



Comunidad  
de Madrid

Dirección General  
de Investigación  
e Innovación Tecnológica  
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN,  
CIENCIA Y UNIVERSIDADES

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
*Invertimos en su futuro*



# PROGRAMAS DE I+D EN TECNOLOGÍAS 2018

ACRONIMO: ALGATEC-CM

TITULO PROGRAMA: DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE  
MICROALGAS PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR

PRESUPUESTO CONCEDIDO: 749.340,00 €

Madrid, 17 y 18 de abril de 2024



Dirección General  
de Investigación  
e Innovación Tecnológica  
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN,  
CIENCIA Y UNIVERSIDADES

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
*Invertimos en su futuro*



# ALGATEC-CM - ¿Quiénes participamos?

## Grupos de Investigación y Laboratorio

Universidad Rey Juan Carlos (Coordinación)  
**Grupo de Ingeniería Química y Ambiental**



Centro de Investigaciones Biológicas - CSIC  
**Grupo de Biotecnología Medioambiental**



Universidad Complutense de Madrid  
**Grupo de Ingeniería Metabólica**



Universidad Autónoma de Madrid  
**Grupo de Extractos Bioactivos y Lípidos Saludables**



Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas  
**Grupo Radiación Solar para Aplicaciones Energéticas**



IMDEA-Energía (Laboratorio)  
**BIOPEN**





Dirección General  
de Investigación  
e Innovación Tecnológica  
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN,  
CIENCIA Y UNIVERSIDADES

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
*Invertimos en su futuro*



# ALGATEC-CM - ¿Quiénes participamos?

## Empresas

AlgaEnergy  
Madrid



Neoalgae  
Gijón (Asturias)



Microalgae Solutions  
Grupo de Ingeniería Metabólica



Cianoalgae  
Madrid



GIAHSA  
Huelva (Andalucía)



## Empresas

Valoriza Medioambiente  
Madrid



Canal de Isabel II  
Madrid



## Grupo Asociado

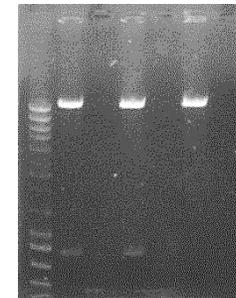
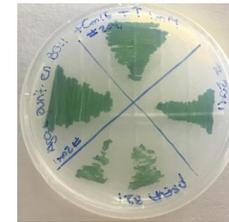
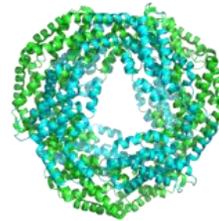
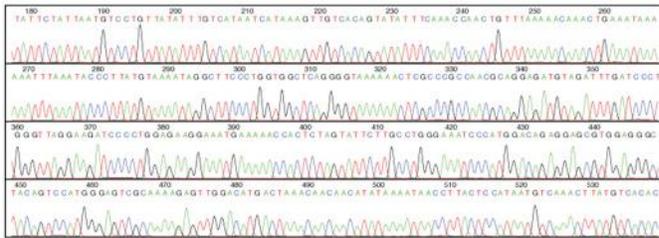
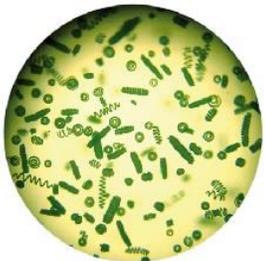
IMIDRA  
Madrid



# ALGATEC-CM - ¿Qué objetivos planteamos?

## Objetivos globales

- Construir una plataforma científica y tecnológica para el desarrollo de las microalgas dentro del concepto de biorrefinería y economía circular.
- Crear conocimiento aplicado para eliminar las barreras tecnológicas y económicas que limitan el desarrollo actual de las microalgas, lo que permitirá su explotación de forma sostenible y viable.

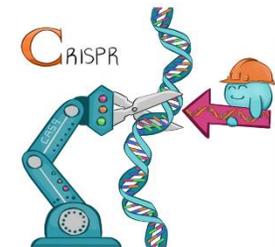


# ALGATEC-CM - ¿Qué objetivos planteamos?

## Objetivos específicos

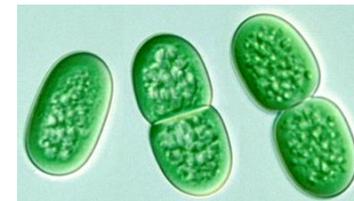
### 1. Implementación de la tecnología CRISPR-Cas en cianobacterias para la obtención de cepas mejoradas para su uso industrial.

- 1.1. Selección de cianobacterias transformables y desarrollo de paquetes de herramientas genéticas básicas.
- 1.2. Selección de plásmidos y tecnología de apoyo para el clonaje de los componentes de CRISPR-Cas.
- 1.3. Puesta a punto y desarrollo de la tecnología CRISPR-Cas en las cianobacterias de estudio.
- 1.4. Obtención de cianobacterias modificadas de interés biotecnológico.



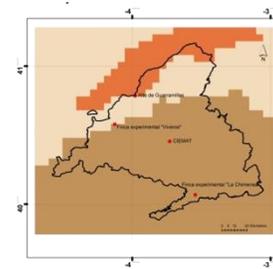
### 2. Estudio de consorcios de microalgas y bacterias para usos industriales.

- 2.1. Creación de consorcios artificiales de microalgas y bacterias.
- 2.2. Estudio de consorcios artificiales de microalgas y bacterias.



### 3. Localización óptima de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con microalgas en la Comunidad de Madrid.

- 3.1. Comportamiento de las microalgas/cianobacterias en función de las condiciones de irradiancia.
- 3.2. Difusión de los resultados.







# ALGATEC-CM - ¿Qué resultados hemos obtenido?

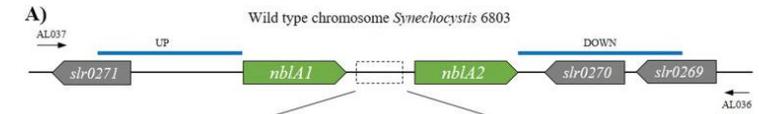
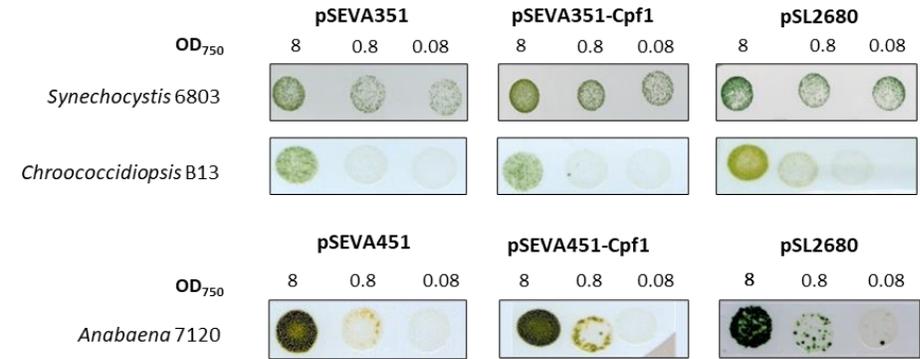
**Objetivo 1:** Implementación de la tecnología CRISPR-Cas en cianobacterias para la obtención de cepas mejoradas para su uso industrial

**Selección de cianobacterias transformables y desarrollo de paquetes de herramientas genéticas básicas:** Se ha trabajado con cianobacterias transformables modelos: *Synechocystis sp. PCC 6803*, *Anabaena sp. PCC 7120* y se han caracterizado nuevas cianobacterias ambientales extremófilas de una placa solar: *Chroococidiopsis sps.*

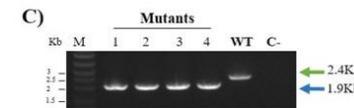
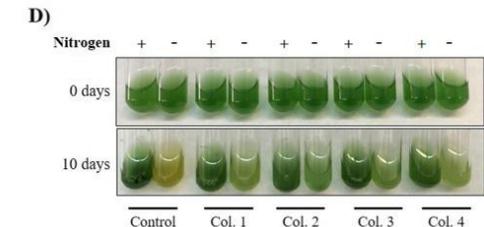
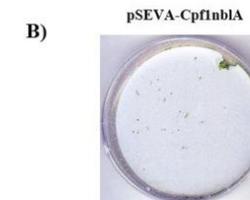
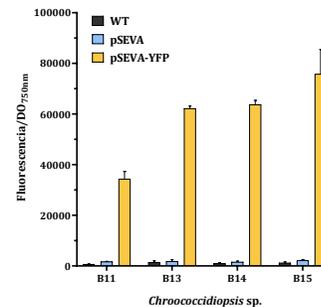
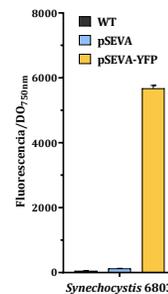
**Selección de plásmidos y tecnología de apoyo para el clonaje de los componentes de CRISPR-Cas:** Se han obtenido transformantes en **las cepas de la tarea 1.1.** con **7 plásmidos** (pSEVA251/351/451, pSEVA251/351/451-cpf1 y pSL2680), 4 de ellos con la maquinaria CRISPR/Cas.

**Puesta a punto y desarrollo de la tecnología CRISPR-Cas en las cianobacterias de estudio.** Se ha comprobado la edición génica en la bacteria modelo *Synechocystis sp. PCC 6803* utilizando los vectores de la tarea 1.2. deleccionando el gen *nbIA* involucrado en la degradación del ficobilisoma.

**Obtención de cianobacterias modificadas de interés biotecnológico.** Se han construido vectores de expresión para cianobacterias que han permitido expresar el gen *yfp* tanto en las cianobacterias modelo como en *Chroococidiopsis*. Estos vectores permitirán expresar proteínas de interés biotecnológico.



nbIA1-TAA-(13 nt)-AAAAAATTAGCTTGCCTGCTTAGCCATTAGTTACA-(38 nt)-ATG-nbIA2  
 Stop PAM gRNA - target sequence Met

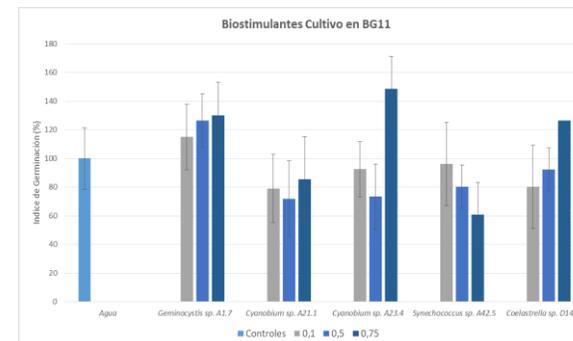
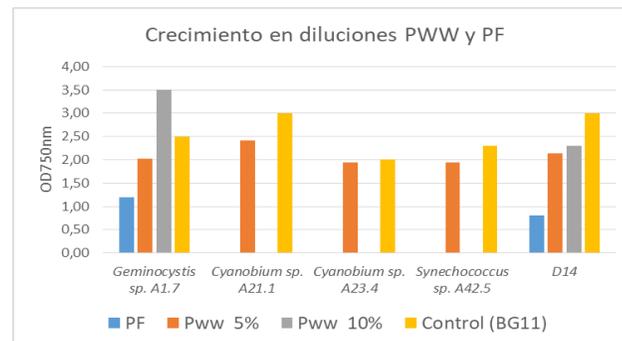


# ALGATEC-CM - ¿Qué resultados hemos obtenido?

## Objetivo 2: Estudio de consorcios de microalgas y bacterias para usos industriales

**Creación de consorcios artificiales de microalgas y bacterias. Consorcios binarios para la producción de polihidroxicanoatos (PHAs):** Construcción mediante ingeniería genética y biología sintética, de la cepa SBG363 de cianobacteria *Synechococcus elongatus* PCC7942, superproductora de sacarosa. Transformación de una bacteria (*Pseudomonas putida* KT2440) para ser capaz de metabolizar sacarosa e identificación de *Azohydromonas lata* como bacterias productoras de PHAs a partir de sacarosa. Otras bacterias aisladas de ambientes extremos (paneles solares) productoras de PHAs a partir de sacarosa (*Microbacterium* sp.). **Consorcios ternarios para la producción de polihidroxicanoatos y vitamina B12 o eliminación de fosfatos de aguas residuales:** *Synechococcus elongatus* + *Pseudomonas putida* + *Escherichia coli*.

**Estudio de consorcios naturales de microalgas y bacterias. Análisis de las poblaciones de microorganismos presentes en las depuradoras de aguas residuales basadas en cultivos de microalgas:** A partir de muestras de aguas residuales urbanas de Madrid se obtuvieron 26 consorcios utilizando diferentes medios de cultivo (Utex, BG11 y BG13). Cuatro de ellos han sido capaces de crecer en aguas residuales sintéticas y en purines de cerdo diluidos (PWW) o tratados mediante procesos de oxidación (PF). Muestran también propiedades bioestimulantes. Son cepas robustas que pueden tener diferentes usos industriales.

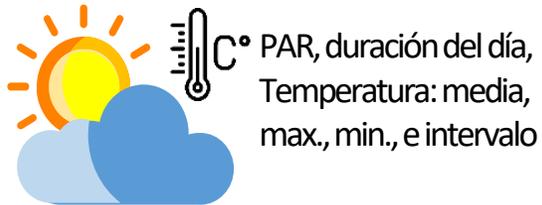


# ALGATEC-CM - ¿Qué resultados hemos obtenido?

## Objetivo 3: Localización óptima de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con microalgas en la Comunidad de Madrid

Comportamiento de las microalgas/cianobacterias en función de las condiciones de irradiancia. Se ha realizado la clusterización del territorio, mediante medidas de satélite. Se han instalado sensores PAR en diversos emplazamientos de la Comunidad de Madrid y se han determinado las características de un día tipo.

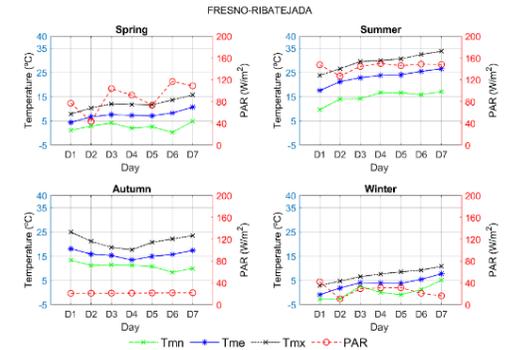
### Adquisición y control de datos



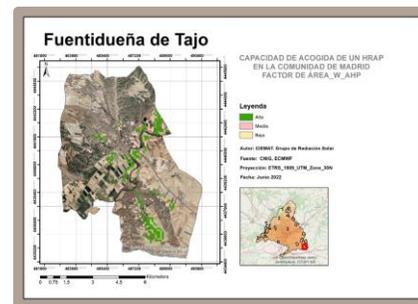
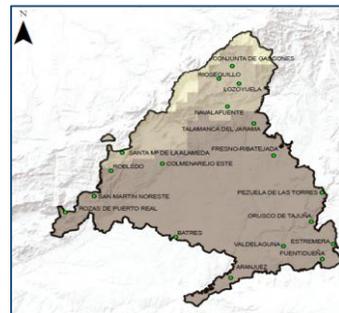
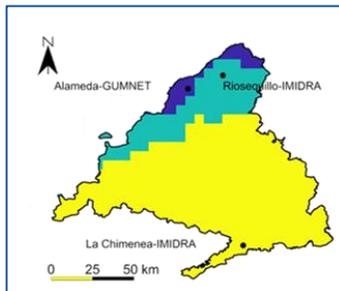
### Generación de la Secuencia Meteorológica Típica (TMS)

$$WS = \sum_{j=1}^m wf_j \cdot FS_j$$

### Variación Diaria de los datos obtenidos en la selección de la TMSs



Difusión de resultados. A partir de los mapas creados, se han identificado los lugares idóneos de sistemas *High Rate Algae Pond* (HRAP) en municipios de hasta 1500 h.e.



# ALGATEC-CM - ¿Qué resultados hemos obtenido?

## **Objetivo 4: Extracción con técnicas verdes y avanzadas de compuestos valiosos de biomasa de microalgas y cianobacterias**

**Extracción y fraccionamiento de lípidos con fluidos comprimidos y extracción asistida con ultrasonidos.** Se han desarrollado y optimizado nuevos procesos de extracción de carotenoides y lípidos con ácidos omega-3 (EPA y DHA) a partir de microalgas (*Schizochitrium*) mediante técnicas rápidas y eficaces como extracción presurizada (PLE) empleando fluidos comprimidos o extracción asistida con ultrasonidos, junto con disolventes bioderivados y biodegradables (GRAS). Fraccionamiento de lípidos neutros (enriquecidos en omega-3) y de lípidos polares (fosfolípidos y glucolípidos). Evaluación de aplicaciones en nutracéutica.



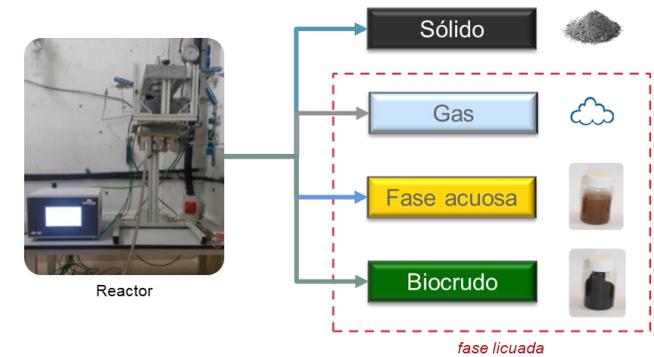
**Extracción de compuestos de valor añadido mediante el empleo de líquidos iónicos y de sistemas de dos fases acuosas (ATPS).** Extracción de ficocianina de *Arthrospira platensis* mediante el uso de líquidos iónicos apróticos. Desarrollo de procesos de purificación del extracto de ficocianina mediante un sistema ATPS + diálisis + precipitación, consiguiendo el máximo grado de pureza de ficocianina que permite su uso para aplicaciones en biomedicina.



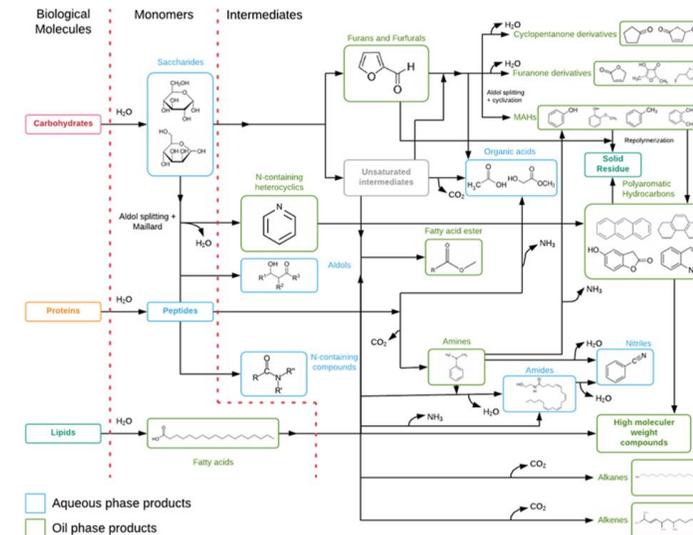
# ALGATEC-CM - ¿Qué resultados hemos obtenido?

**Objetivo 5: Valorización energética de la biomasa residual de microalgas tras la extracción de compuestos de alto valor añadido**

**Licuefacción hidrotérmica.** Desarrollo de procesos de producción de biocrudo empleando la biomasa residual de microalgas. Rendimiento a biocrudo: 38%. Utilización de cosolventes (metanol, etanol, isopropanol). Rendimiento a biocrudo: 55%. Condiciones óptimas: 350°C, 30 minutos. Poder calorífico similar al de un crudo de petróleo. Empleo de catalizadores: disminuye el contenido de nitrógeno del biocrudo.



**Producción de biogás.** Se ha estudiado la producción de metano mediante digestión anaerobia, tanto en condiciones mesofílicas (37°C) como termofílicas (55°C). Utilización de cosustratos (glicerol). Productividad de metano en condiciones mesofílicas a partir de biomasa residual tras la extracción de ficocianina: 300 mL CH<sub>4</sub>/gSV. Producción de biometano a partir del agua residual del proceso de licuefacción hidrotérmica: 144mL CH<sub>4</sub>/gSV.

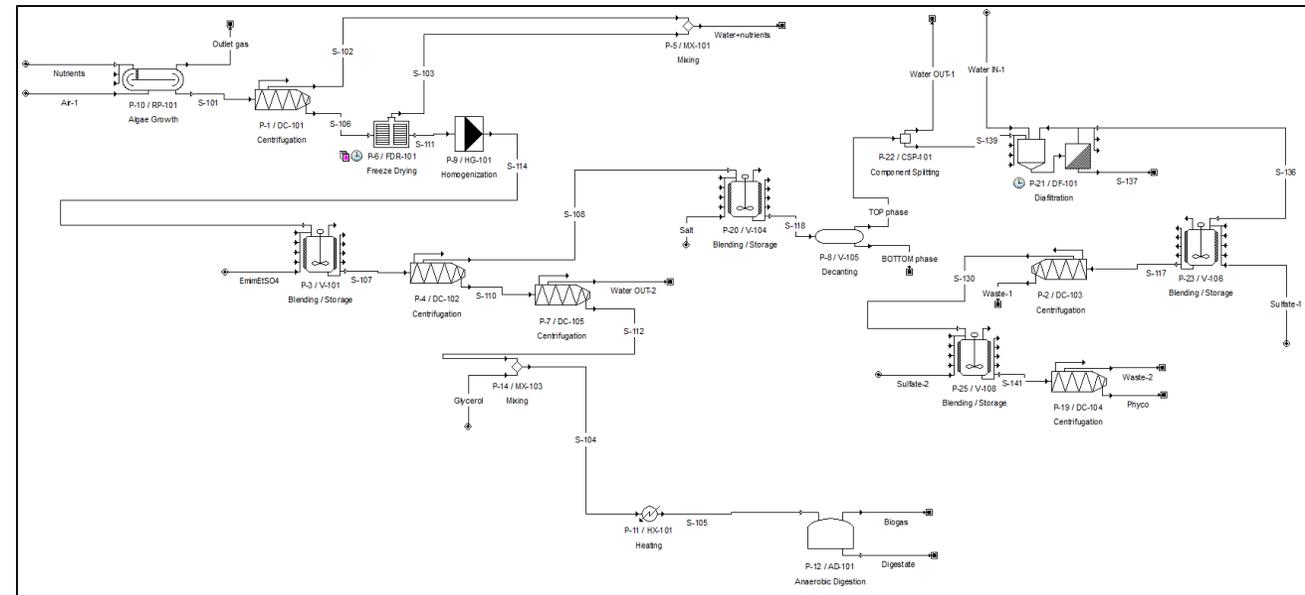
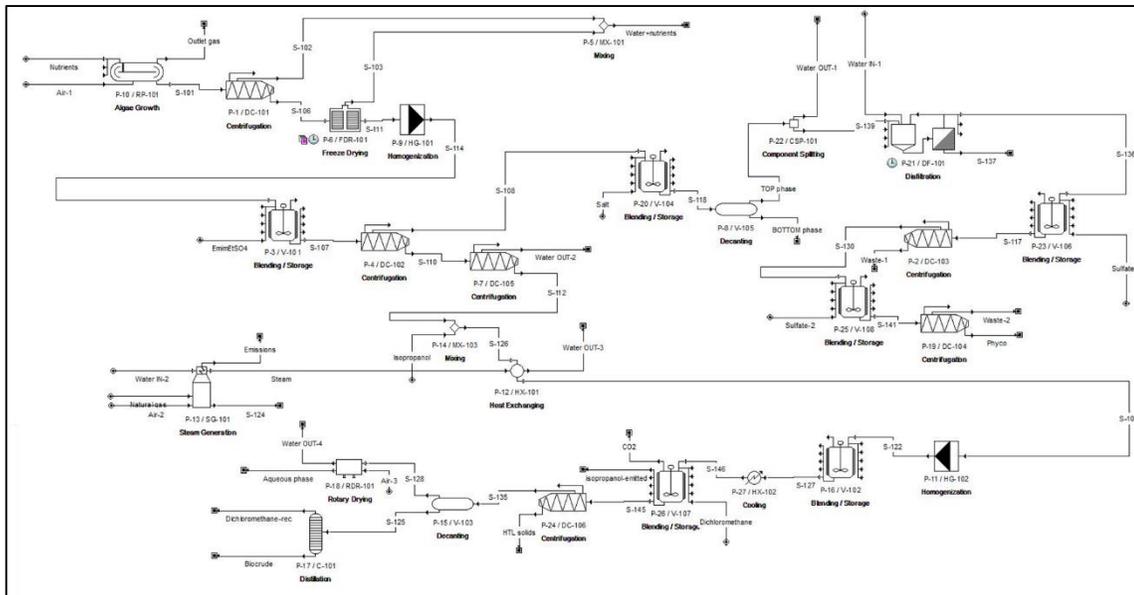


# ALGATEC-CM - ¿Qué resultados hemos obtenido?

## Objetivo 6: Diseño y estudio de la viabilidad de los procesos

**Simulación y optimización de procesos.** Diseño de dos esquemas de biorrefinería que incluyen la fase de cultivo, cosechado, extracción de productos de alto valor y aprovechamiento final de la biomasa residual. Biorrefinería 1: aprovechamiento mediante licuefacción hidrotérmica. Biorrefinería 2: aprovechamiento mediante digestión anaerobia. Simulación empleando parámetros experimentales en software SuperPro Designer.

**Análisis del ciclo de vida.** Evaluación de los impactos ambientales asociados a cada una de las biorrefinerías de acuerdo con la norma internacional ISO 14040:2006 y la metodología CML 2001, empleando el programa SimaPro 7.2. La etapa del secado de la biomasa es la que más influye en todas las categorías de impacto seleccionadas (contribuciones de 40-80%) (agotamiento abiótico, acidificación, calentamiento global, toxicidad humana, ecotoxicidad terrestre...). Biorrefinería 2 produce menos impactos ambientales.





# ALGATEC-CM - ¿Qué resultados hemos obtenido?

- **Artículos científicos: 49**
- **Libros: 1**
- **Capítulos de libro y *proceedings*: 7**
- **Contribuciones en congresos nacionales e internacionales: 45**
- **Patentes: 2**
- **Tesis doctorales: 7**
- **Trabajos Fin de Máster: 11**
- **Estancias e intercambios de personal investigador: 15** (entre 1 semana y 5 meses)
- **Organización de actividades de difusión** (cursos, seminarios, workshops): **3**
- **Participación en eventos, ferias, etc.: 11** (Semana de la Ciencia, Aula, Noche Europea de los investigadores)





# ALGATEC-CM – ¿Cómo hemos continuado?

- Continuación de la colaboración, aumentando el número de publicaciones conjuntas
- Participación en proyectos comunes
  - Programa CyTED (Red Renuwal): Red Iberoamericana para el Tratamiento de efluentes con microalgas.
    - 38 grupos de investigación
    - 11 países
  - Proyecto de Transición Ecológica y Digital
    - Grupo URJC y CIB-CSIC
    - Acoplamiento de procesos de licuefacción hidrotérmica con procesos biológicos
- Mantenimiento de relaciones y colaboraciones con las empresas asociadas
- NUEVAS CONVOCATORIAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

