combustión, digestato, biomasa microalgal)  
 Contribuir a un proceso sustentable



# Esquemas de trabajo

## BIOGÁS Y DIGESTATOS DEL PROCESAMIENTO DE VINAZAS DE INDUSTRIA TEQUILERA Y VITIVINÍCOLA



**JURIQUILLA**



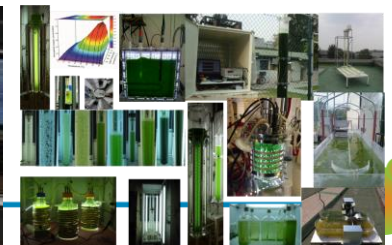
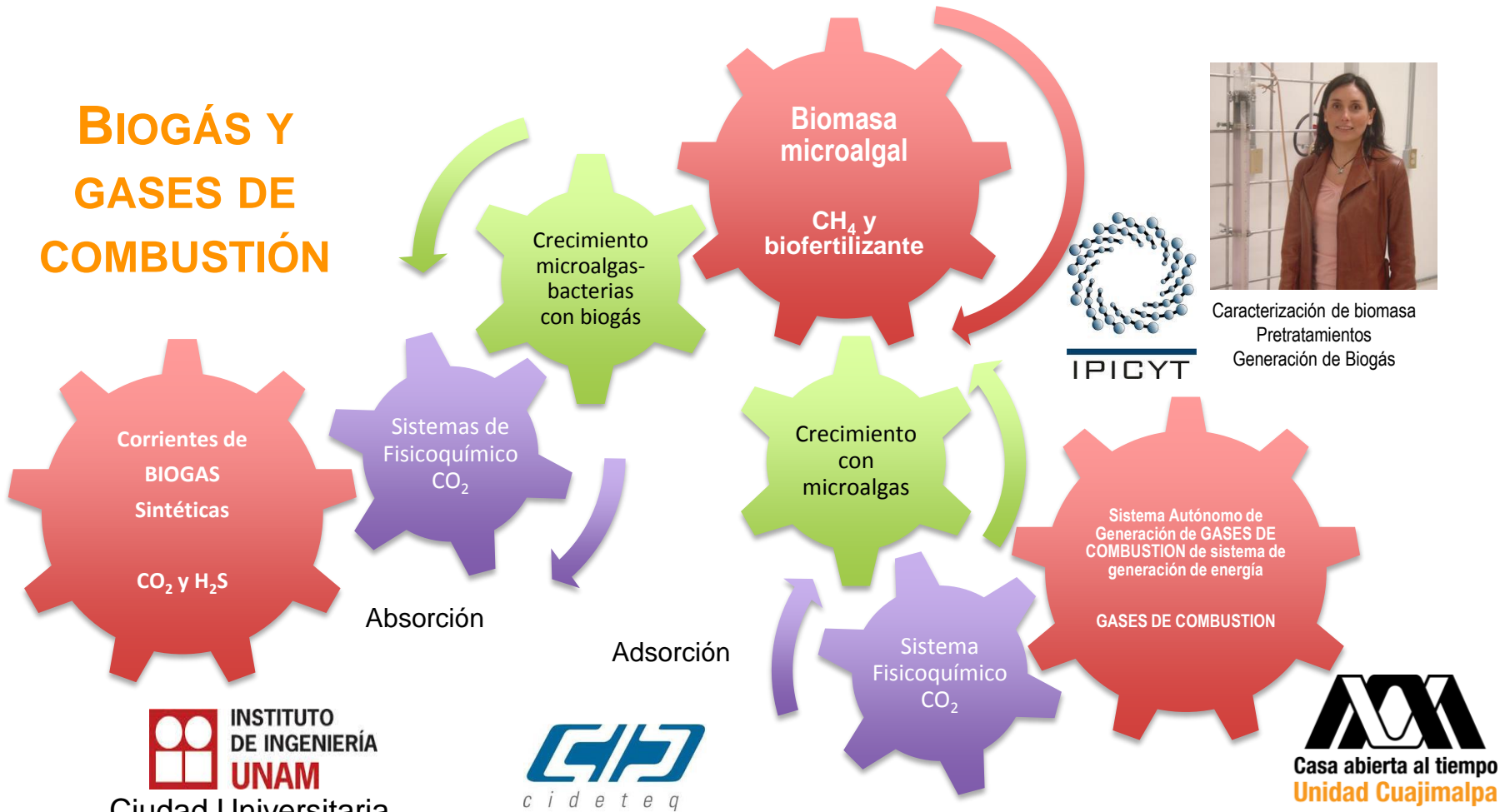
El digestato es el subproducto semi-líquido resultante de la digestión anaerobia



1 L de tequila 7-10 litros de vinazas



## BIOGÁS Y GASES DE COMBUSTIÓN



## **Universidad Autónoma Metropolitana–Cuajimalpa (UAM-C)**

Dra. Marcia Morales Ibarría

Dr. Sergio Revah Moiseev

## **Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT)**

Dra. María de Lourdes Berenice Celis García

Dr. Elias Razo Flores

M. en C. Dulce Partida Gutiérrez, M. en C. Guillermo Vidriales Escobar\*

Dr. Ricardo Femat Flores

Dr. José Fernando Oregel Pajarito\*\*

## **Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI)**

Dr. Francisco Javier Choix Ley

Dr. Hugo Oscar Méndez Acosta

Dr. Juan Paulo García Sandoval

## **Instituto de Ingeniería UNAM Unidad Académica Juriquilla (IINGEN-Juriquilla)**

Dr. Germán Buitrón Méndez

Mtra. Gloria Moreno Rodríguez

Dr. Alejandro Vargas Casillas

## **Instituto de Ingeniería UNAM Ciudad de México (IINGEN-CU)**

Dr. Armando González Sánchez

Dr- Juan Manuel Morgan (IBTech)

## **Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEIQ)**

Dr. Fabricio Espejel Ayala





# Muchas gracias por su atención



Dra. Marcia Morales Ibarria



[mmorales@correo.cua.uam.mx](mailto:mmorales@correo.cua.uam.mx)

