



Seminario:

## SISTEMAS DE ACUICULTURA MULTITRÓFICA INTEGRADA AMTI. ESTADO DEL ARTE. PERSPECTIVAS



### AMTI SISTEMAS MULTITRÓFICOS INTEGRADOS DE AQUICULTURA. ESTADO DA ARTE. PERSPECTIVAS



# ACUICULTURA MULTITRÓFICA EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN: MODELIZACIÓN PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS

Felipe Aguado Jiménez  
COST-IEO/CSIC

**THINKinAZUL:** Estrategia Conjunta de Investigación e Innovación en Ciencias Marinas para abordar de forma sostenible los nuevos desafíos en la Monitorización y Observación Marino-Marítimas, el Cambio Climático, la Acuicultura y otros Sectores de la Economía Azul.



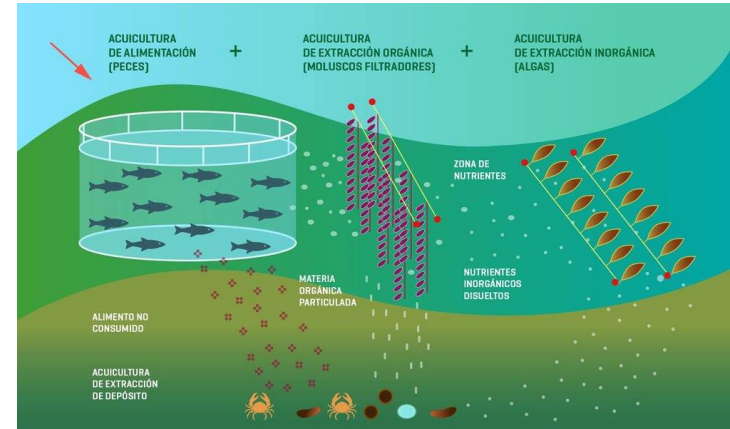


# AMTI: Acuicultura MultiTrófica Integrada

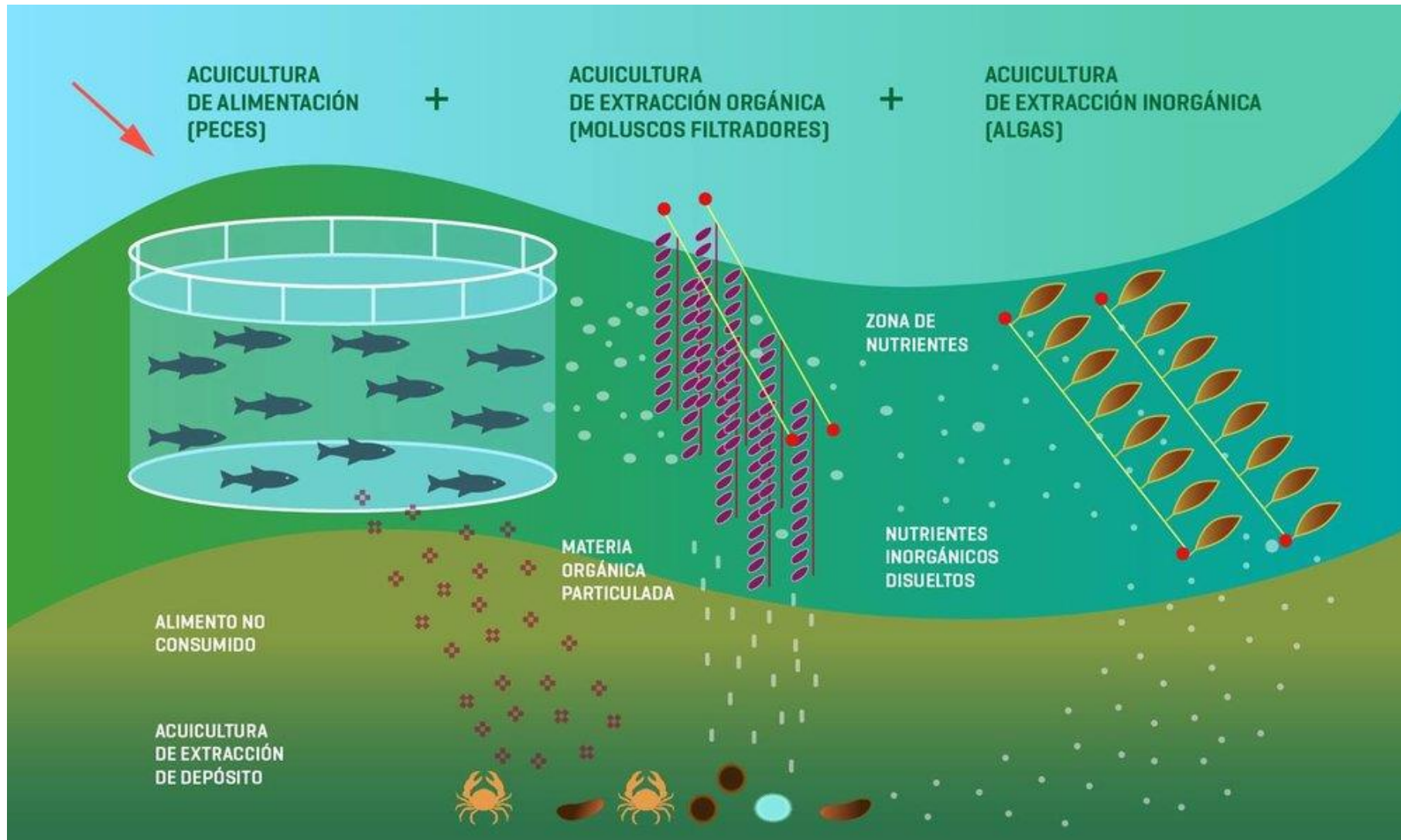
**A**cuicultura: cultivo/crianza de organismos acuáticos

**M**ultiTrófica: múltiples especies de diferentes niveles tróficos (más de uno)

**I**ntegrada: los niveles tróficos están íntimamente relacionados, de modo que los “residuos” generados por uno de ellos son aprovechados por otros

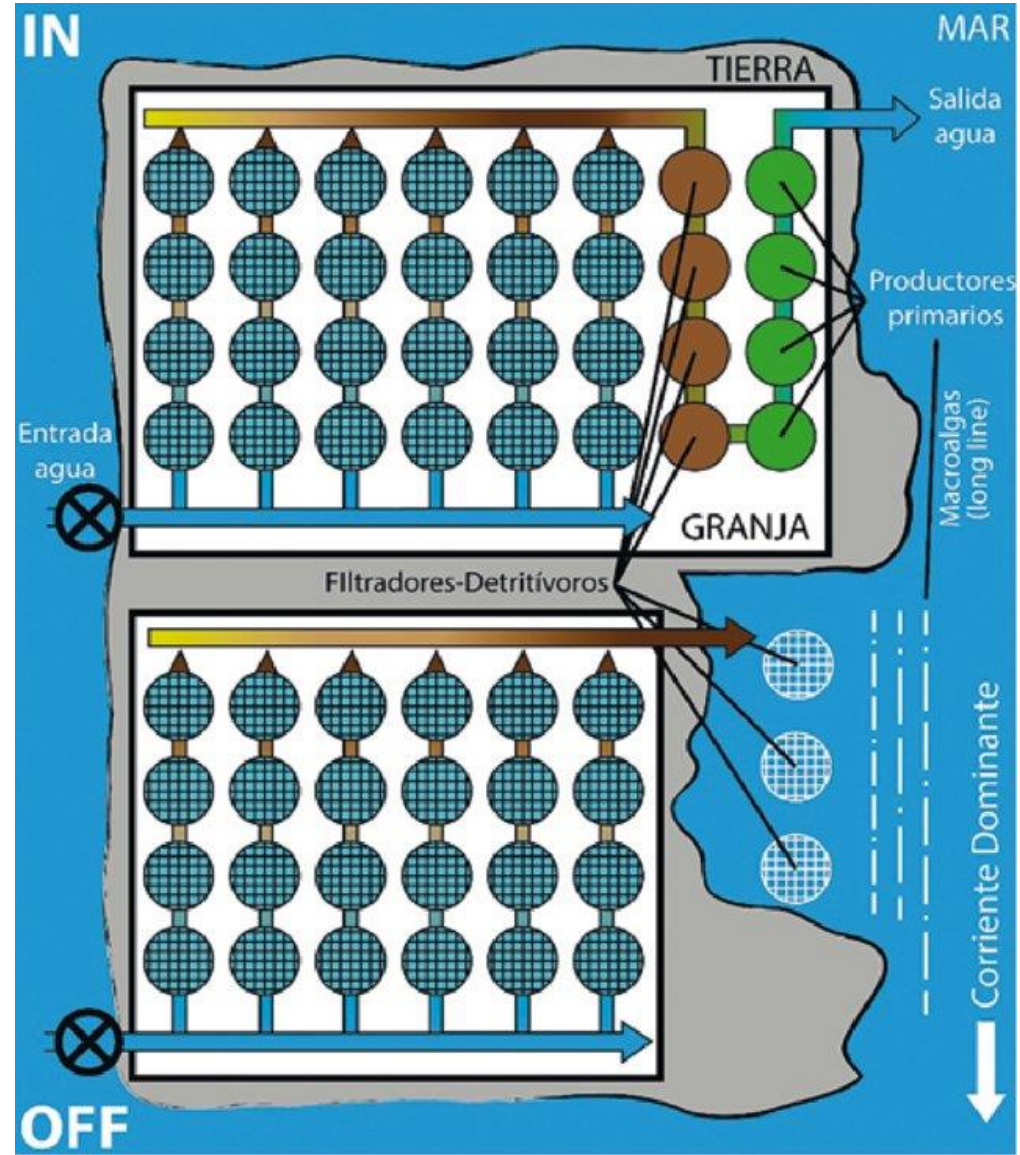


- Nivel trófico superior: *fed-aquaculture species*: peces y crustáceos
- Niveles tróficos inferiores: *extractive species* (autótrofos, filtradores, detritívoros): macro- y microalgas (tb biofloc) e invertebrados



Infinidad de combinaciones





Infinidad de combinaciones



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU

**TR** Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



## AMTI Beneficios:

- Asegura la conservación, gestión y desarrollo eficaz de la explotación de recursos vivos acuáticos
- Mitigación de efectos ambiental:
  - Reduce la eutrofización de las aguas
  - Reduce el impacto en los fondos
- Incremento de la productividad de las empresas:
  - Diversificación
  - Rentabilidad
- Mejora la sostenibilidad de la actividad

**Conceptos:** reciclado de residuos orgánicos y nutrientes, e incremento de la productividad

**Keywords:** bioextraction, biofiltration, bioremediation, blue growth, circular economy, diversification, ecosystem approach, efficiency, mitigation, sustainability, ...



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
de  
CANTABRIA





**Pilar principal de AMTI:** reducir la pérdida de nutrientes y materia orgánica al medio mediante el secuestro de los mismos por parte de organismos extractivos obteniendo un incremento de su biomasa.

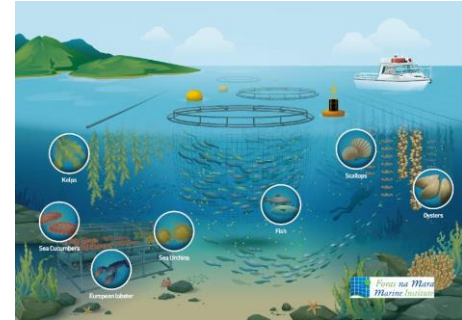
Dicho incremento de la biomasa debe suponer una mejora en la productividad

Eficiencia de la **AMTI**: capacidad de extracción de nutrientes y materia orgánica: “*nuntrient retention potential*”: factores limitantes biológicos y ambientales (ecofisiológicos), y características del sistema

- Requerimientos específicos
- Tamaño de partículas
- Hidrodinamismo
- Redes tróficas
- ...
- Sistema abierto (*open-sea, offshore, ...*): control muy limitado
- Sistema “semi-abierto” (*land-based flow-through*): control limitado
- Sistema cerrado (*RAS*): máximo control

Definir cuantitativamente el beneficio ambiental y empresarial de la **AMTI**:

- Beneficios de **AMTI**: sustentados en descripciones conceptuales lógicas





## Cómo evaluar la eficiencia de sistemas **AMTI**:

Cuantificar el flujo de residuos entre los destinos eslabones implicados entendiendo los factores que influyen en la eficiencia en la retención de nutrientes

- Cuantificar la cantidad de residuos producidos (*fed-species* , consumidores 1<sup>o</sup>)
- Conocer los requerimientos ecofisiológicos y condiciones de cada eslabón trófico para desplegar su máximo potencial de crecimiento
- Determinar la cantidad de nutrientes secuestrados por las especies extractivas que derivan de eslabones tróficos superiores: eficiencia, mitigación
- Dimensionar las infraestructuras y las producciones

En condiciones *open-sea/offshore* o *land-based flow-through*:

Interferencias con nutrientes y redes tróficas “naturales”

Rápida dispersión y secuestro por productores 1<sup>o</sup> y consumidores

Escasa permanencia (disponibilidad) de los nutrientes

Enorme disparidad en las estimas de la eficiencia que hacen temblar los pilares **AMTI**:  
Freno a la implementación de **AMTI** en muchos lugares



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
de  
CANTABRIA

CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



# Cuantificar los residuos producidos en el cultivo de especies no extractivas, (y algunas extractivas):



*Species-specific*

Variables ambientales: temperatura

Edad/tamaño

Composición del alimento

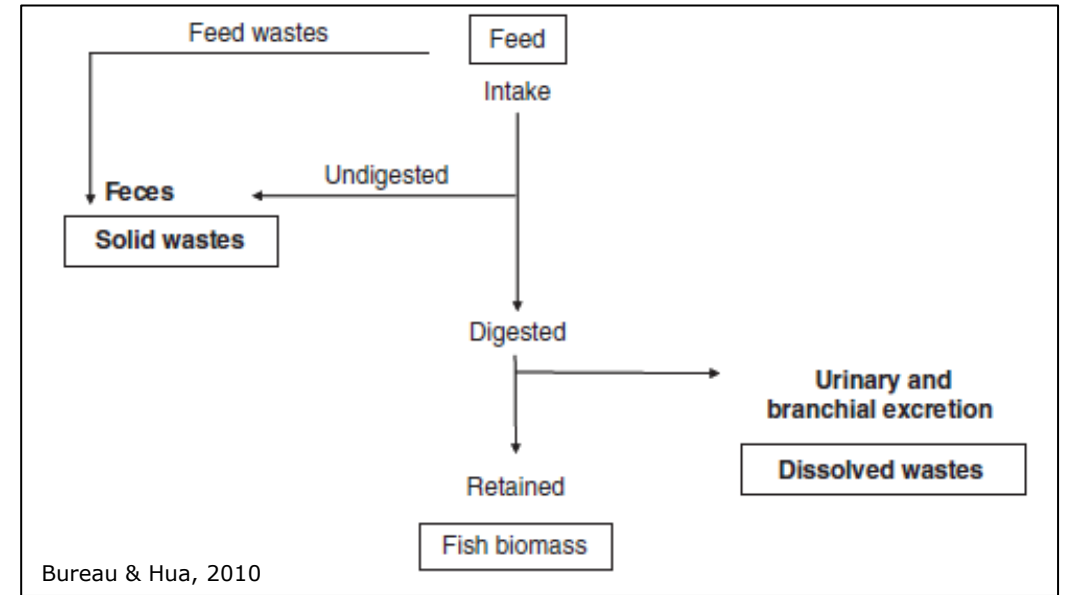
Tasa de alimentación

Digestibilidad

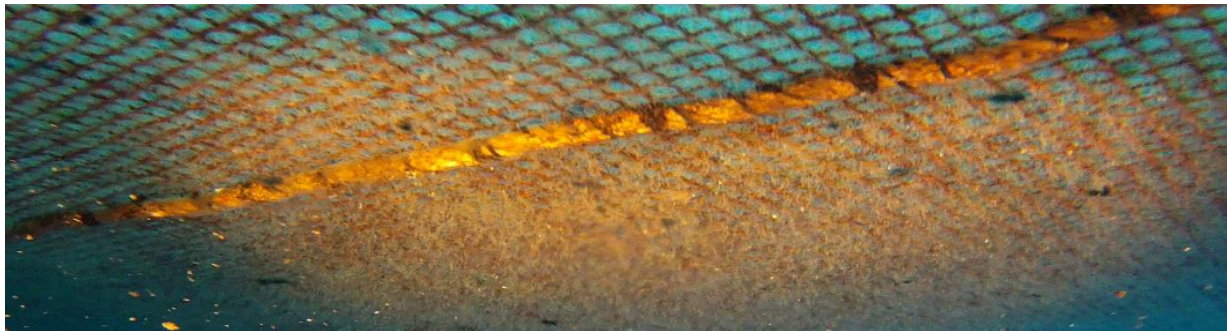
Crecimiento

Desperdicio de alimento

Variaciones temporales



**Mass-balance:**  $Feed_x = Growth_x + solid\ waste_x$  (faeces + uneaten feed) +  $dissolved\ waste_x$



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



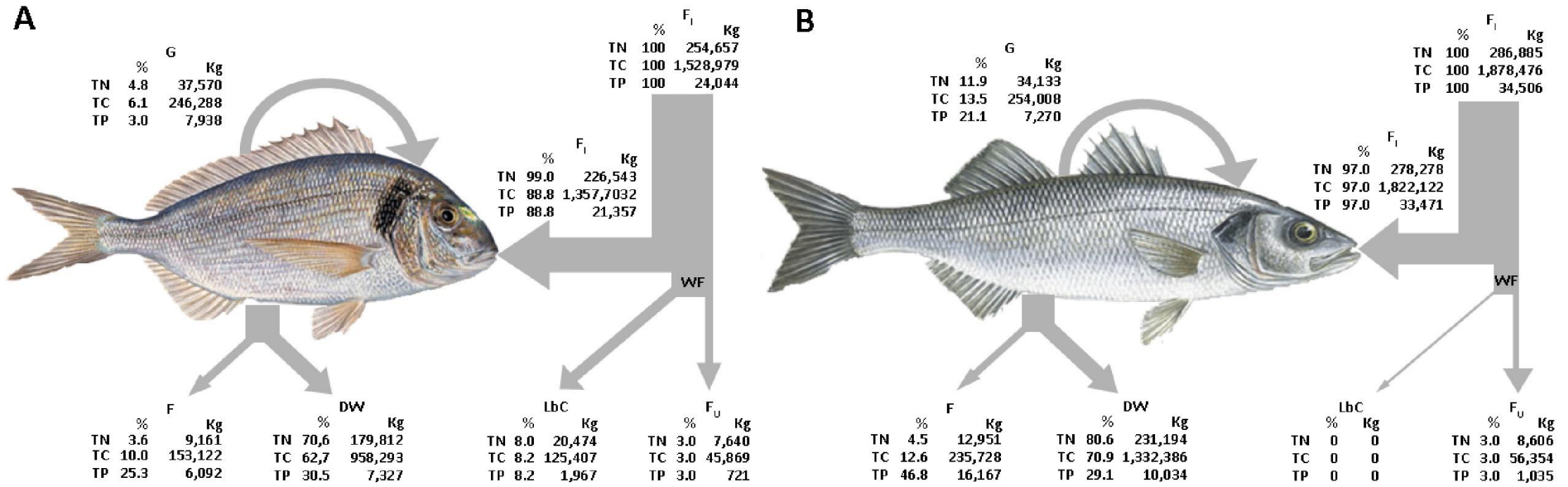
Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN







(Ballester-Moltó 2016)



Financiado por la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



GOBIERNO de CANTABRIA



# Requerimientos y condiciones de las especies extractivas

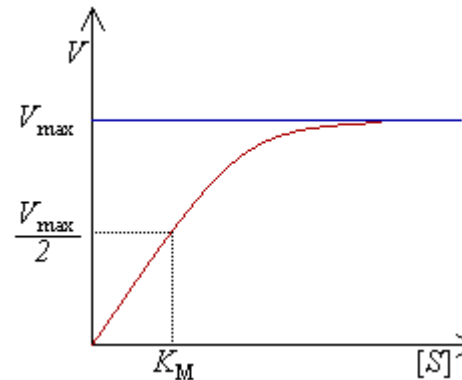


## Macroalgas (species-specific):

- Temperatura, salinidad, luz, pH... : estacionalidad
- Disponibilidad de nutrientes
- Tiempo de exposición (Offshore / Flow-through / RAS)



Especies con alta eficiencia de extracción cuando los niveles de nutrientes son bajos: el máximo crecimiento y asimilación (contenido de nutrientes) en los tejidos requiere niveles de nutrientes altos (Buschmann et al., 2001)



Para lograr una productividad (biomasa) relevante : altos niveles de nutrientes, adecuado N:P ratio, asegurar buenos niveles de DIC (renovación de agua)

Determinar C:N:P ratio y flujos temporales que brinden máximo crecimiento: MODELO



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia

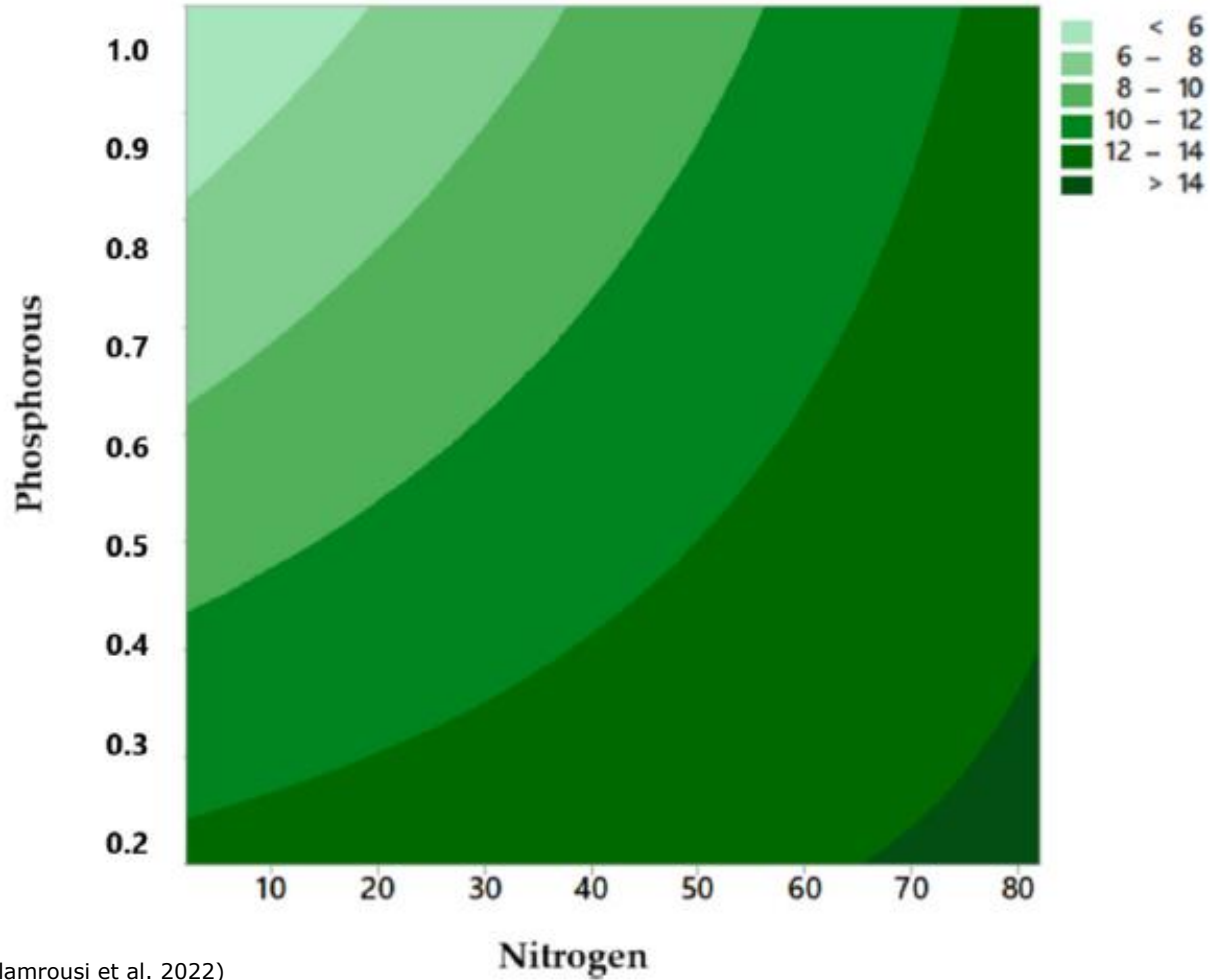


GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



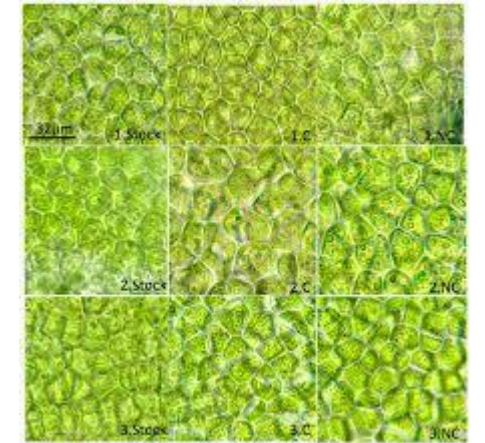


(Alamrousi et al. 2022)

*Ulva ohnoi*:

65-80 ppm N  
0,2-0,4 ppm P

SGR > 14



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU

**TR** Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN





## Requerimientos y condiciones de las especies extractivas

**Filtradores/suspensívoros** (species-specific): bivalvos

Temperatura, salinidad, luz, pH, turbidez, ... : estacionalidad

Disponibilidad de alimento (suspended solids) / Tiempo de exposición : sistema de cultivo (Offshore / Flow-through / RAS)

Preferencias: plankton vs. fish feed fines vs. faeces / tamaño de partícula

Exceso de SS: producción de *pseudo-heces*

**Detritívoros** (species-specific): poliquetos, holoturias, ..

Temperatura, salinidad, luz, pH, turbidez, ... : estacionalidad

Disponibilidad de alimento (detritus) / Tiempo de exposición : sistema de cultivo (Offshore / Flow-through / RAS)

Preferencias: detritus vegetal vs. heces/pienso / tamaño partículas





## Estimación del **potencial extractivo**:

Estima de la **retirada de residuos** (*removal rate*):

Tasa de aclarado (*clearance rate*):  $l\ h^{-1}\ g^{-1}$

Eficiencia de la asimilación (*assimilation rate*):  $mg\ h^{-1}\ g^{-1}$

Tasa de alimentación (*feeding rate*):  $\mu g\ d^{-1}\ g^{-1}$

**Retención**: crecimiento + retención de nutrientes

**Balance** limológico/hidrológico: variaciones en la concentración de nutrientes a la entrada y salida de un sistema con sps. extractivas

**Marcadores/trazadores**: isótopos estables - ácidos grasos + mixing models

**Modelización**: combinación de modelos, desde muy sencillos hasta muy complejos



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
de  
CANTABRIA





# Modelización para el dimensionamiento de sistemas RAS para cultivos AMTI:

Ecuaciones que describen procesos en función de variables clave

Crecimiento

Coeficientes de Digestibilidad

Tasas de Alimentación

Tasas de Producción de Residuos: disueltos, particulados, alimento desperdiciado, ...

Patrón temporal de producción de residuos

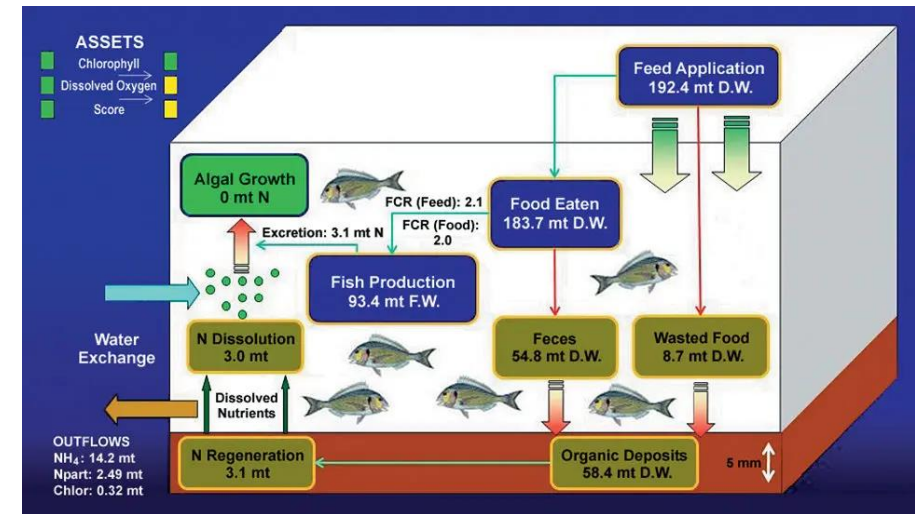
Estrategia de producción

Eficiencia de retención

Patrón temporal de asimilación

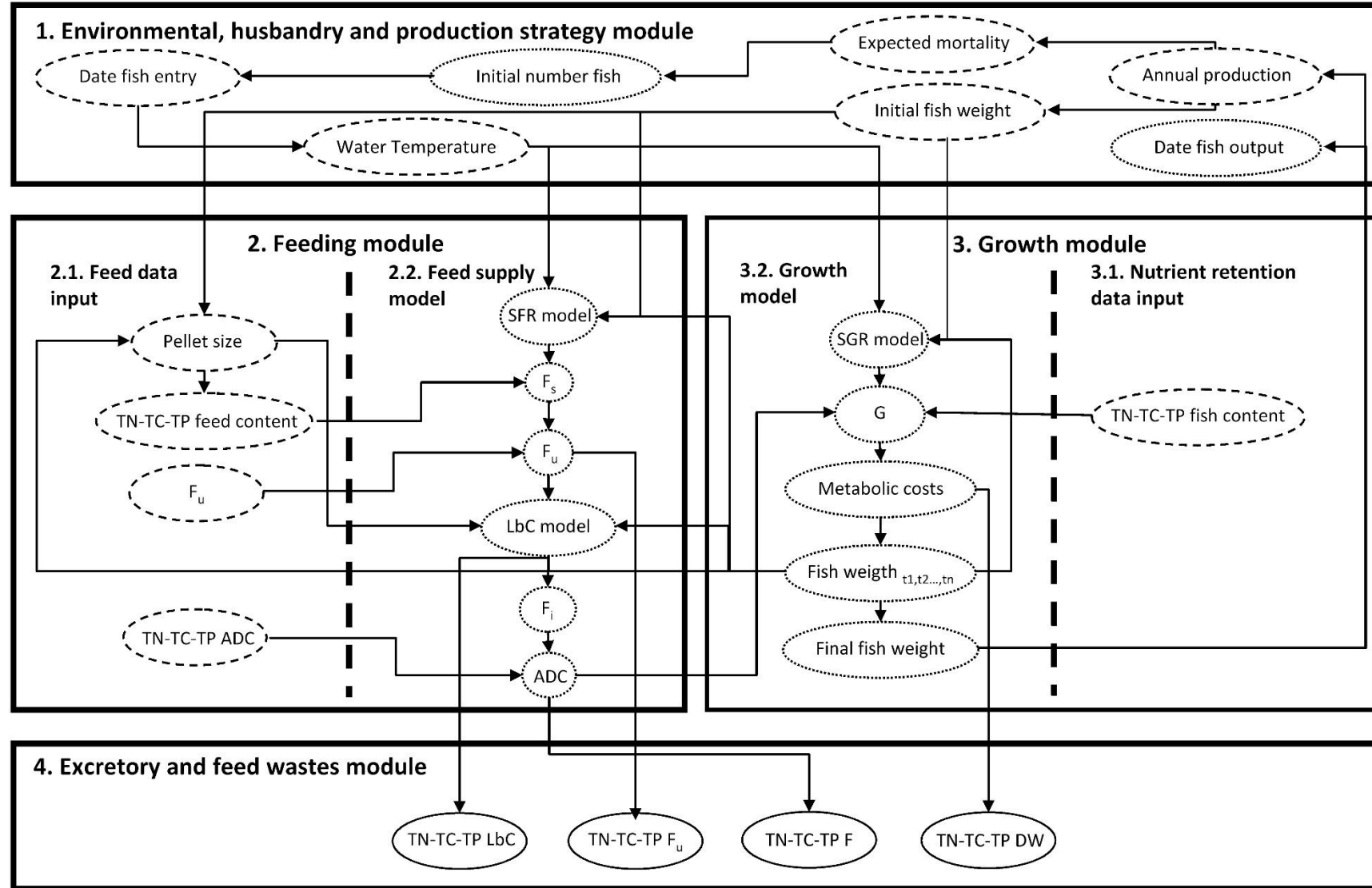
Requerimientos y condiciones ambientales

Tiempo de exposición





# Waste Output Model for Mediterranean Aquaculture Development (WOMMAD)



(Ballester-Moltó 2016)



Financiado por la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

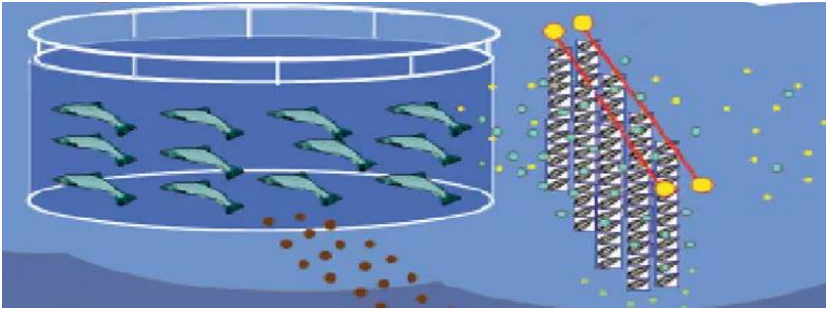




**Feed:** 100% N  
100% P  
100% C

**Uneaten feed:**  
3-5 % (Reid et al., 2009)  
above 50% (Ballester-Moltó et al., 2017)

**Biomass**  
(growth):  
13-43% N  
18-36% P  
14-38% C



**Organic** (particulate) wastes:  
5-45% N  
42-57% P  
6-44% C

**POM:** 5-45% N  
42-54% P  
5-44% C

Suspended: 30%  
Sink: 70%

(Wong & Piedrahita, 2000)

**DOM:** 1-7% N  
2-8% P  
1-6% C

**Total wastes:** 57-82% N  
64-82% P  
62-86% C

**Inorganic** (dissolved) wastes:  
39-63% N  
18-30% P  
39-70% C

(Nederlof et al., 2021)



# Patrón temporal en la producción de residuos: **acoplado modelos**

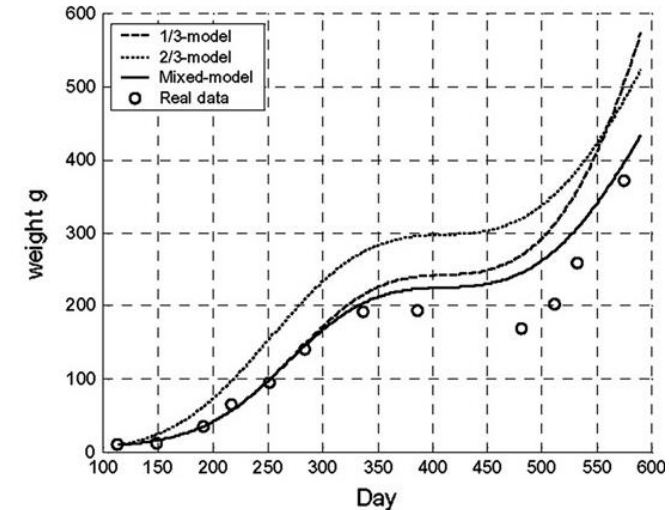


## Feed model: temperatura & fish size

## Growth model: temperatura & fish size

		TEMPERATURA (°C)							
		14	16	18	20	22	24	26	28
PESO MEDIO (G)	1	1,8	2,4	3,1	3,7	4,3	5	5,7	6,4
	4	1,2	1,7	2,2	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8
	7	1,1	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	3,8	4,3
	11	0,9	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,4	3,8
	20	0,8	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	3,3
	40	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8
	80	0,5	0,7	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
	100	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,7	2	2,3
	200	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,7	1,9
	300	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,4	1,7
400	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	
500	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	

(Skretting)



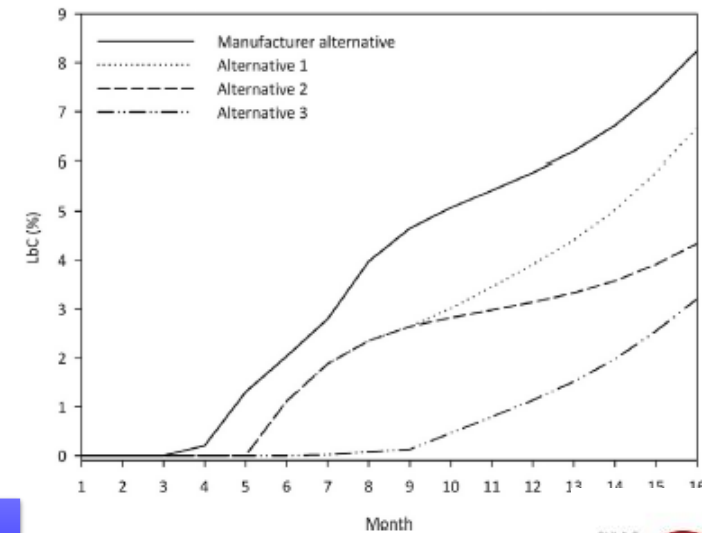
(Mayer et al., 2012)

## Digestibility model: feed composition & fish size

## LbC model (*S. aurata*): pellet size & fish size

Species	Feed		PWOC <sub>N</sub>	PWOC <sub>C</sub>	PWOC <sub>P</sub>
Seabream	Conventional	mg·Kg fish <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	19.9–34.5	166.7–289.0	6.3–10.8
		g·Kg fish <sup>-1</sup> ·cycle <sup>-1</sup>	9.2–15.9	76.7–132.9	2.9–5.0
	Organic	mg·Kg fish <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	25.9–45.0	142.7–247.4	21.4–37.1
		g·Kg fish <sup>-1</sup> ·cycle <sup>-1</sup>	11.9–20.7	65.6–113.8	9.8–17.1
Seabass	Conventional	mg·Kg fish <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	19.5–31.7	166.8–271.0	8.2–13.3
		g·Kg fish <sup>-1</sup> ·cycle <sup>-1</sup>	11.1–18.0	94.9–154.2	4.7–7.6
	Organic	mg·Kg fish <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	23.5–38.2	115.9–188.4	21.6–35.1
		g·Kg fish <sup>-1</sup> ·cycle <sup>-1</sup>	13.4–21.7	65.9–107.2	12.3–20.0

(Ballester-Moltó et al., 2016b)



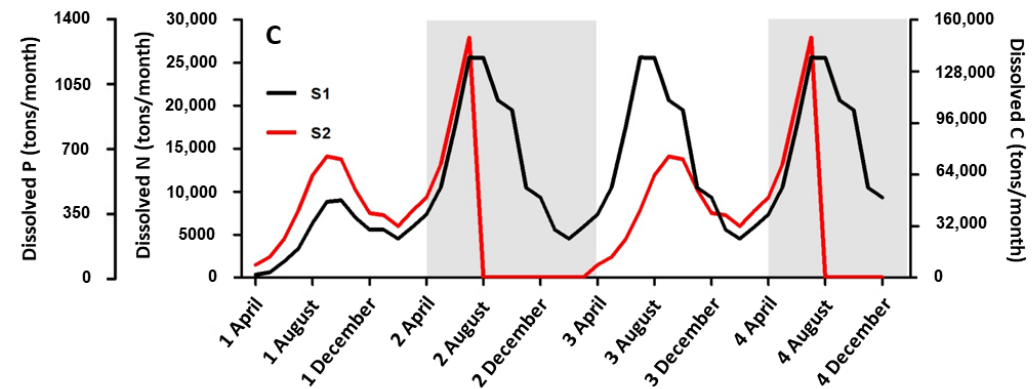
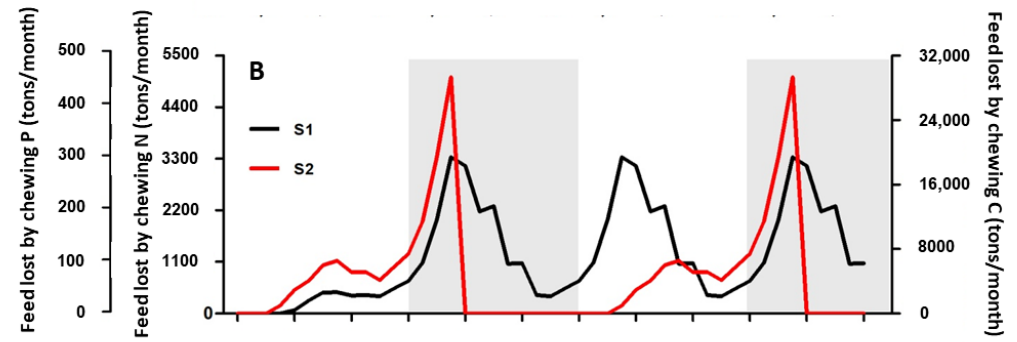
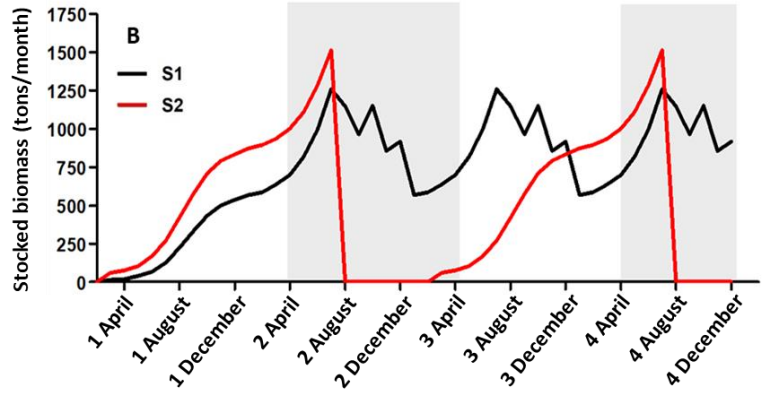
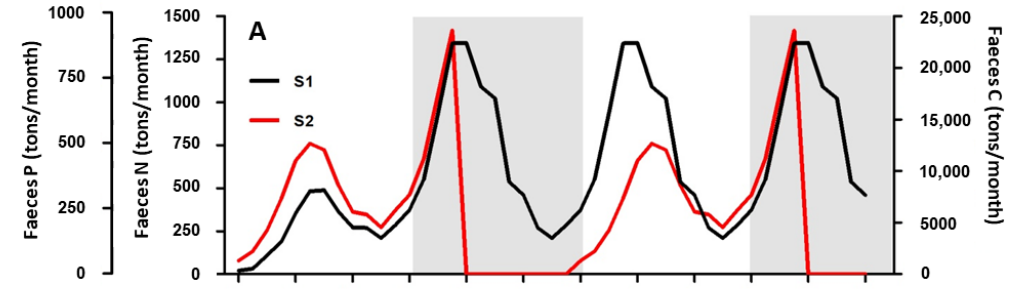
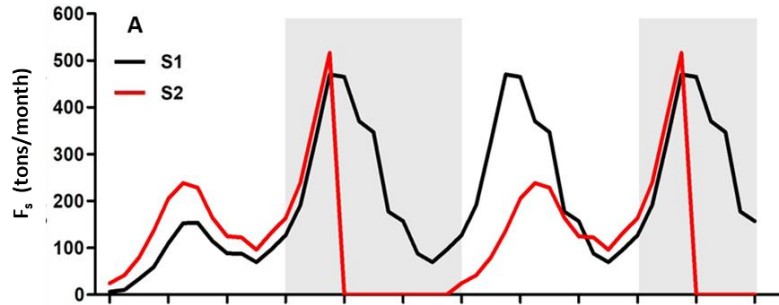
(Ballester-Moltó et al., 2016a)

**Mass-balance:**  $Feed_x = Growth_x + solid\ waste_x (faeces + uneaten\ feed) + dissolved\ waste_x$

# Patrón temporal en la producción de residuos: **acoplando modelos**

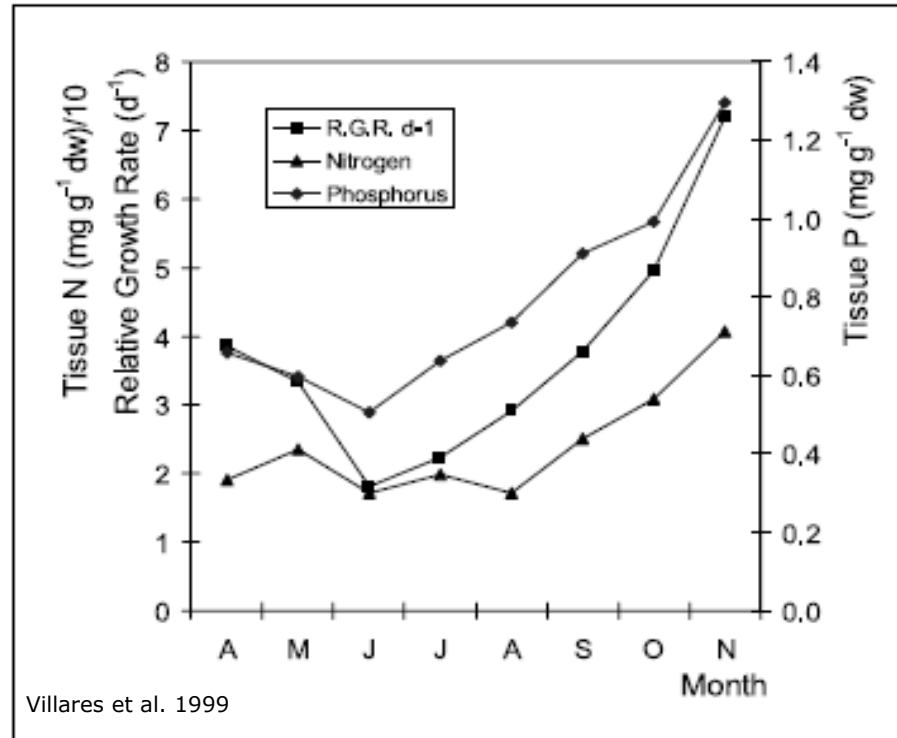


**Farming strategy:** (Aguado-Giménez et al., 2022)





# Patrón temporal de asimilación de nutrientes: **acoplando modelos**



Villares et al. 1999

Figure 3. Seasonal evolution of growth rate (% per day) and tissue nutrient concentrations ( $mg\ g^{-1}\ dw$ ) for *Ulva* sp. at the five selected locations

(Villares et al. 1999)

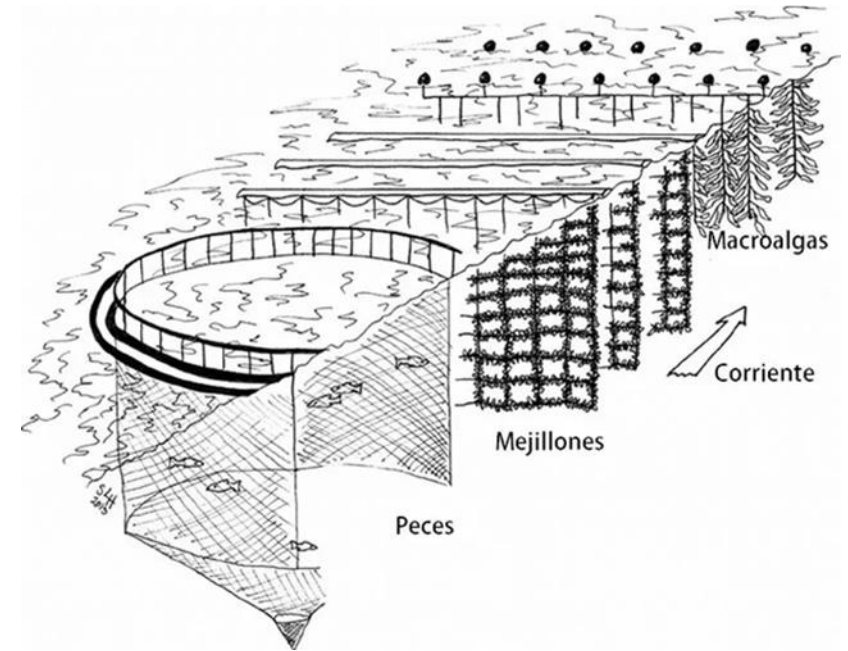
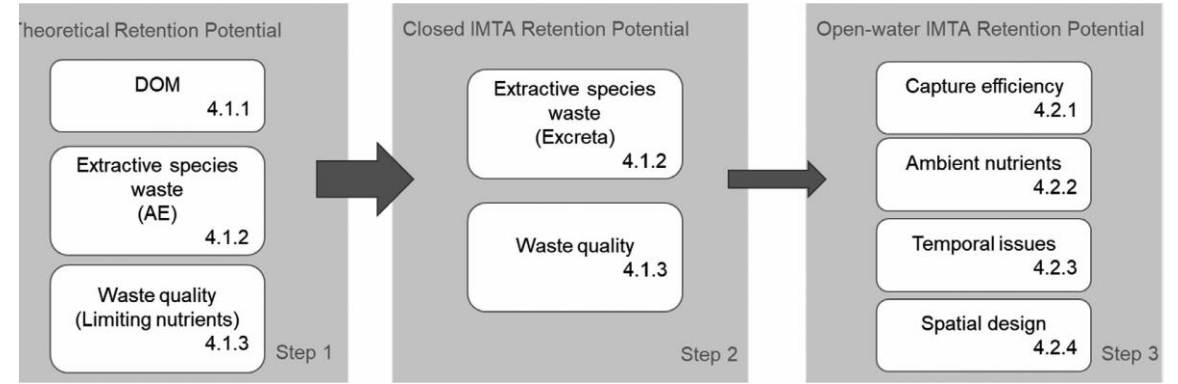
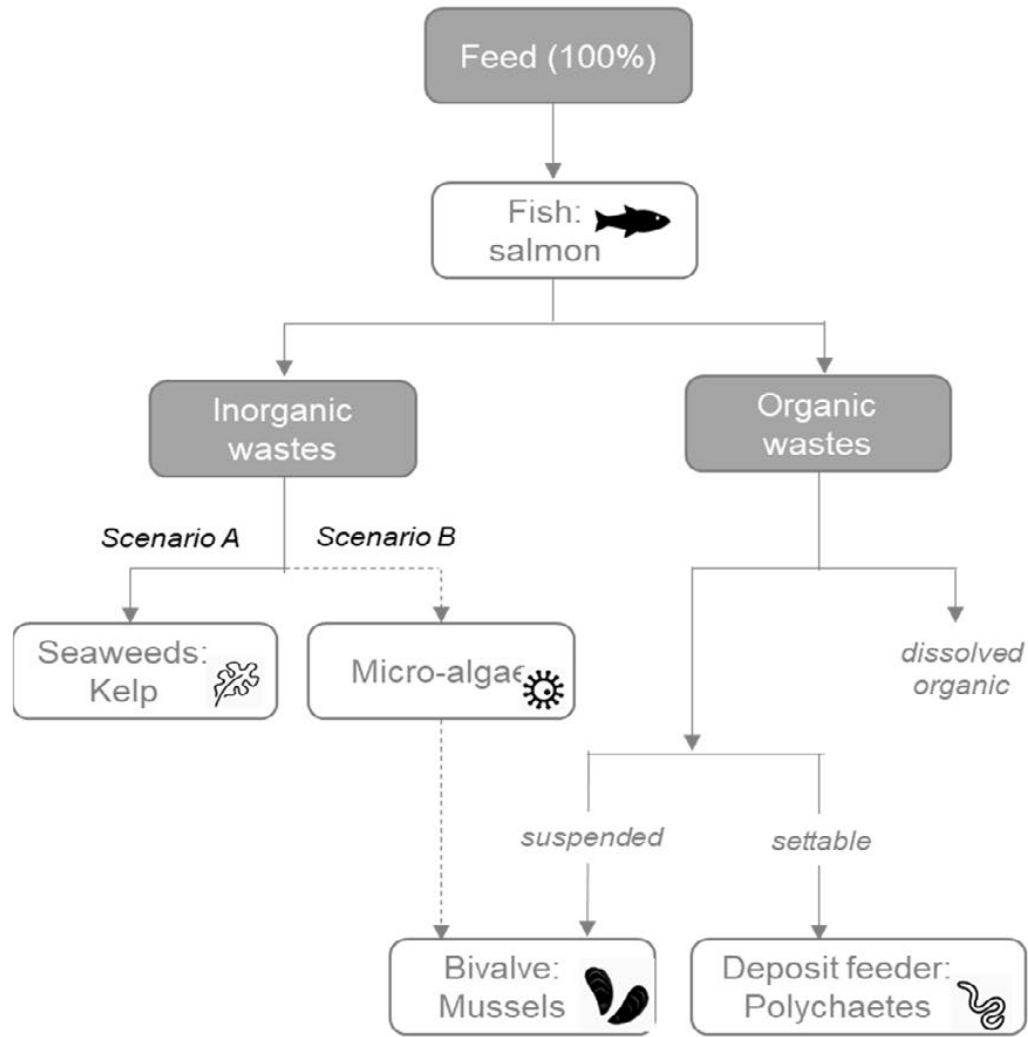


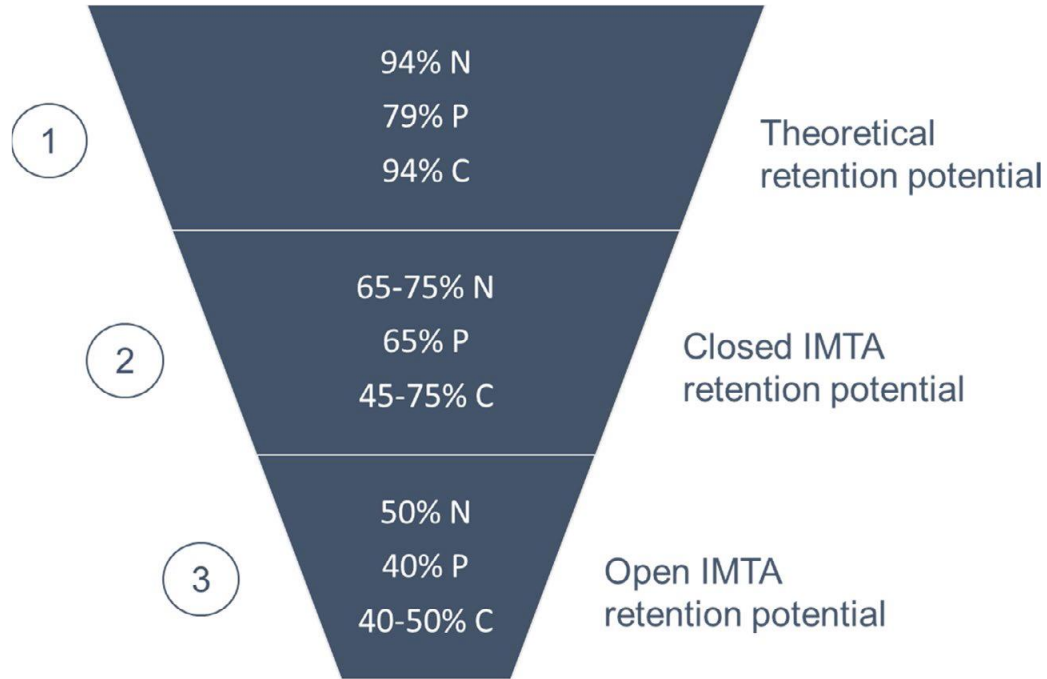
Financiado por la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia







Salmo salar: 1,800 tonnes / 2 years  
FCR: 1.1

Best scenario for maximum retention:

47 Ha seaweed  
12 Ha bivolaves  
237 Ha deposit feeders

(Nederlof et al. 2021)



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
de  
CANTABRIA





## Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:

- ¿Qué biomasa de peces haría falta para abastecer un cultivo de macroalgas que asimilase sus residuos disueltos?
- ¿Qué biomasa de macroalgas haría falta para asumir los nutrientes disueltos originados por una biomasa dada de peces?

### **Producción de residuos** (modelling):

Condiciones de la simulación: Engorde de dorada (*Sparus aurata*)

Peso inicial: 10 g p.h.

T<sup>a</sup>: 18 °C

Crecimiento dia<sup>-1</sup>: 0,29 g p.h. dia<sup>-1</sup> (Mayer et al., 2012)

N pez p.s.: 8,4% (Ballester-Moltó et al 2016)

P pez p.s.: 1,7% (Ballester-Moltó et al 2016)

FCR: 1,3

N pienso: 8,7% (Ballester-Moltó et al 2016)

P pienso: 0,8% (Ballester-Moltó et al 2016)

Digestibilidad N: 96% (Ballester-Moltó et al 2016)

Digestibilidad P: 71% (Ballester-Moltó et al 2016)



# Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:



**Mass-balance:**  $\text{Feed}_x = \text{Growth}_x + \text{solid waste}_x + \text{dissolved waste}_x$

	<b>N (g p.s. dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>P (g p.s. dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>N %</b>	<b>P %</b>
Alimento suministrado	0,0301	0,0028		
Retenido	0,0072	0,0015	24%	53%
Residuo sólido	0,0012	0,0008	4%	29%
Residuo disuelto	0,0217	0,0005	72%	18%

(WOMMAD Ballester-Moltó, 2016; Aguado-Giménez et al 2022)

N:P ratio = 43:1



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
de  
CANTABRIA

CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



# Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:



Requerimientos *Ulva sp.*

65-80 ppm N

0,2-0,4 ppm P

SGR p.s.= 14% dia<sup>-1</sup>

(Alamrousi et al., 2022)

N *Ulva*: 5,10%

P *Ulva*: 0,23%

Peso inicial 100 g p.s.

Crecim. dia<sup>-1</sup>: 14 g p.s. dia<sup>-1</sup>

N:P ratio = 200:1

Table I. Summary statistics for N and P contents (mg g<sup>-1</sup> dw) and atomic N:P ratio for *Ulva sp.* (n = 282). Critical Concentrations (CC) and Subsistence Concentrations (SC) as proposed by Le Bozec (1996) for *Ulva sp.*

	Range	Mean ± SD	CC	SC
Nitrogen	7.0-51.0	28.8 ± 11.5	16.6	9.0
Phosphorus	0.25-2.3	0.97 ± 0.42	1.0	0.5
N:P	27.4-177.8	69.9 ± 23.7	—	—

(Villares et al. 1999)

	N (g p.s. dia <sup>-1</sup> )	P (g p.s. dia <sup>-1</sup> )
Retenido	0,7140	0,0322
Nº min peces (10g)	33	63



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
de  
CANTABRIA

CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS





# Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:



Requerimientos *Ulva sp.*

N *Ulva*: 5,10%

P *Ulva*: 0,23%

Biomasa inicial 2000 g p.s.

Biomasa final 3066 g p.s.

T=7 días

Incr. Biomasa dia<sup>-1</sup> p.s.: 15,23 g dia<sup>-1</sup>

(Rodríguez-Rodríguez, unpub. data)

Tanques 1m<sup>3</sup> / 2m<sup>2</sup>

N suppl: 0,8g N dia<sup>-1</sup>

Psuppl: 0,08 g P dia<sup>-1</sup>

N:P ratio = 10:1

Table I. Summary statistics for N and P contents (mg g<sup>-1</sup> dw) and atomic N:P ratio for *Ulva sp.* (n = 282). Critical Concentrations (CC) and Subsistence Concentrations (SC) as proposed by Le Bozec (1996) for *Ulva sp.*

	Range	Mean ± SD	CC	SC
Nitrogen	7.0-51.0	28.8 ± 11.5	16.6	9.0
Phosphorus	0.25-2.3	0.97 ± 0.42	1.0	0.5
N:P	27.4-177.8	69.9 ± 23.7	—	—

Villares et al. 1999

	N (g p.s. dia <sup>-1</sup> )	P (g p.s. dia <sup>-1</sup> )
Retenido	0,7614	0,0350
Nº min peces (10g)	35	69





## Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:

Una aproximación "quizás demasiado simplificada":

¿Qué superficie se necesitaría para integrar un cultivo de *Ulva sp* si ...?

Peces: 6 tanques de 2 m<sup>3</sup>

Carga: 15 kg m<sup>3</sup>

Vol. Total: 12 m<sup>3</sup>

Biomasa: 180 kg

Si para producir  $\approx 15,23$  g p.s. dia<sup>-1</sup> (partiendo de una biomasa de 2 kg p.h.) se necesitaron 2 m<sup>2</sup> y los nutrientes equivalentes a los producidos por 0,7 kg de peces ...

... para asimilar los nutrientes producidos diariamente por 180 kg de peces se necesitarían: 514 m<sup>2</sup> con 2 kg de *Ulva sp*. cosechando semanalmente una producción de 1 kg / 2 m<sup>2</sup>





Table 3. Upscaling to a commercial salmon farm (production of ~1800 tonnes over a 2-year cycle and an average Feed Conversion Ratio (FCR) of 1.1) would in the best case scenario require (i) 47 ha seaweed, (ii) 12 ha bivalves and (iii) 237 ha deposit feeders, assuming that extractive species are harvested yearly. Studies

## Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:

Una aproximación "quizás demasiado simplificada":

Nederlof et al. (2021):  $47 \text{ ha} / 1,800,000 \text{ kg} = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ ha kg}^{-1}$

Rodríguez-Rodríguez (unpub. data) + simulación:  $0,0514 \text{ ha} / 180 \text{ kg} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ ha kg}^{-1}$

**AMTI-RAS**: 10 veces menos superficie requerida





# Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:

## Peces

Biomasa: 1 kg

TA: 1,5 % d<sup>-1</sup>    15 g p.h. d<sup>-1</sup>    Hum.: 7 %    14 g p.s. d<sup>-1</sup>

CDA<sub>ss</sub>: 85 %

**Heces:** 2,1 g p.s. kg pez<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>

## *Hediste diversicolor*

TA: 2 x 4 % d<sup>-1</sup> (*ad libitum*)

Biomasa alimentable con 2,1 g d<sup>-1</sup> : 26,25 g

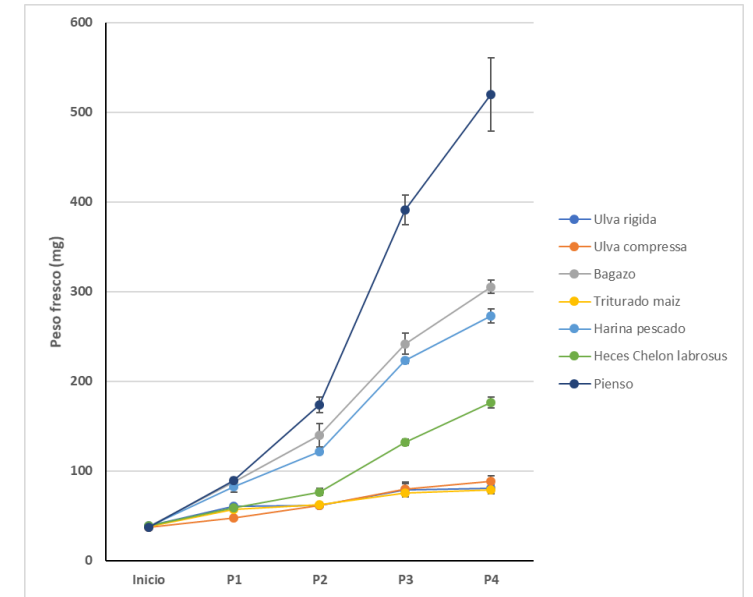
Equivalente a:

525 gusanos de 50 mg

263 gusanos de 100 mg

131 gusanos de 200 mg

53 gusanos de 500 mg



Aguado-Giménez et al., 2023

Para una superficie de 1 m<sup>2</sup>, a una densidad de 4000 ind. m<sup>2</sup>:

4000 gusanos de 50 mg: biomasa: 200 g: 7,6 kg de peces

100 mg:

400 g: 15,2 kg de peces

200 mg

800 g: 30,4 kg de peces

500 mg

2.000 g: 52,5 kg de peces





Table 3. Upscaling to a commercial salmon farm (production of ~1800 tonnes over a 2-year cycle and an average Feed Conversion Ratio (FCR) of 1.1) would in the best case scenario require (i) 47 ha seaweed, (ii) 12 ha bivalves and (iii) 237 ha deposit feeders, assuming that extractive species are harvested yearly. Studies

## Simulaciones aplicables a condiciones **AMTI-RAS**:

Una aproximación “quizás demasiado simplificada”:

Nederlof et al. (2021): 12 ha / 1,800,000 kg =  $6,6 \cdot 10^{-6}$  ha kg<sup>-1</sup>

Aguado-Giménez et al. (2023) + simulación: 52,5 kg / 1m<sup>2</sup> : 180 kg / 3,4 m<sup>2</sup>  
0,0034 ha / 180 kg =  $1,8 \cdot 10^{-5}$  ha kg<sup>-1</sup>

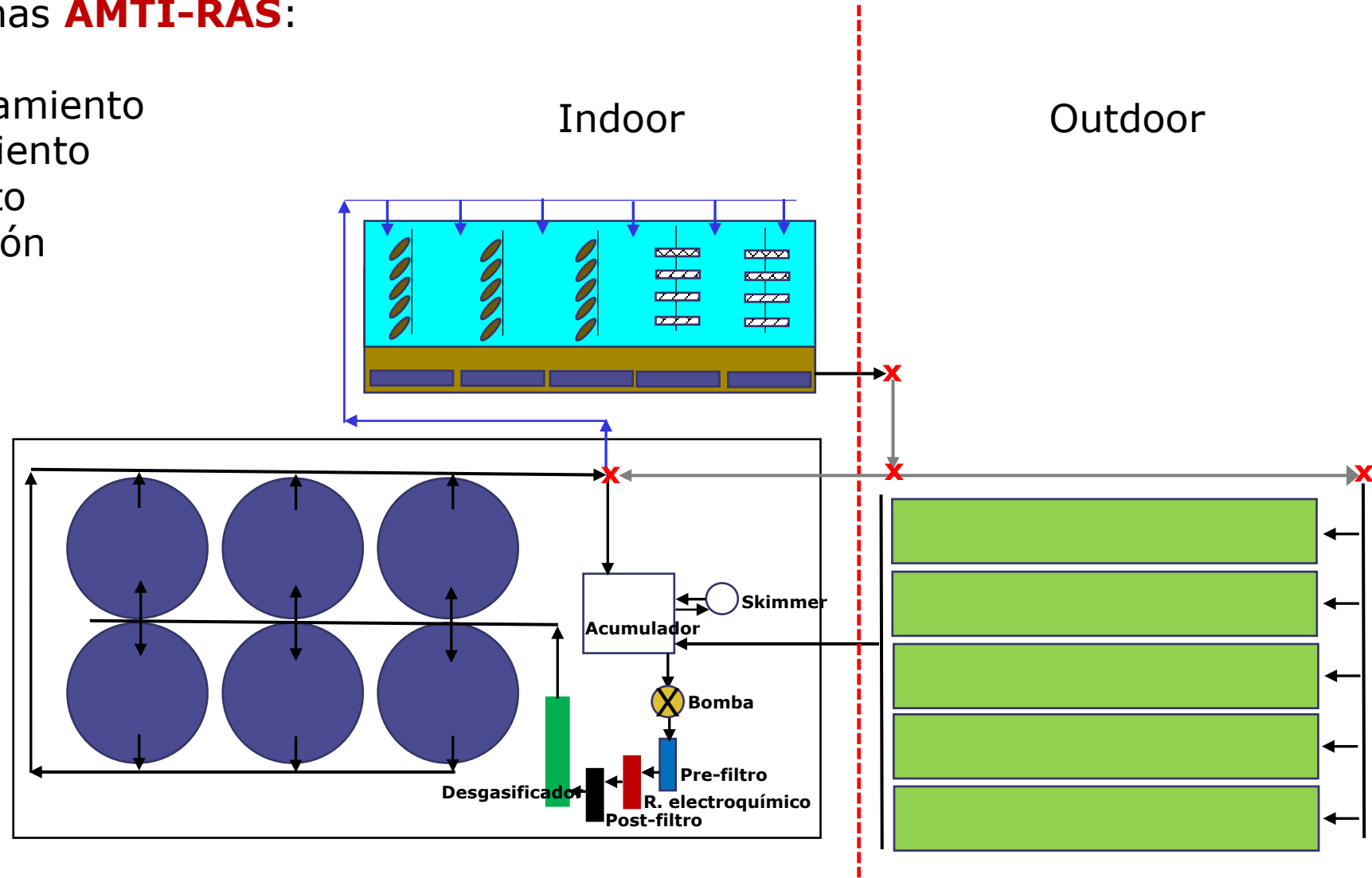
**AMTI-RAS**: 36 veces menos superficie requerida





## Diseño sistemas **AMTI-RAS**:

- Dimensionamiento
- Funcionamiento
- Rendimiento
- Domotización



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU

**TR** Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Seminario:

**SISTEMAS DE ACUICULTURA MULTITRÓFICA INTEGRADA AMTI.  
ESTADO DEL ARTE. PERSPECTIVAS**



**AMTI SISTEMAS MULTITRÓFICOS INTEGRADOS DE AQUICULTURA.  
ESTADO DA ARTE. PERSPECTIVAS**



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**



**Felipe Aguado Jiménez. COST-IEO/CSIC**

**[felipe.aguado@ieo.csic.es](mailto:felipe.aguado@ieo.csic.es)**



Financiado por la  
Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
de  
CANTABRIA

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
**CSIC**

