

**NO SOMOS MATEMÁTICOS, NI
FALTA QUE NOS HACE ... ¿O SÍ?**

**LAS MATEMÁTICAS EN EL
MUNDO DE LA BIOLOGÍA
MARINA**

Izaskun Preciado y Antonio Punzón



Instituto Español de Oceanografía

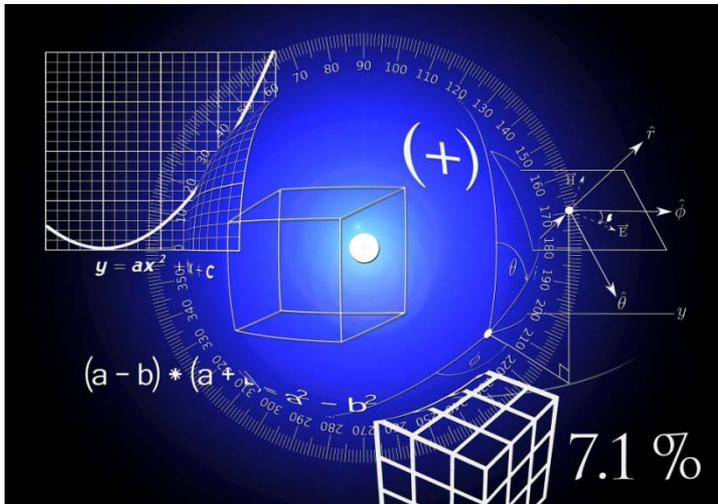




¿ DESINTERESADA ?
¿ EGOÍSTA ?



El principio y el fin



“Las matemáticas son una ciencia con una gran capacidad para simplificar la realidad”

Acercar el mundo de la incertidumbre biológica al de la certeza matemática



1

Explicar la naturaleza

2

El muestreo en Biología Marina

3

Las matemáticas en la Biología Marina

4

¿Para qué sirve lo que hacemos?

1

Explicar la naturaleza

2

El muestreo en Biología Marina

3

Las matemáticas en la Biología Marina

4

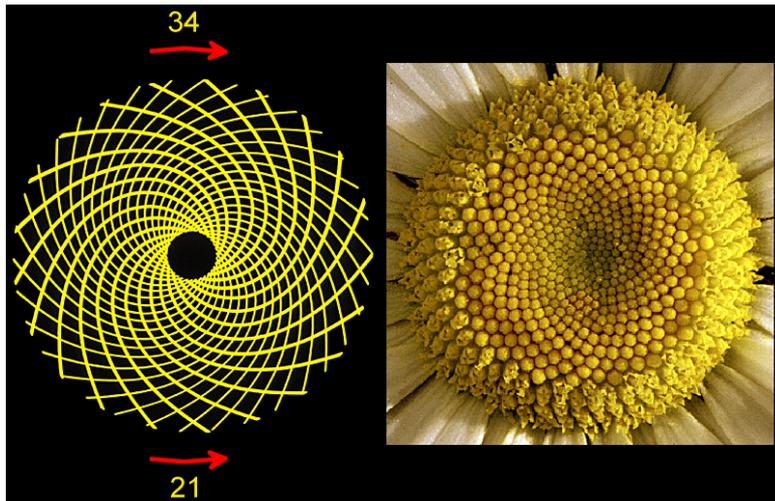
¿Qué tiene que ver esto contigo?

Los números de la naturaleza



Sucesión de Fibonacci

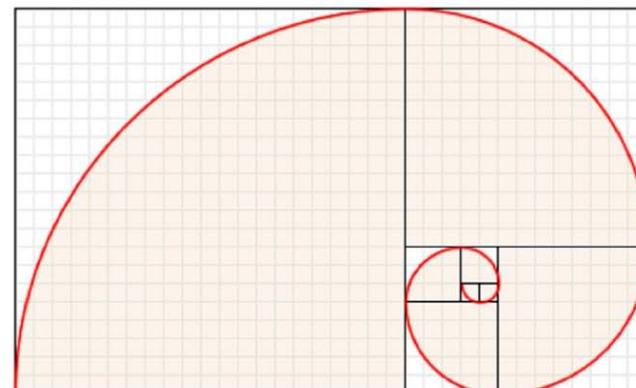
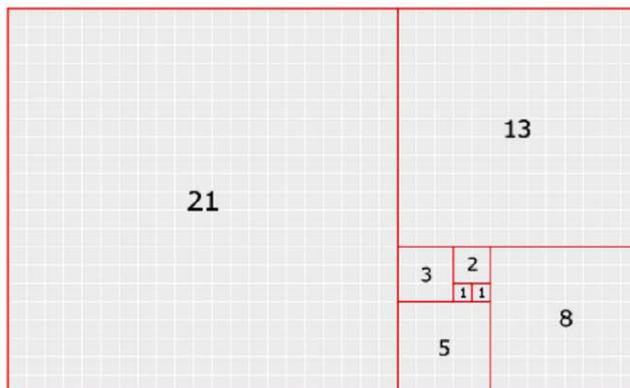
0 1 1 2 3 5 8 13 **21** **34** 55 89 144 233 377 610 987 1.597



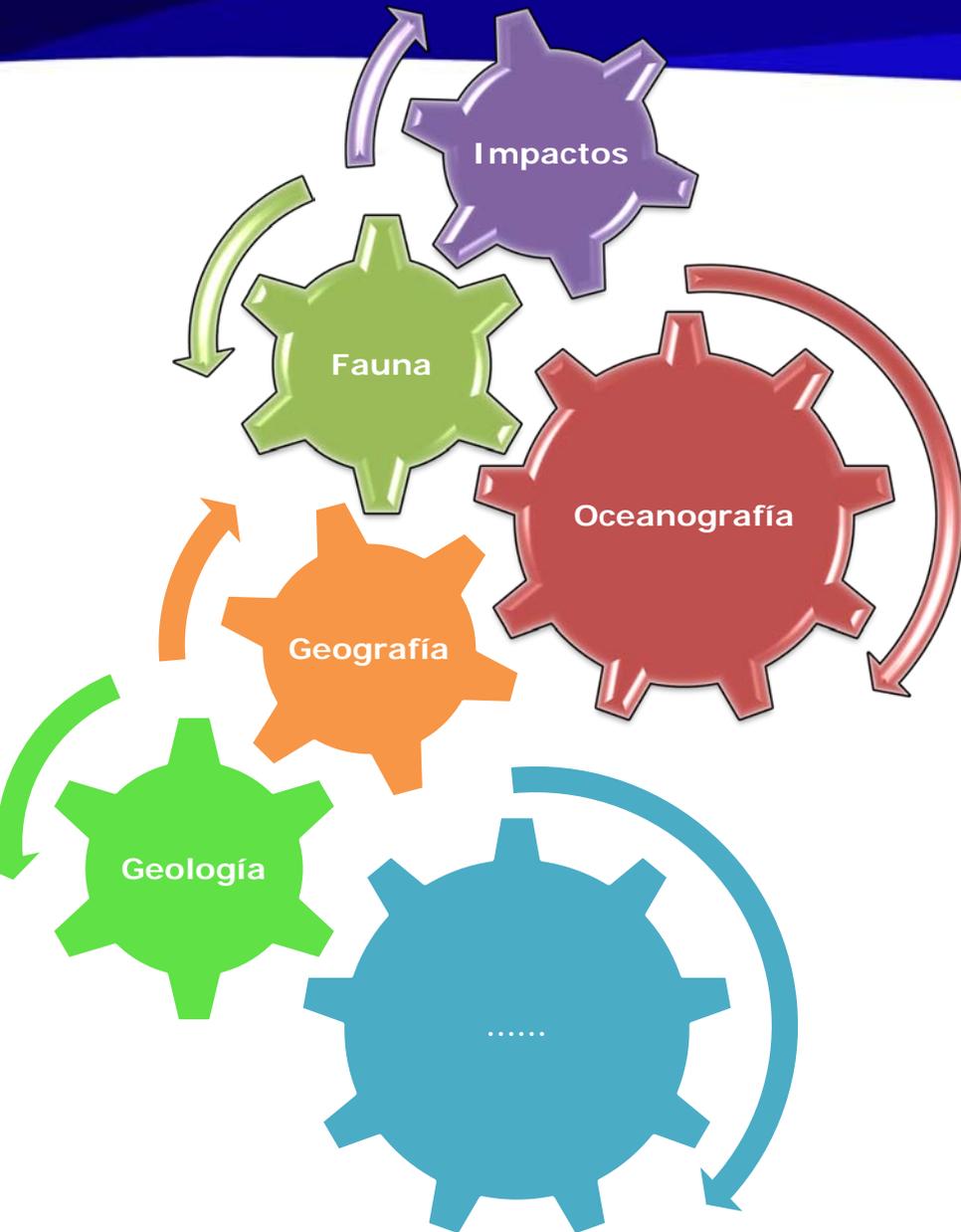
$0+1=1$
 $0\ 1+1=2$
 $0\ 1\ 1+2=3$
 $0\ 1\ 1\ 2+3=5$
 $0\ 1\ 1\ 2\ 3+5=8$
 $0\ 1\ 1\ 2\ 3\ 5+8=13$
etc



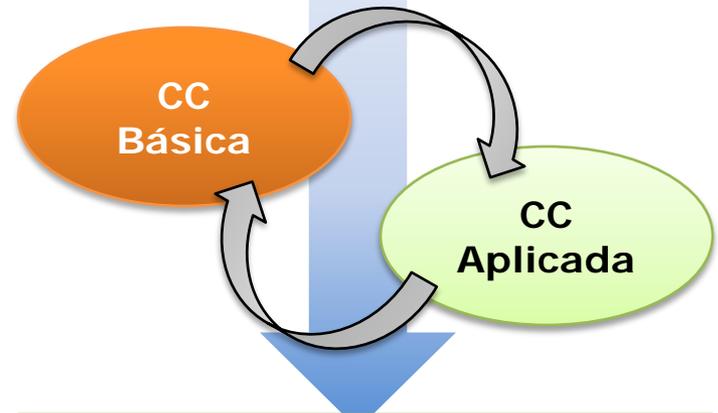
Leonardo de Pisa (1202)



¿Qué necesitamos saber?



Necesitamos saber como funciona el sistema (eco)



Responder a las necesidades de la sociedad

- Conservación
- Impacto
- Recursos
-



El Empirismo Aristotélico



La EXPERIENCIA, ligada a la percepción sensorial, como principal activo en la formación del conocimiento

Naturaleza

"la esencia de los seres que poseen en sí mismos y en cuanto tales el principio de su movimiento"

"el principio y causa del movimiento y de reposo en la cosa en que ella se halla, inmediatamente, por sí misma y no por accidente"

El Viaje Iniciático Alquimista



Cuatro Elementos Clásicos

Transmutación de los metales



Viaje iniciático de lo imperfecto hacia un estado perfecto, sano, incorruptible y eterno

Precursora de la ciencia moderna
(Método Científico)

Solución a nuestros problemas



Sixto Ríos: "Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones, que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica"

XVI-XVII

Método Científico

Galileo Galilei

**Método Deductivo
(Matemáticas)**

Consiste en encadenar conocimientos que se suponen ciertos para obtener nuevos conocimientos, o sea, para obtener nuevas proposiciones iniciales

XIX

Estadística

Charles Sanders Peirce

"La ciencia logra probabilidades estadísticas, no certezas"

Finales del XIX

"Biología=0"

Federico Engels

Dialéctica de la Naturaleza

Se lamenta de lo poco que estaban introducidas las Matemáticas en la Biología

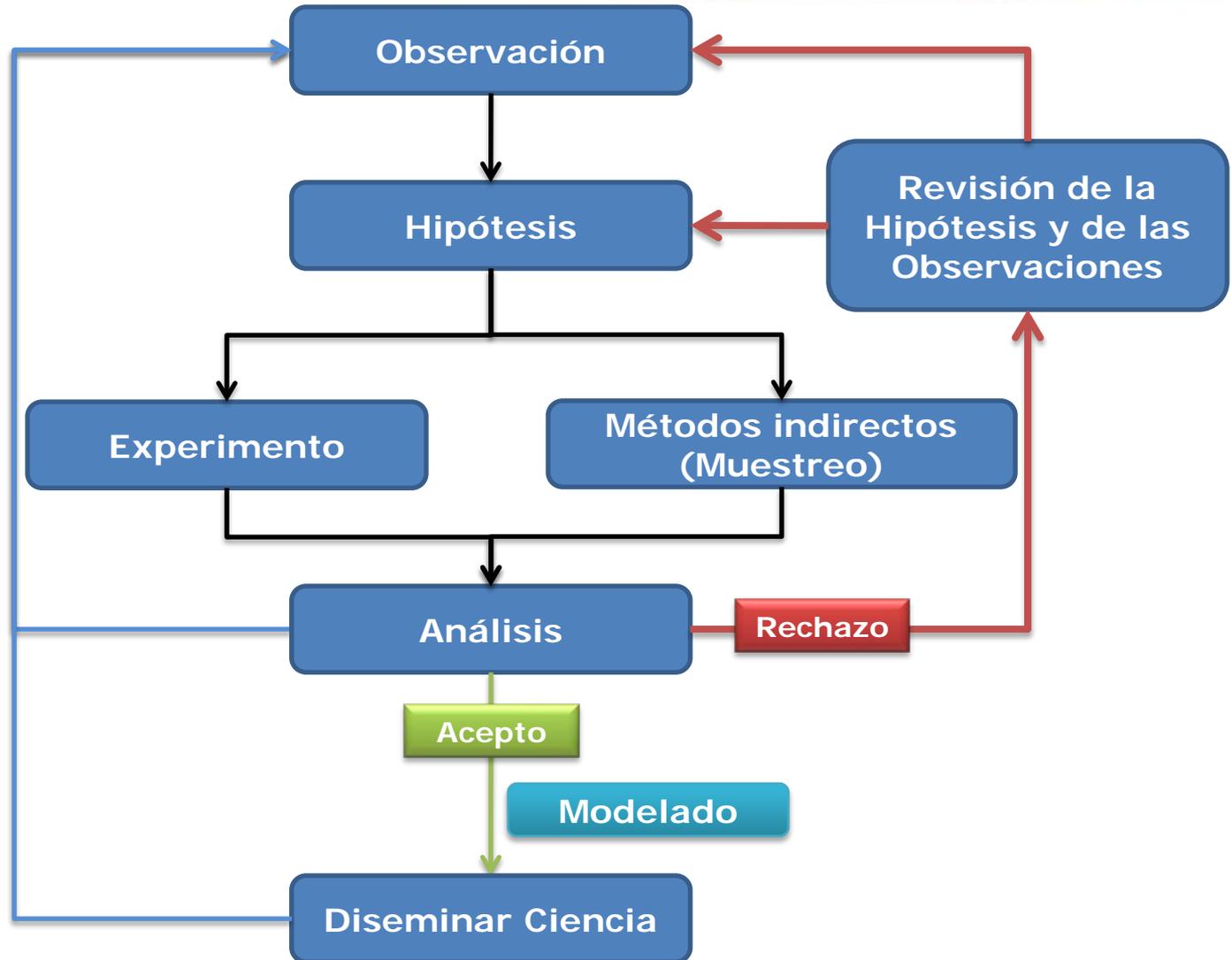
Principios XX

Modelado Dinámico de un Sistema

Lotka–Volterra

Impulso definitivo vínculo de la Biología con la Matemática

El método científico



Observación: Biología Marina vs CC Naturales



Observación: Biología Marina vs CC Naturales



Solo un 5% del suelo oceánico ha sido topografiado



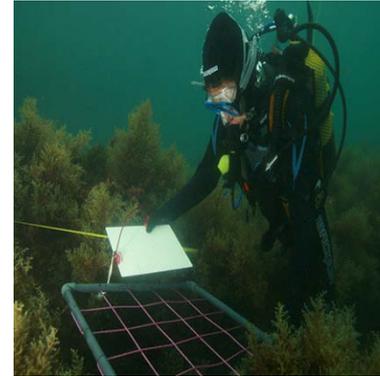
Se ha mapeado: Mercurio, Ceres, casi todo Venus y Marte

"Es un problema de compromiso"
"Podríamos mapear el océano profundo completo por 3 mil millones de dólares, menos de lo que cuesta una misión a Marte"

Respecto a la biología terrestre:

- En tierra fácil acceso a las zonas de estudio (hemos comparado Marte con el Océano)
- Necesidad de desarrollo de herramientas específicas
-

Los datos en el mar



Se tiene explorado muy poco
La información es escasa, con poca información estacional
Las series temporales son cortas
El número de variables disponibles son pocas



Con muy poco tenemos que resolver importantes problemas para la sociedad

El 24% (50%) de la proteína animal consumida procede del mar
Es la principal reserva de alimentos

1

Explicar la naturaleza

2

El muestreo en Biología Marina

3

Las matemáticas en la Biología Marina

4

¿Qué tiene que ver esto contigo?

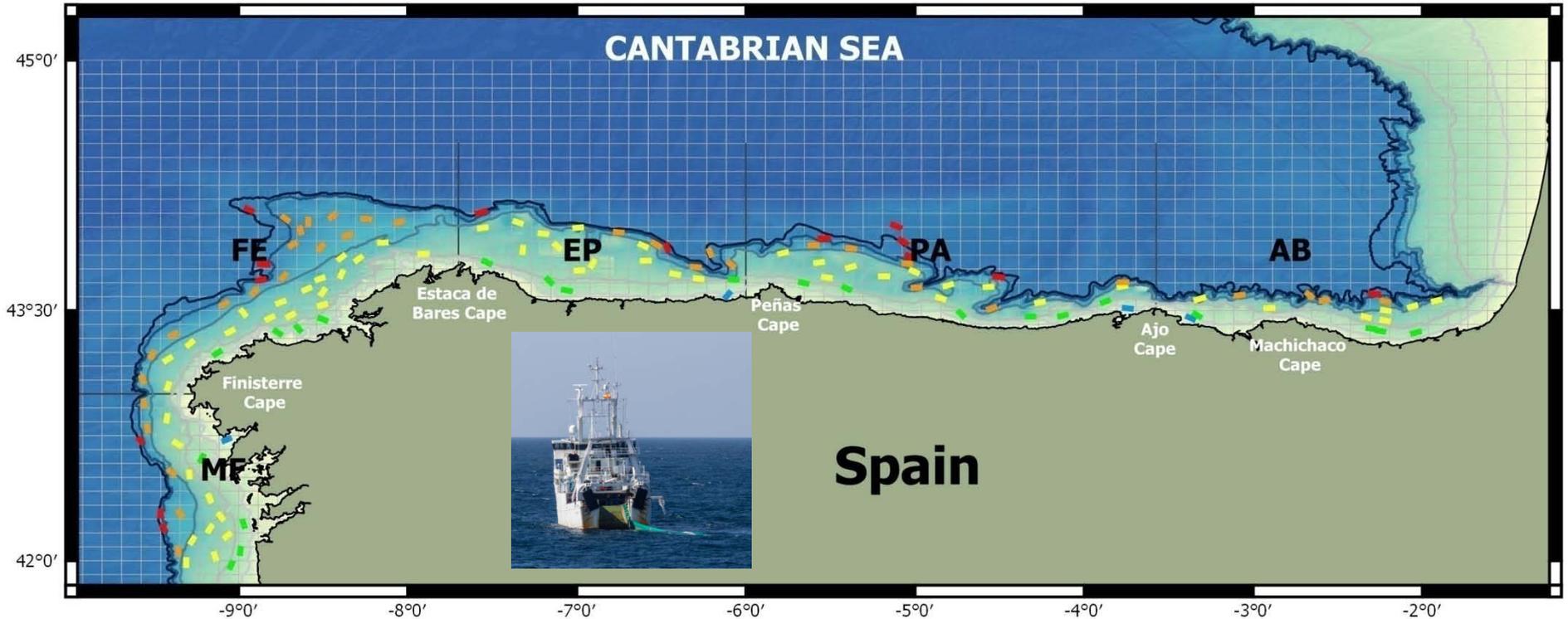
EL MUESTREO EN BIOLOGÍA MARINA



A modo de recordatorio



En cada punto de color tomamos una muestra desde 1983



La toma de muestras



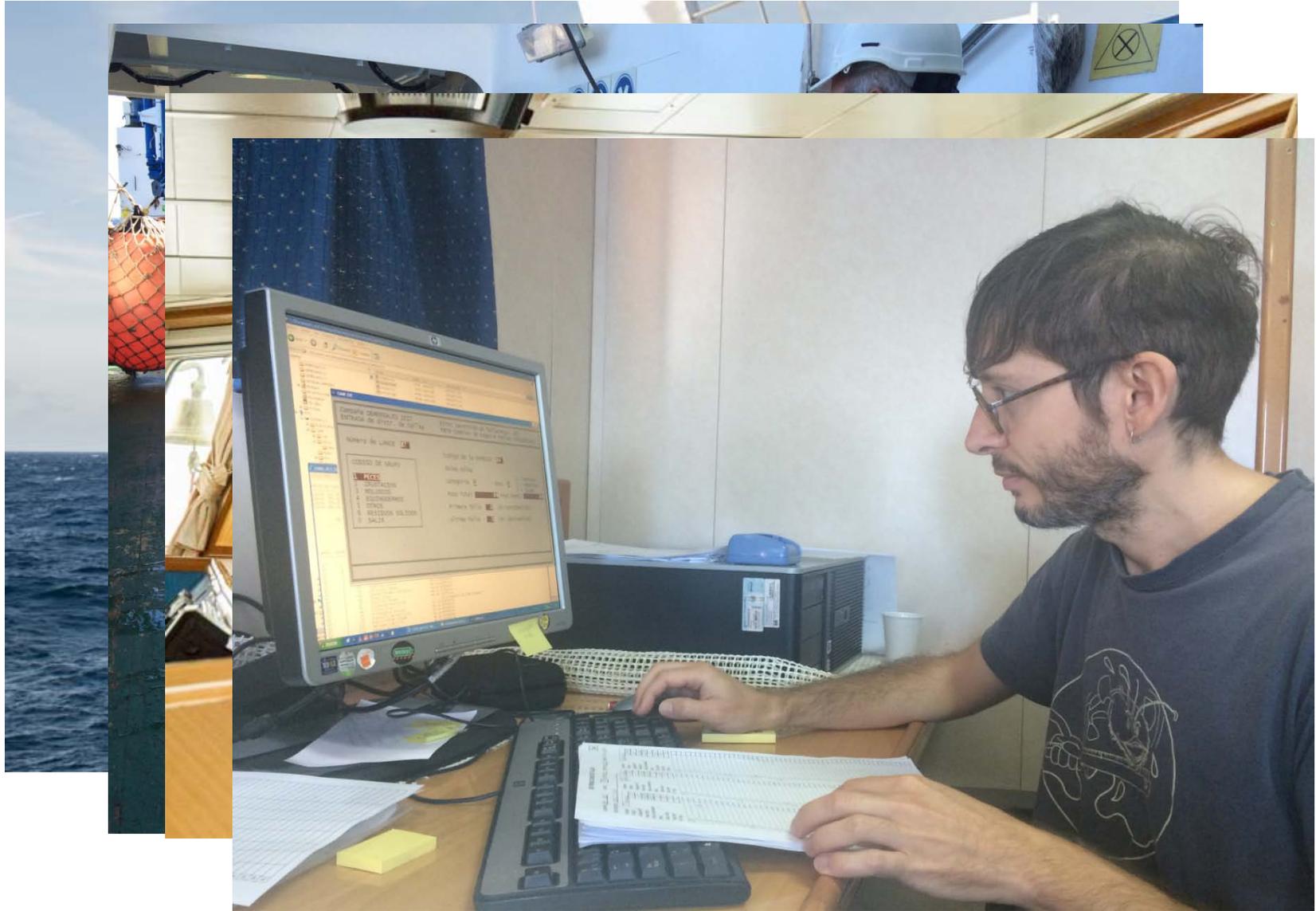
Campaña Oceanográfica



Campaña Oceanográfica



Campaña Oceanográfica



Campaña Oceanográfica



Campaña multidisciplinar, multitarea



Censo de aves /
avistamiento cetáceos

Variables ambientales:
- Temperatura/salinidad
- Sedimentos

**Almacenamiento en bases de
datos**

Identificación
de especies:
triado, conteo
y pesado

Tallas y
edades:
extracción
otolitos

Análisis de
contenidos
estomacales

Marcado
de rayas y
tiburones

Muestras para
contaminación

22 científicos a bordo

1

Explicar la naturaleza

2

El muestreo en Biología Marina

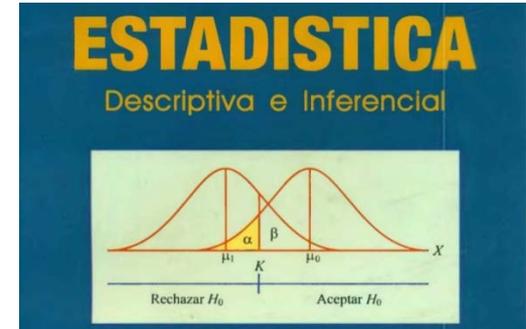
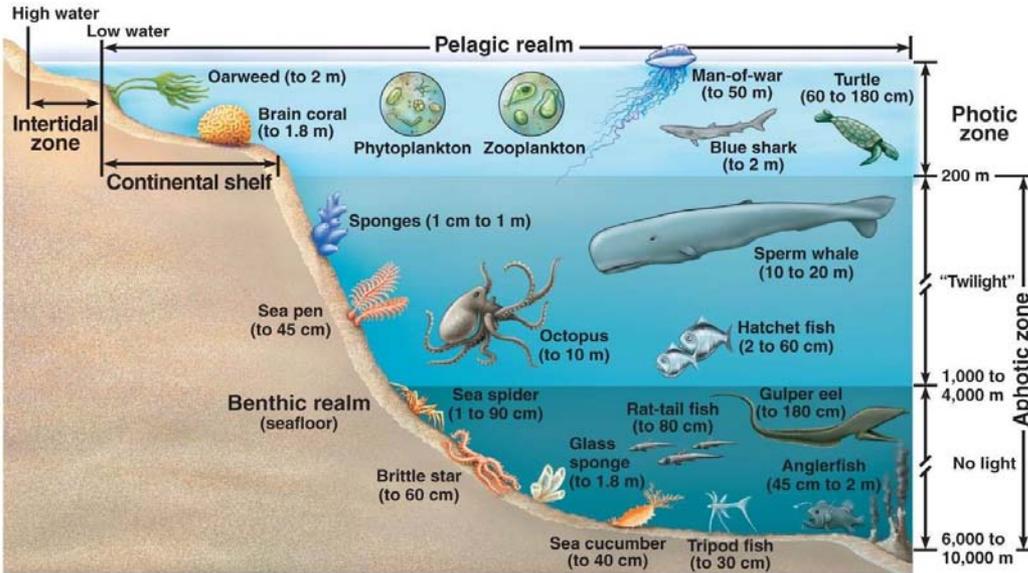
3

Las matemáticas en la Biología Marina

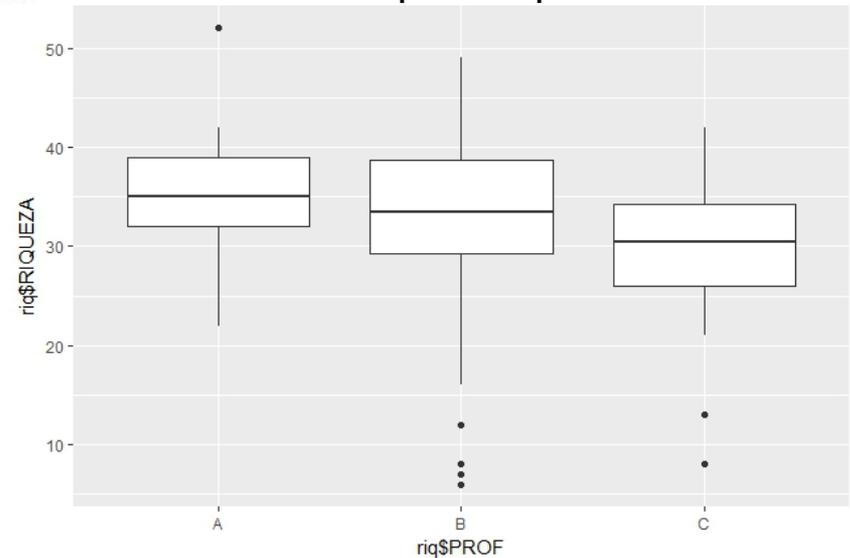
4

¿Qué tiene que ver esto contigo?

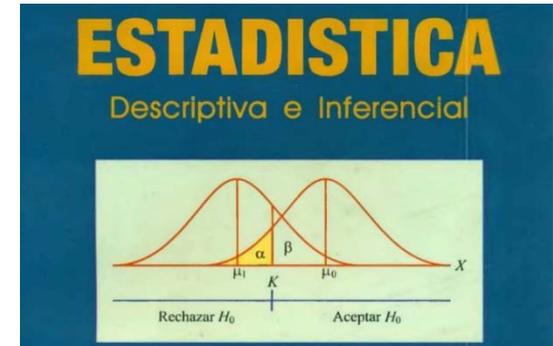
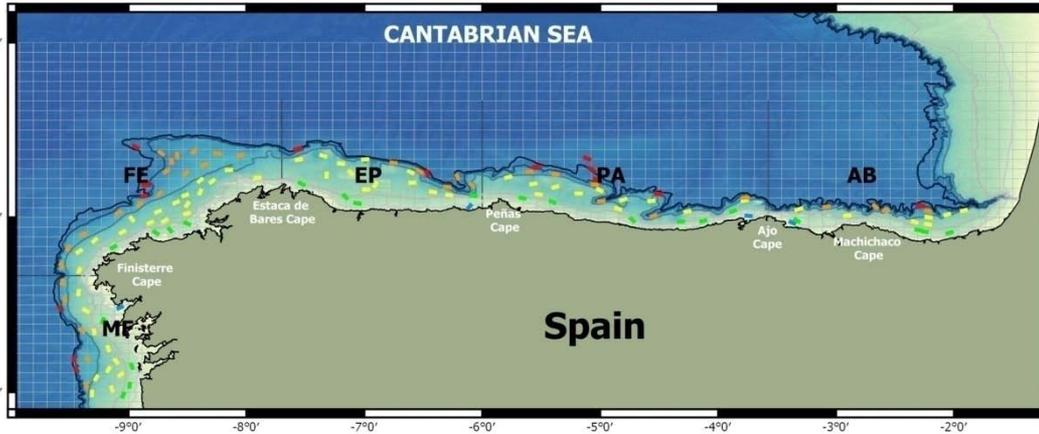
ANÁLISIS UNIVARIANTE: Datos discretos



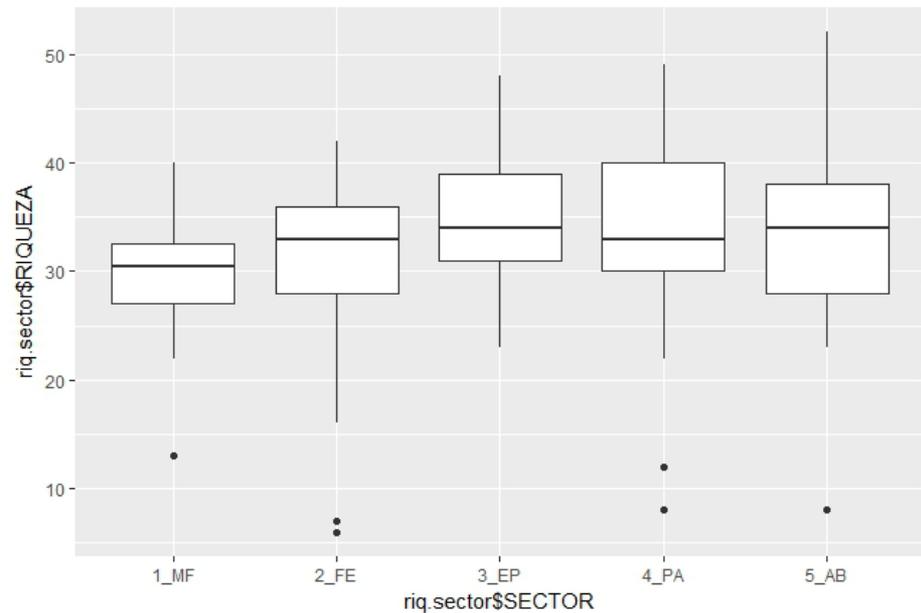
Número especies/profundidad



ANÁLISIS UNIVARIANTE: Datos discretos



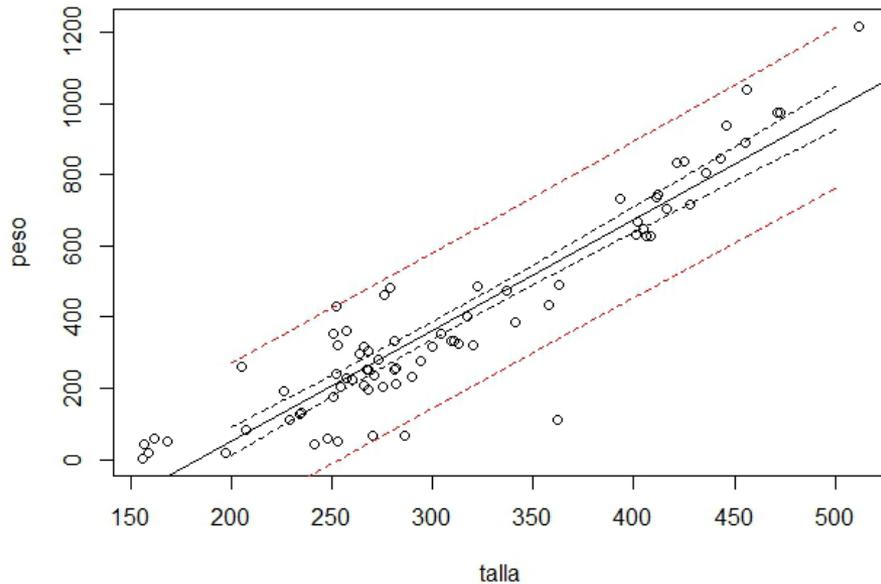
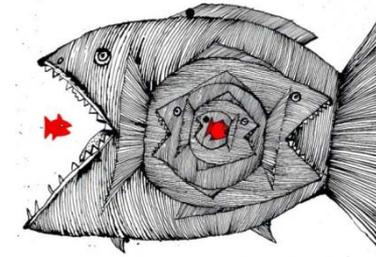
Número especies/sector



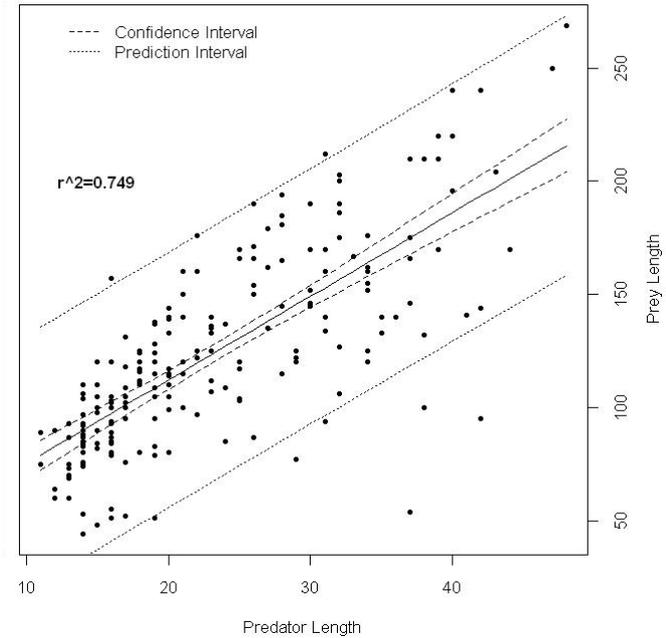
ANÁLISIS UNIVARIANTE: Datos continuos



$$Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon$$



$$r^2 = 0.85$$

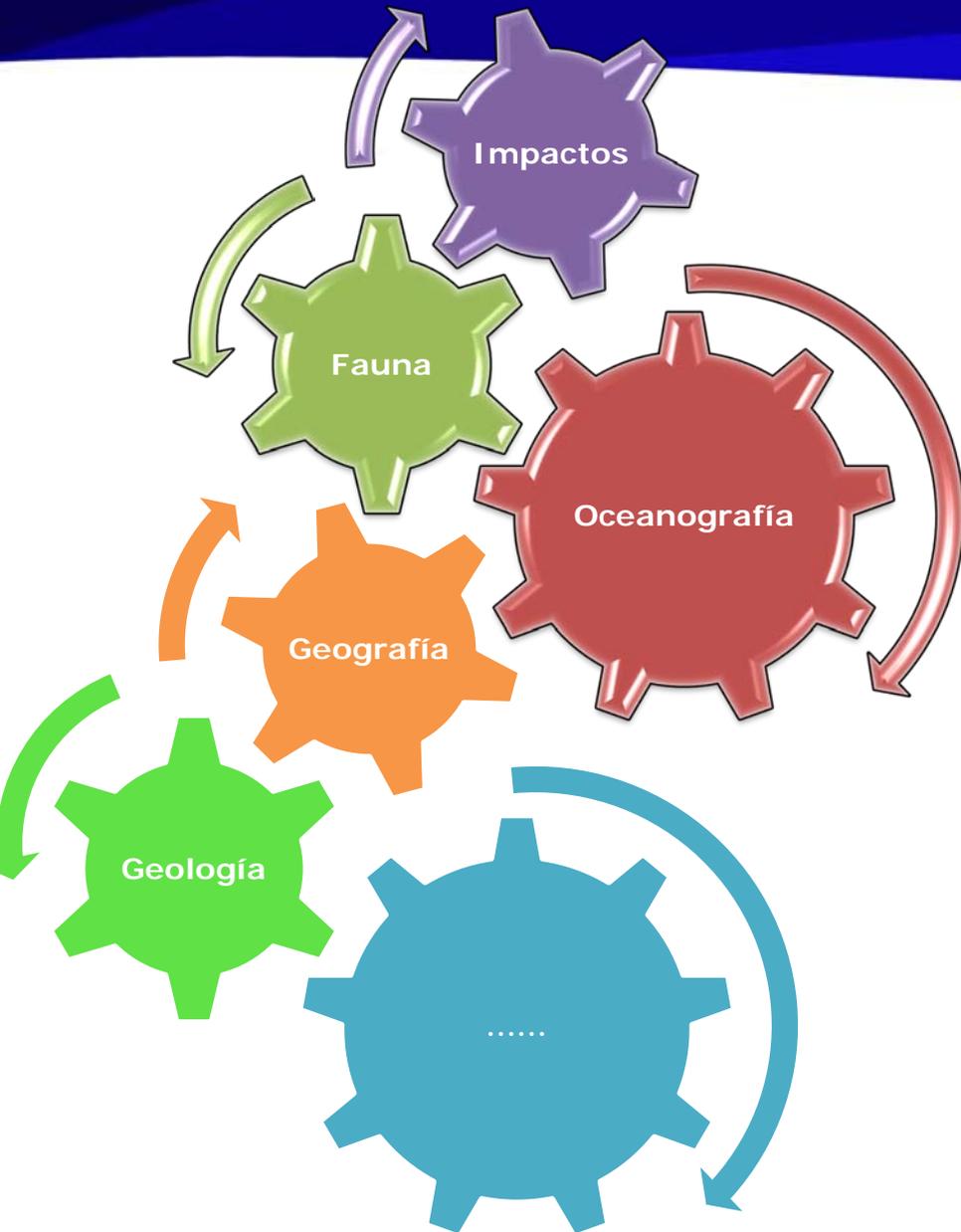


$$r^2 = 0.75$$

La realidad multivariante de la naturaleza

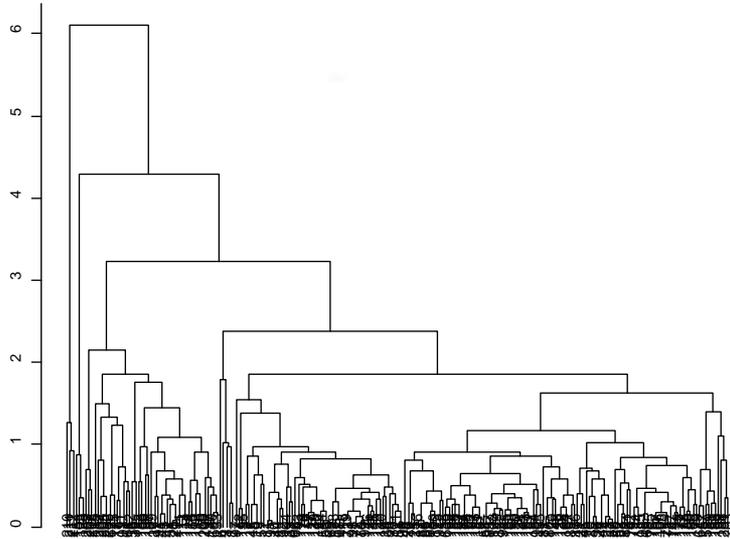


¿Qué necesitamos saber?



Para que un análisis se considere multivariado todas las variables deben ser aleatorias y relacionadas de tal manera que el efecto que producen no pueda ser interpretado de manera individual

¿Como aplicamos las metodologías multivariantes?



Aplicación a casos reales



Problema ambiental



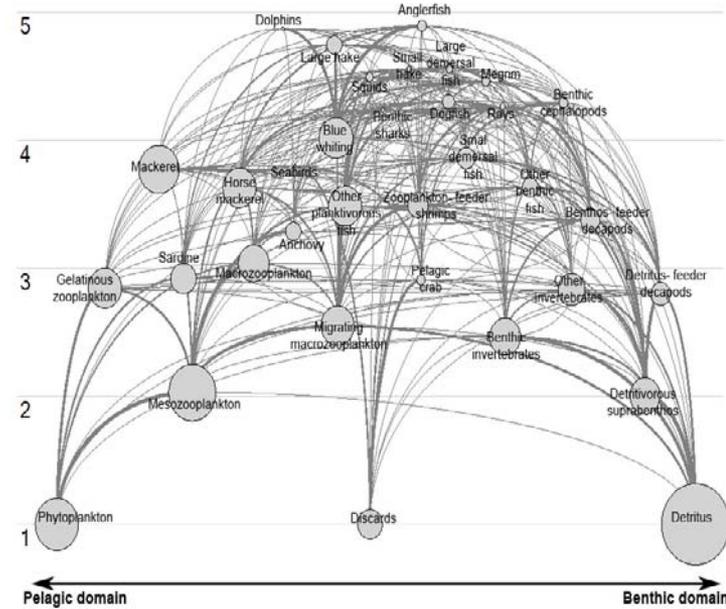
Partiendo de una Hipótesis equivocada

Problema recursos



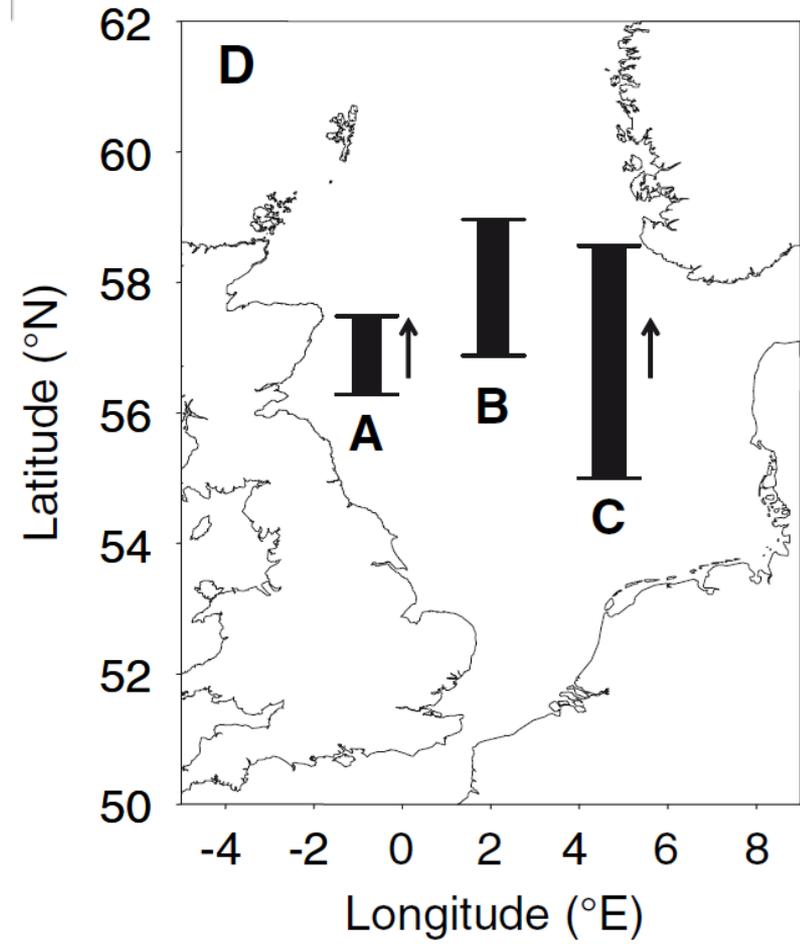
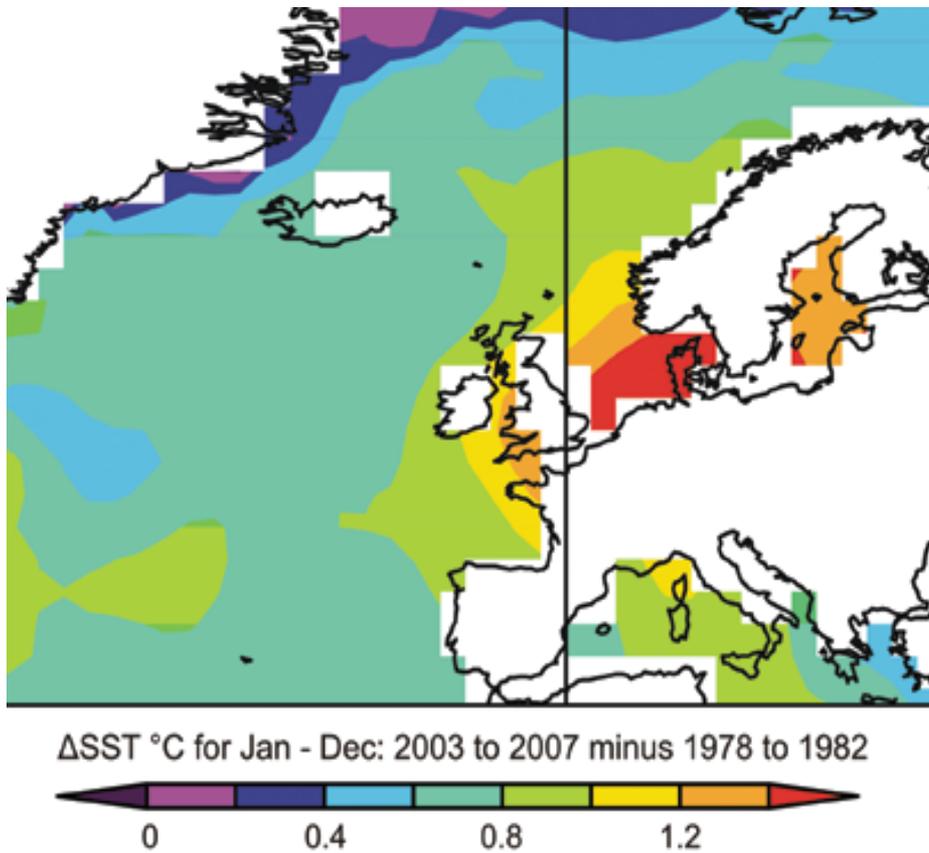
Cuando no hay información experimental

Problema Global



Una solución cada vez más complicada

Efectos del cambio climático Mar Cantábrico



Pero la idea original fue....



Las leyendas "urbanas" de la campaña



Antes sí
que se
trabajaba

¡Antes
había más
captura!

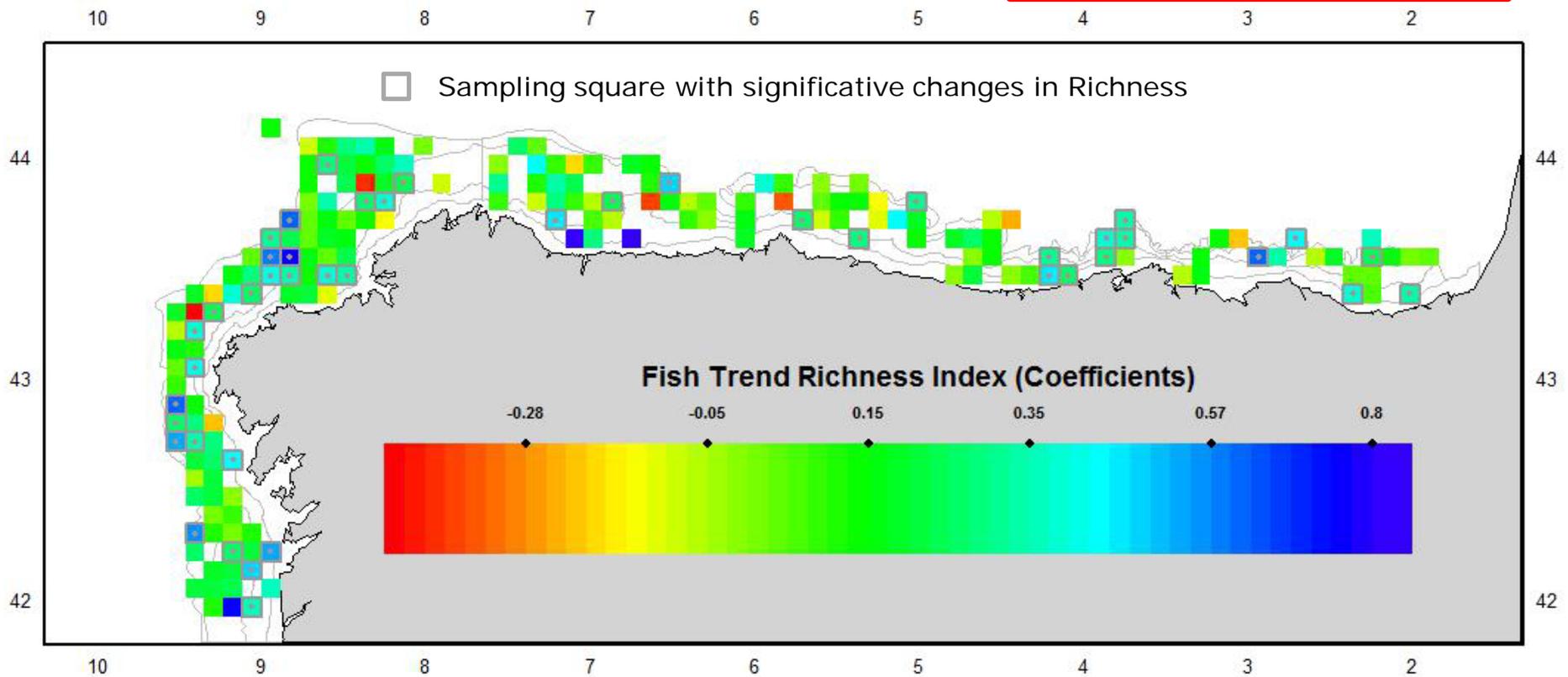
Ahora hay
menos
especies

Nuestra memoria nos hace trampas



Modelo Lineal Generalizado Anidado (1983-2010)

Riqueza (Numero de especies) = año + profundidad + año: estación de muestreo

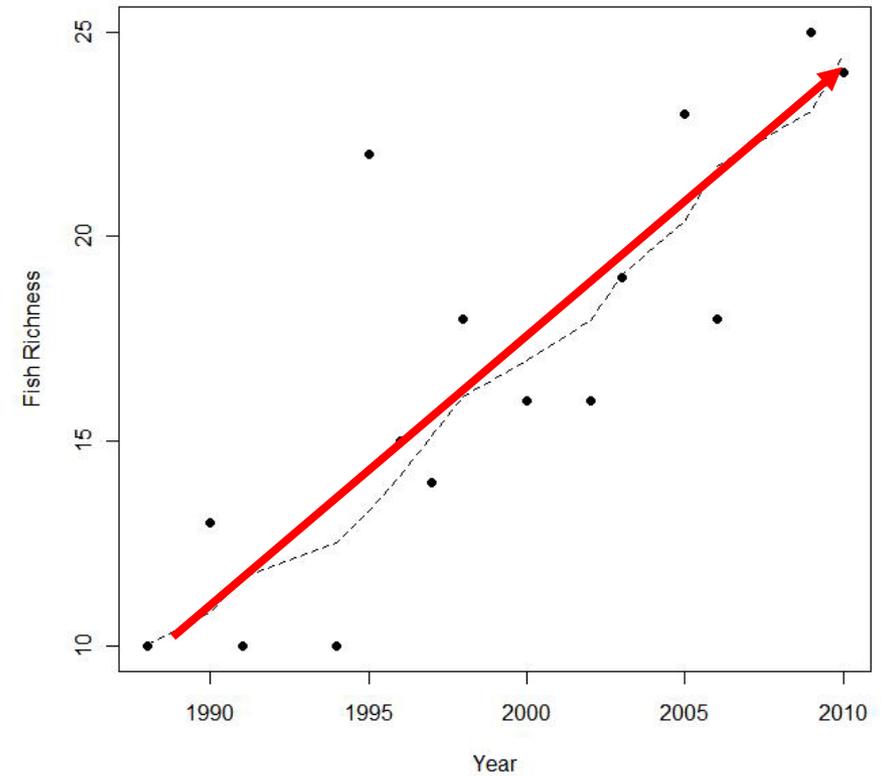
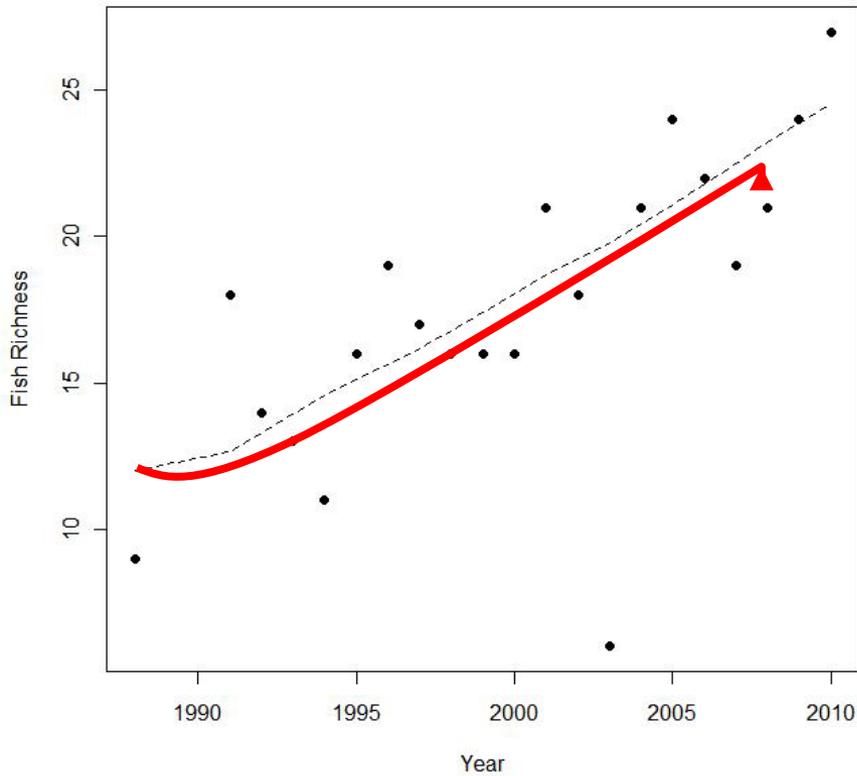


51.6% Varianza explicada

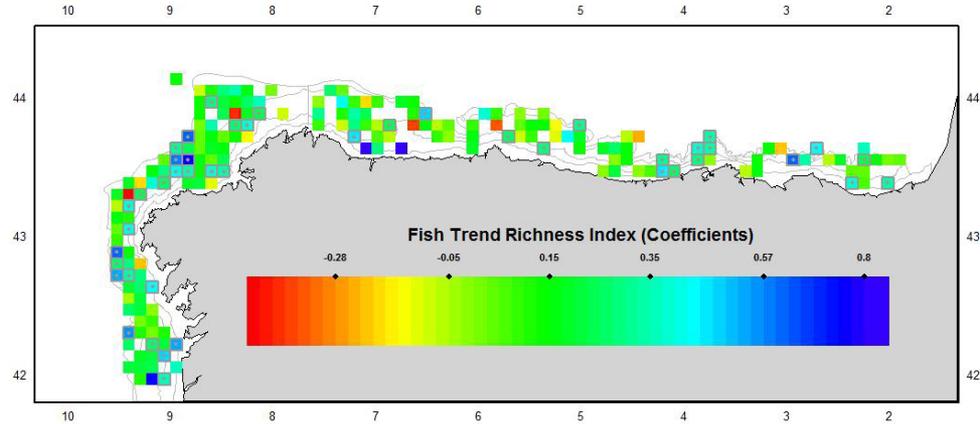
Que quiere decir



El número de especies en cada estación de muestreo aumenta



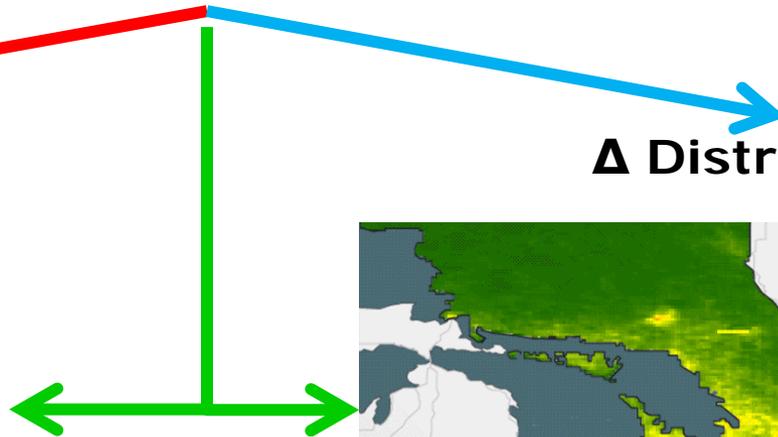
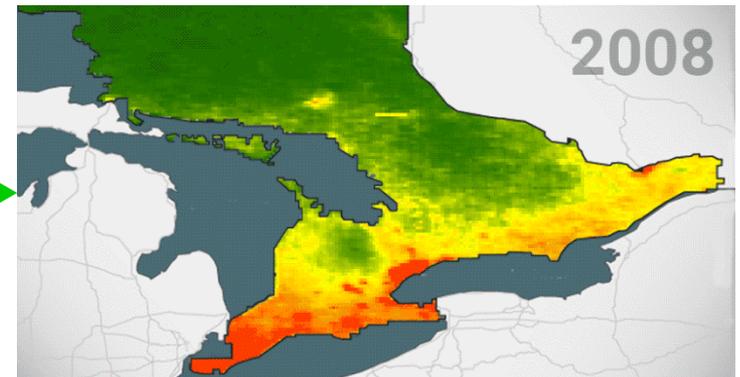
Nueva hipótesis



Δ Especies

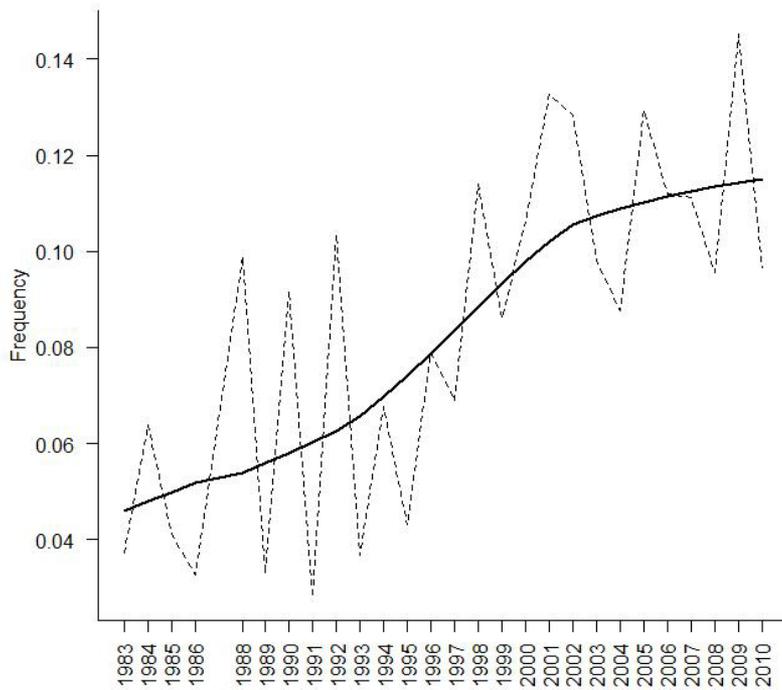


Δ Distribución

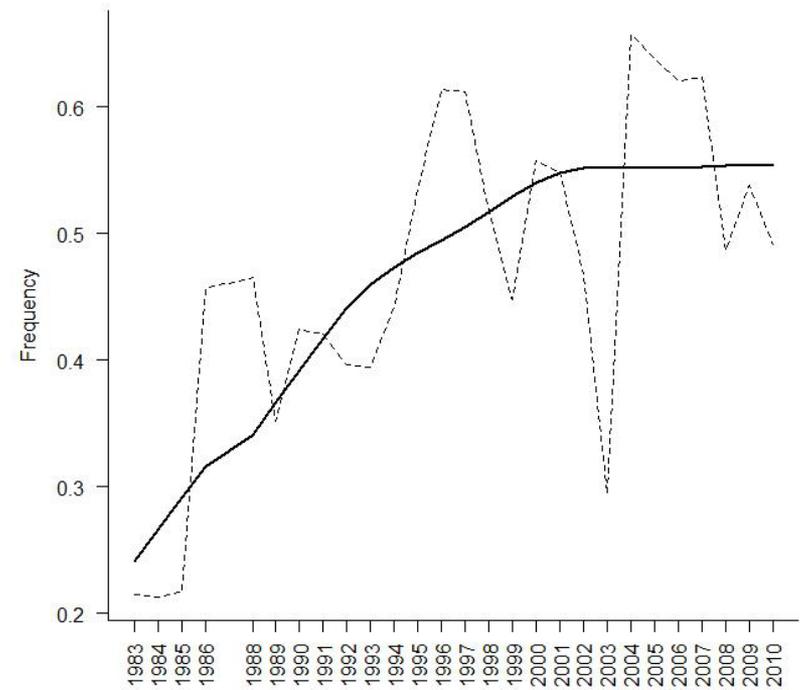




Leucoraja naevus



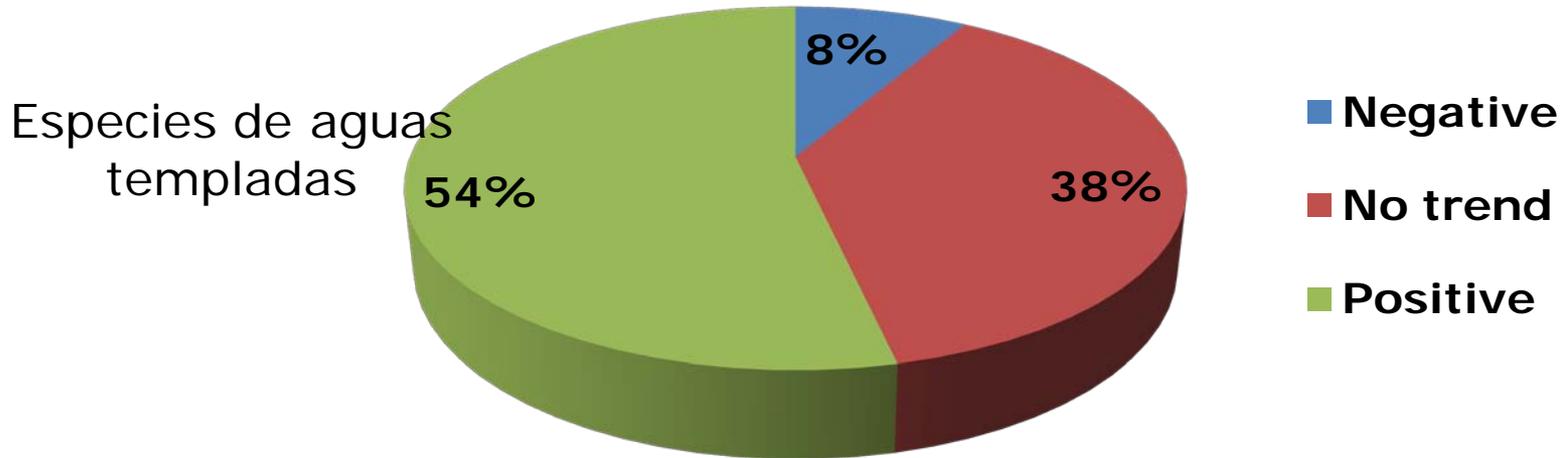
Chelidonichthys gurnardus



Frecuencia de ocurrencia



Porcentaje de especies con cambios en la FO

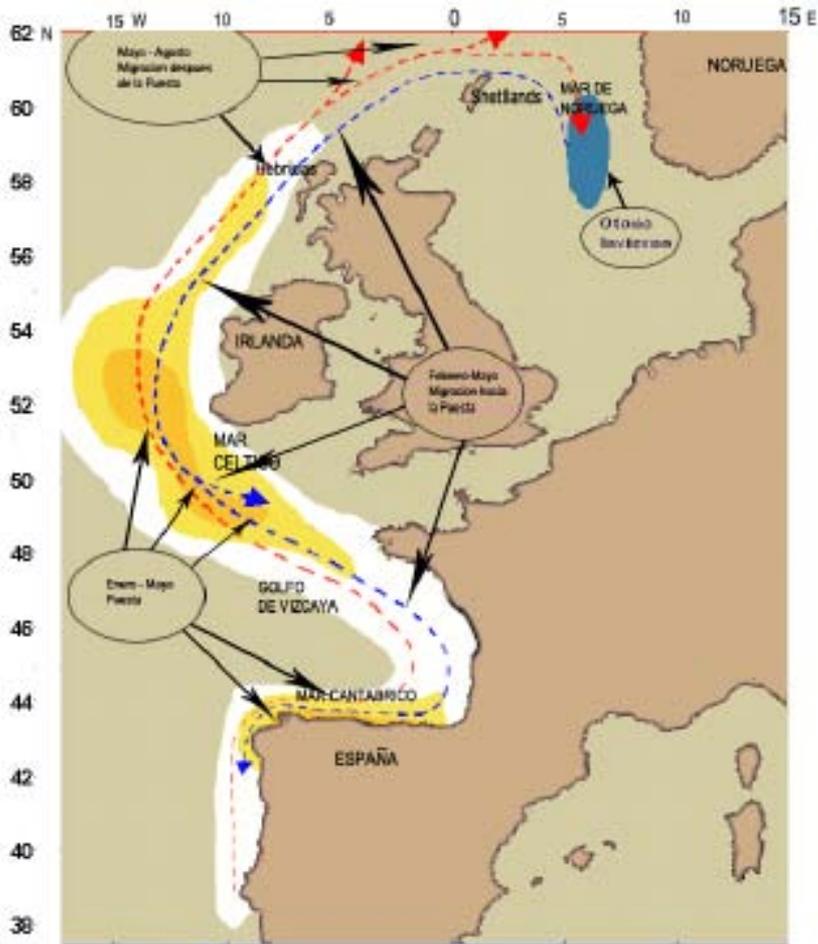


Las especies de aguas templadas aumentan su FO

Está aumentando la probabilidad de que aparezcan en nuestro muestreo

Aumenta la abundancia

No siempre tenemos información experimental



Caballa en el Mar Cantábrico en Primavera

No hay Campaña Experimental

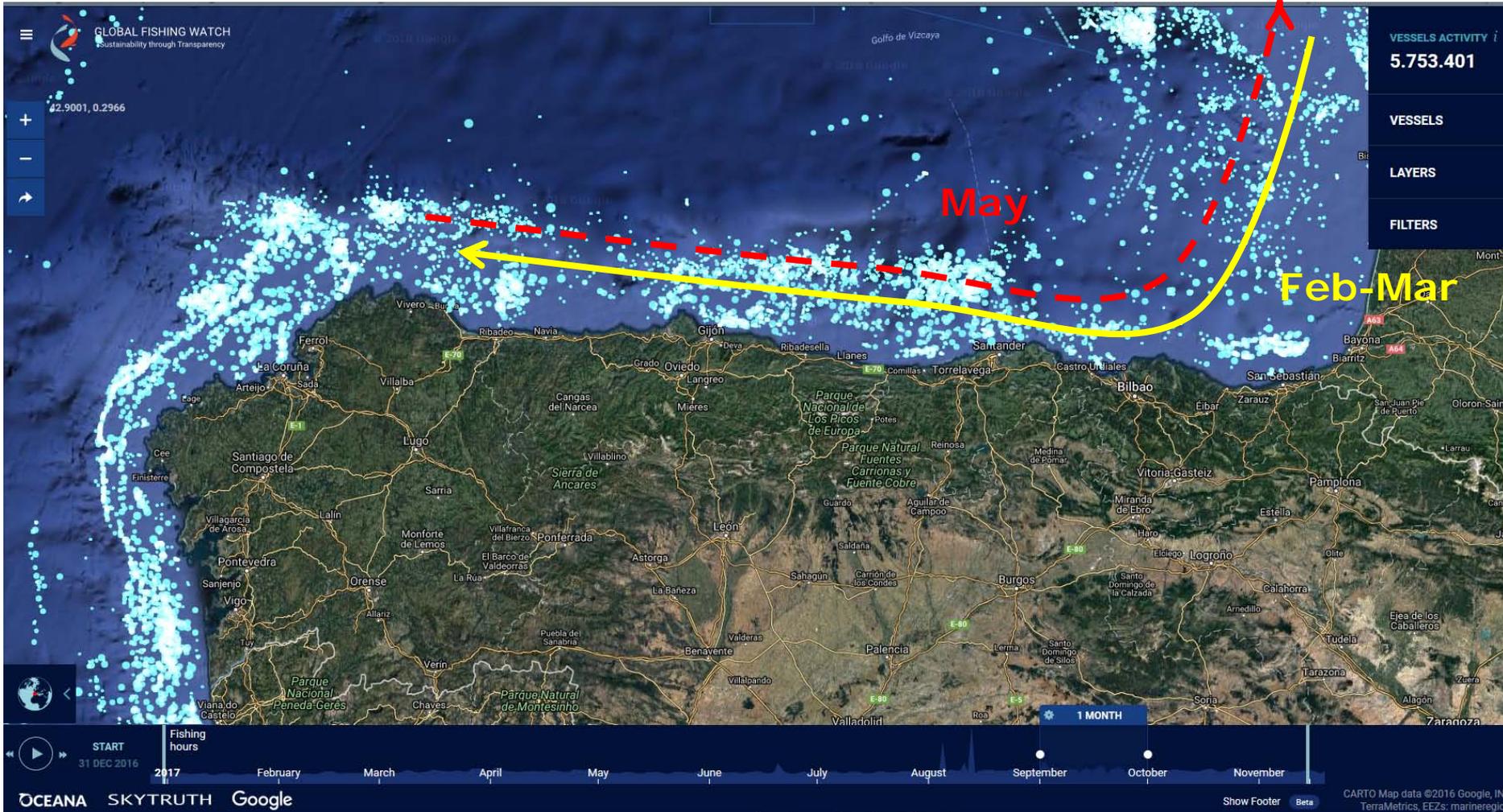


Caballa

Del Big Data a la migración de la Caballa

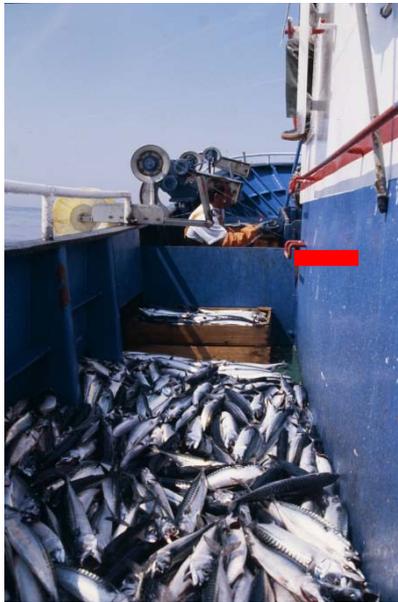


Del Big Data a la migración de la Caballa

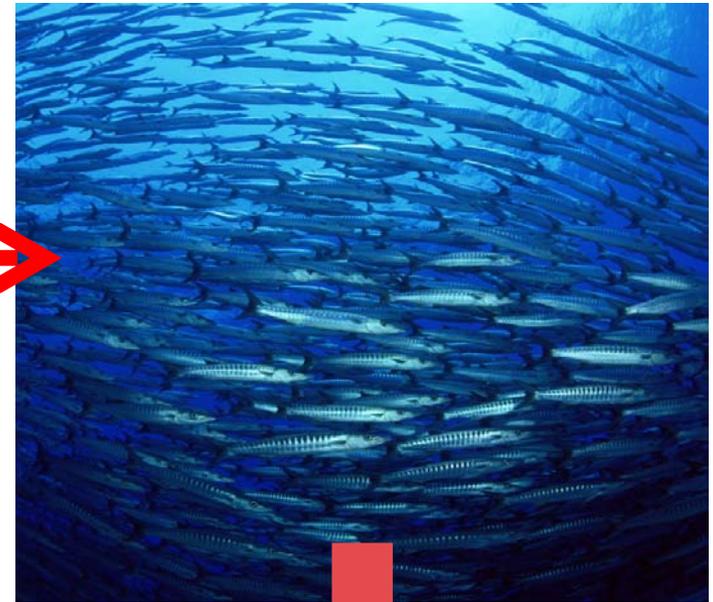




**Selección
Barcos
Caballa
(Capturas)**



Abundancias



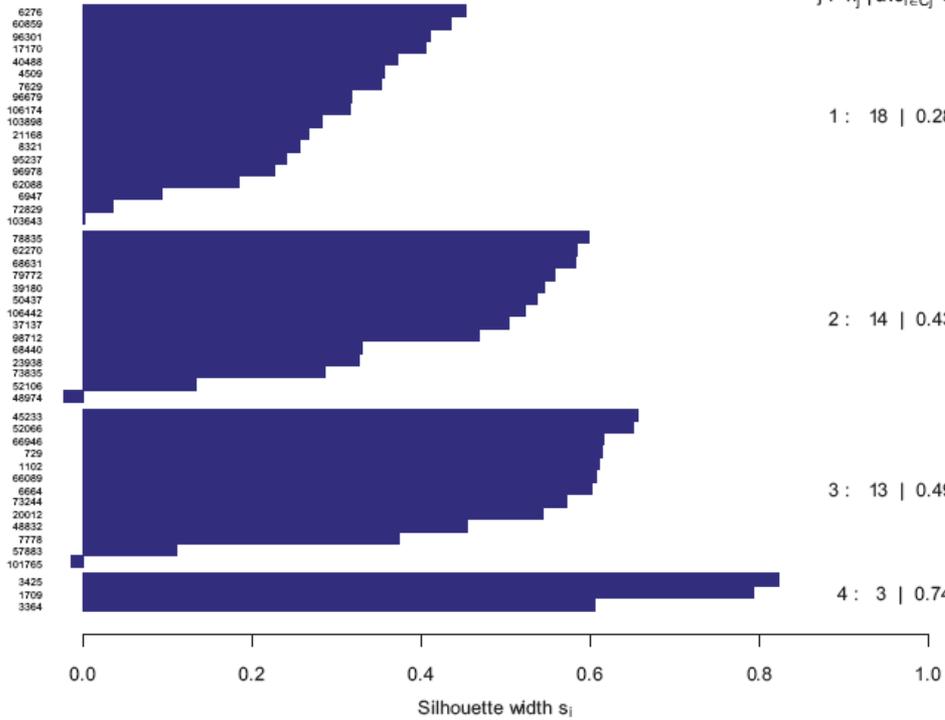
ANÁLISIS

Clasificación y Ordenación

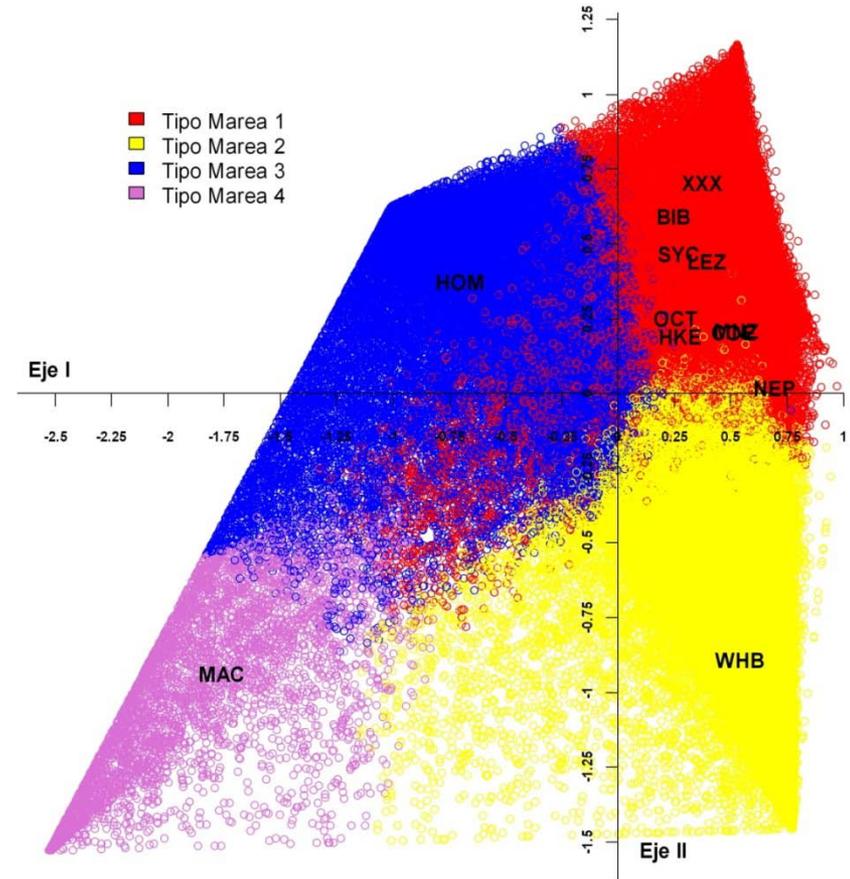


CLASIFICACIÓN

Silhouette plot of clara(x = b, k = k.best)
n = 48



ORDENACIÓN



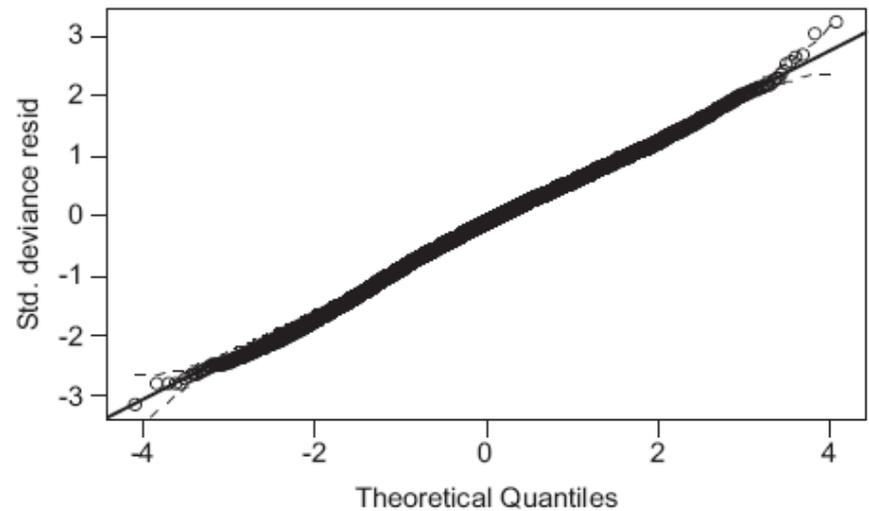
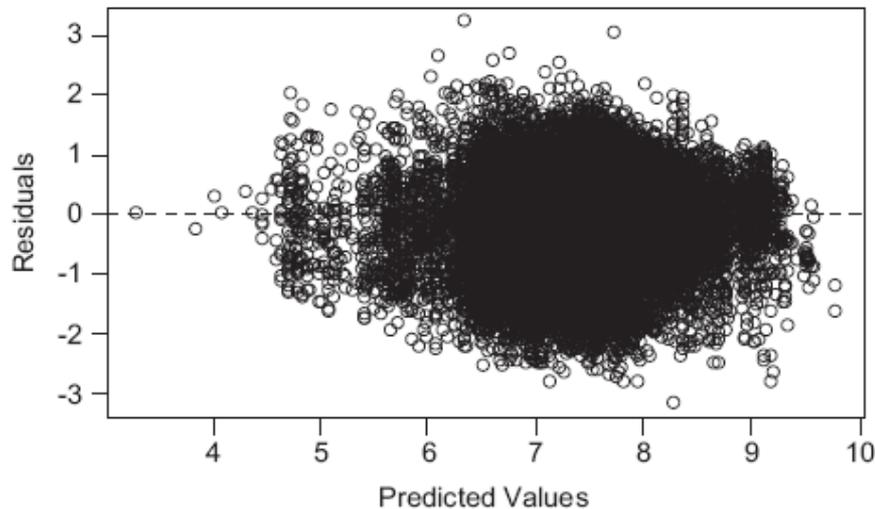


Transformando la captura en abundancia

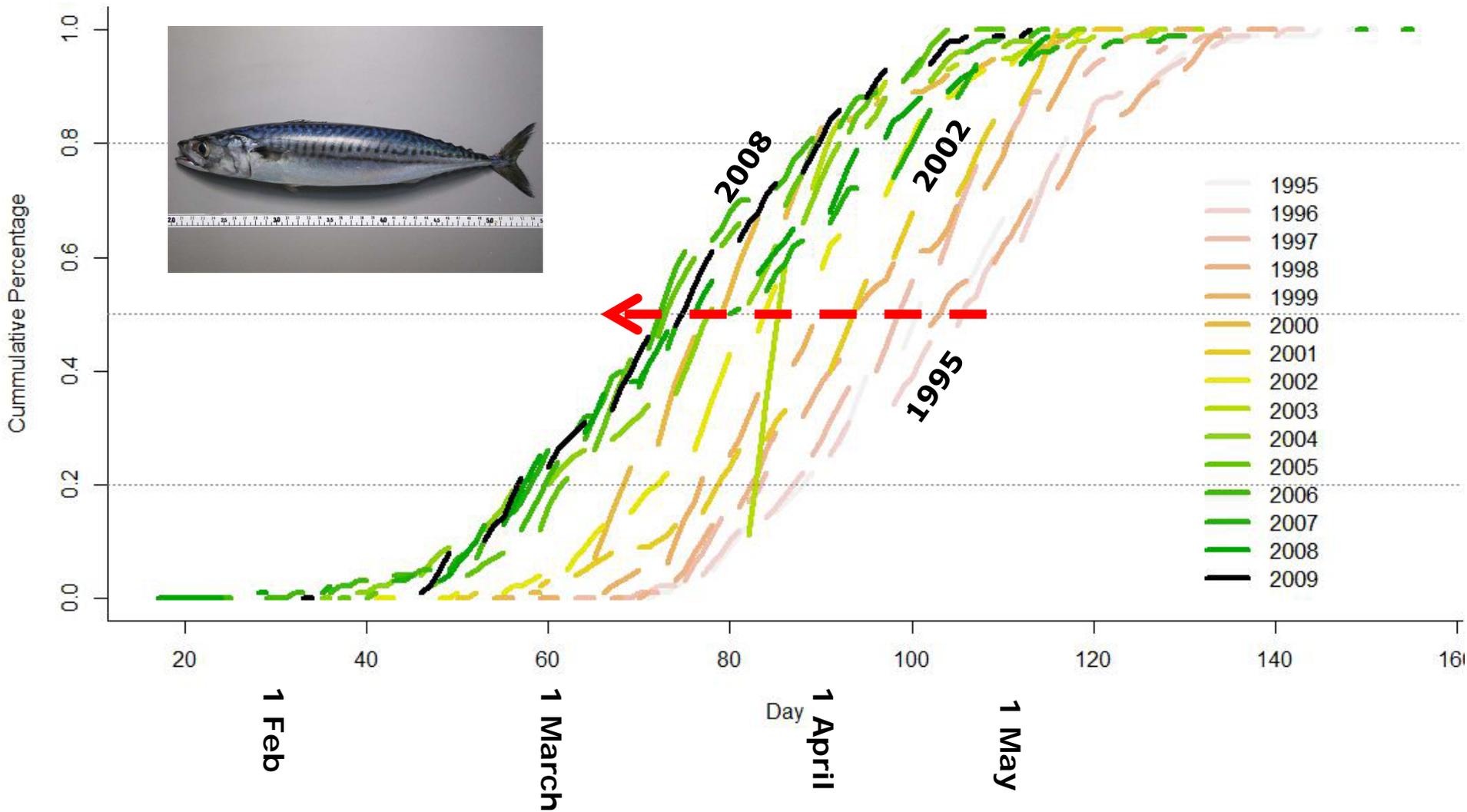
Eliminar de la captura la variación debida a causas ajenas a la abundancia

$CPUE \sim Year + Fortnight + Length + Age(Vessel)$
 $+ Year : Fortnight, family = Gamma(link = "log")$

48% Varianza explicada



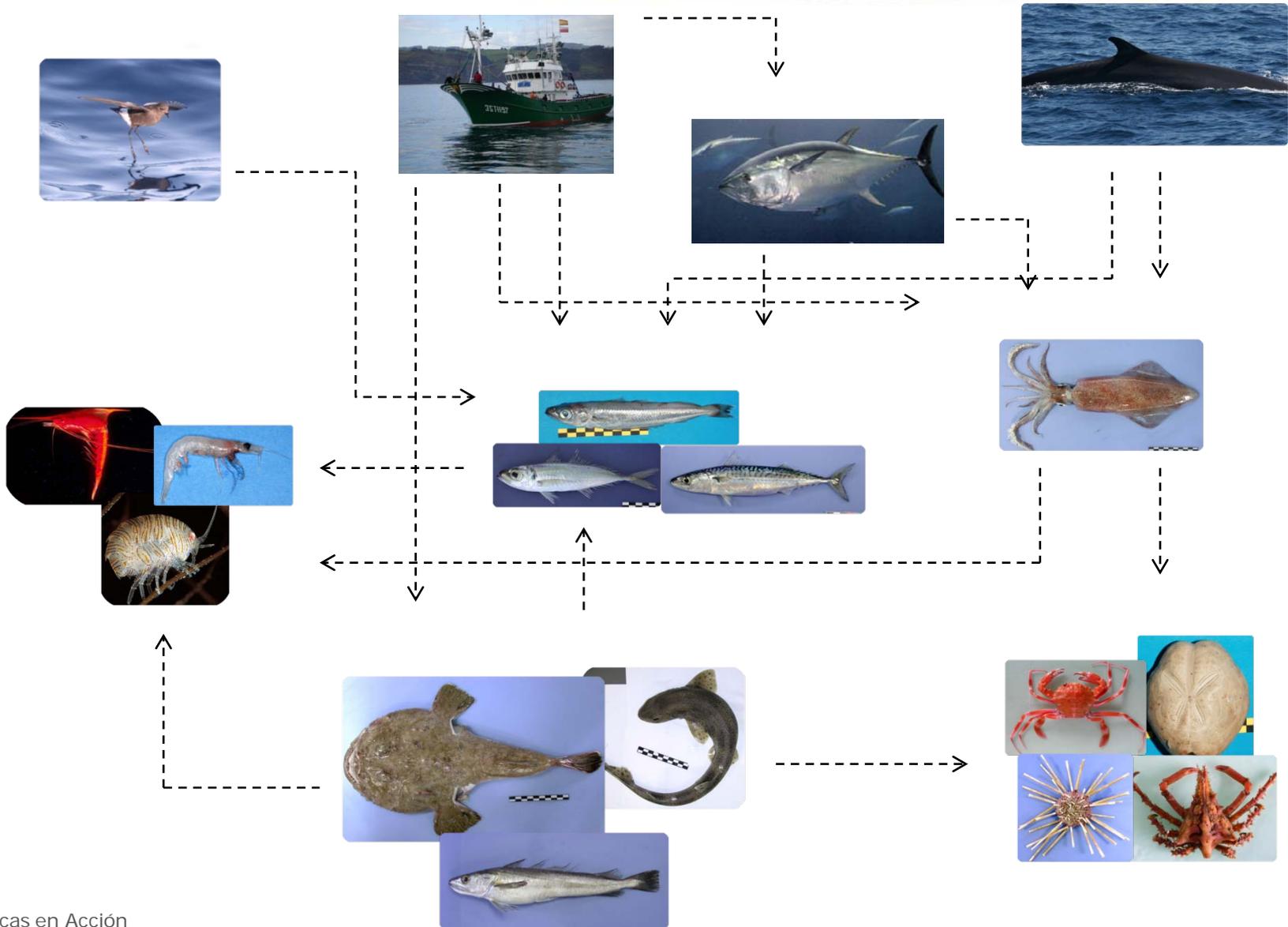
Se está produciendo un adelanto de la migración





¿CÓMO ESTUDIAMOS LAS
RELACIONES ENTRE LOS SERES
VIVOS EN UN ECOSISTEMA MARINO?

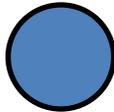
Redes Ecológicas



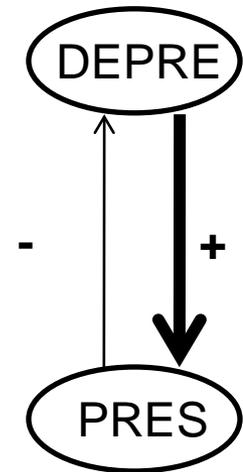
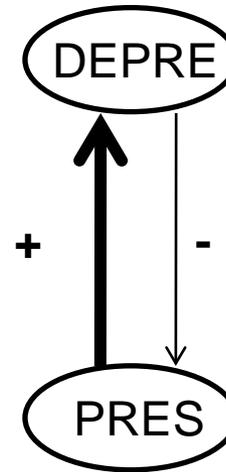
Relaciones Depredador-Presa



Abundancia del depredador



Abundancia de la presa



Relaciones depredador-presa: Ecuaciones diferenciales de Lotka-Volterra



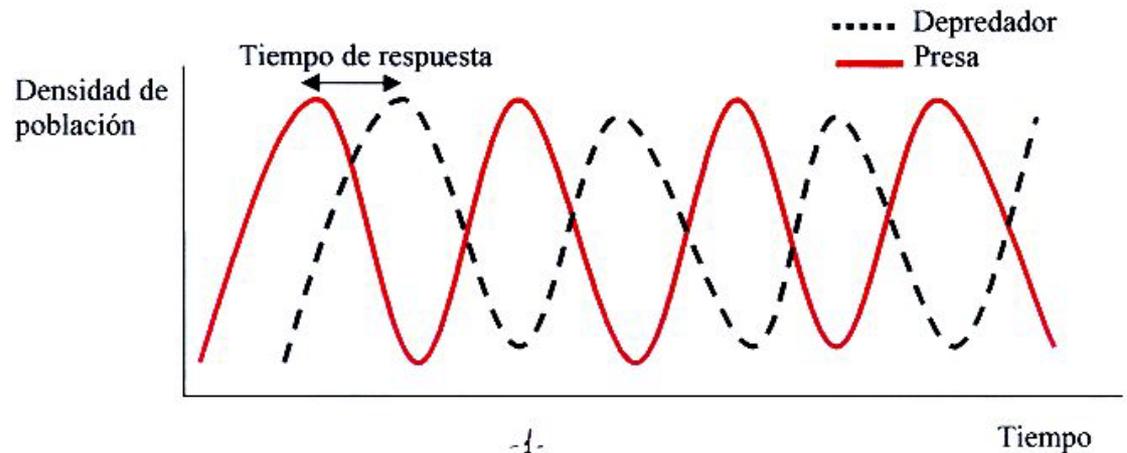
Alfred J. Lotka (1925)

$$\frac{dx}{dt} = x(\alpha - \beta y) \quad \Rightarrow \quad \frac{dx}{dt} = x\alpha - \beta xy$$

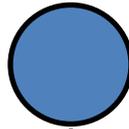
$$\frac{dy}{dt} = -y(\gamma - \delta x) \quad \Rightarrow \quad \frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y$$



Vito Volterra (1926)



Relaciones Depredador-Presa



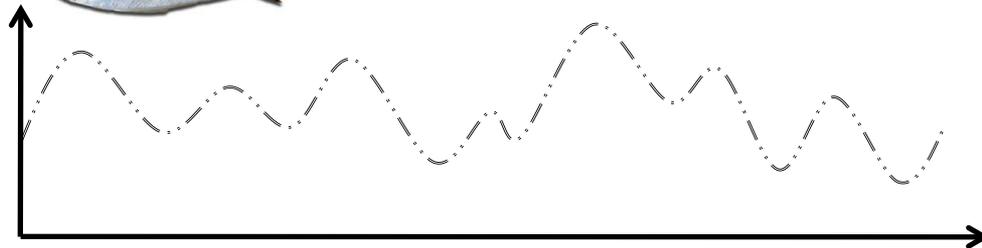
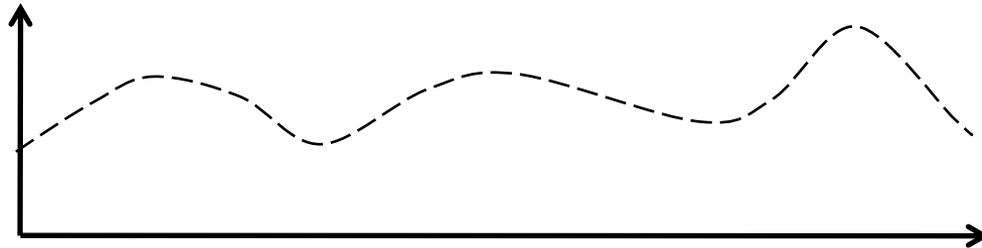
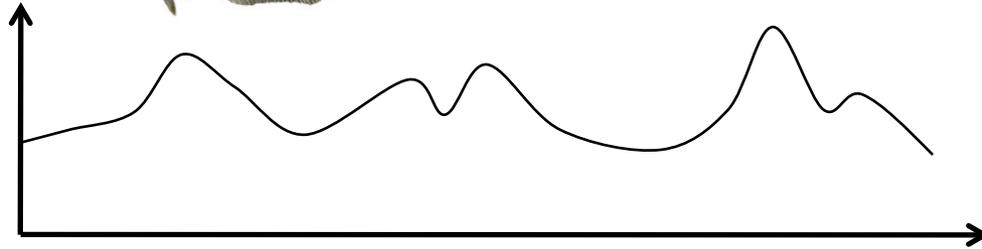
Abundancia del depredador

Número de presas que come el depredador

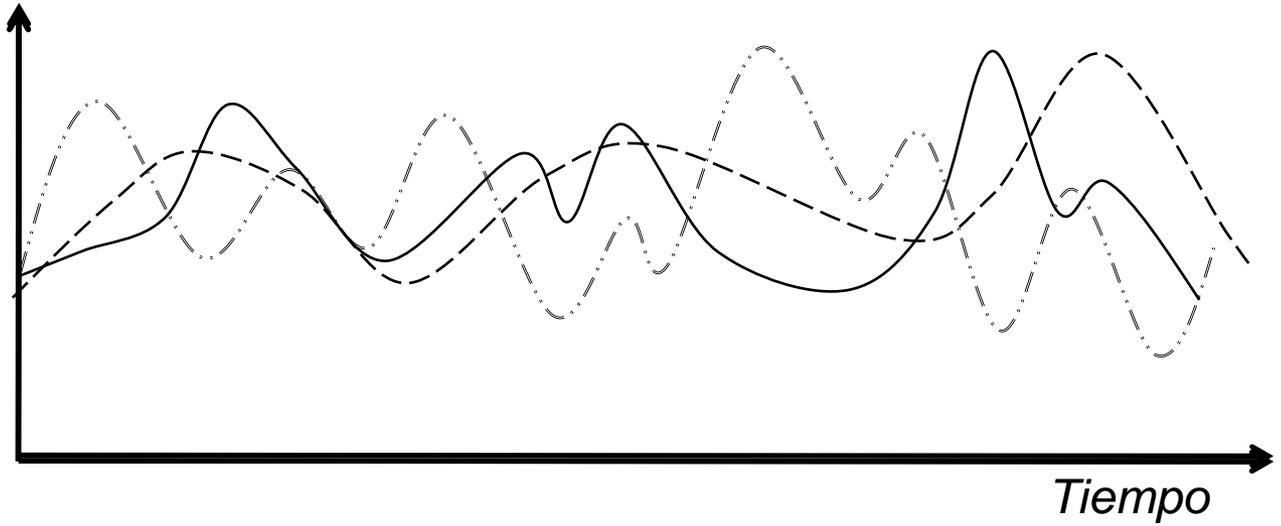
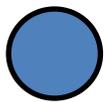
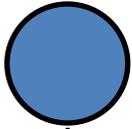


Abundancia de la presa

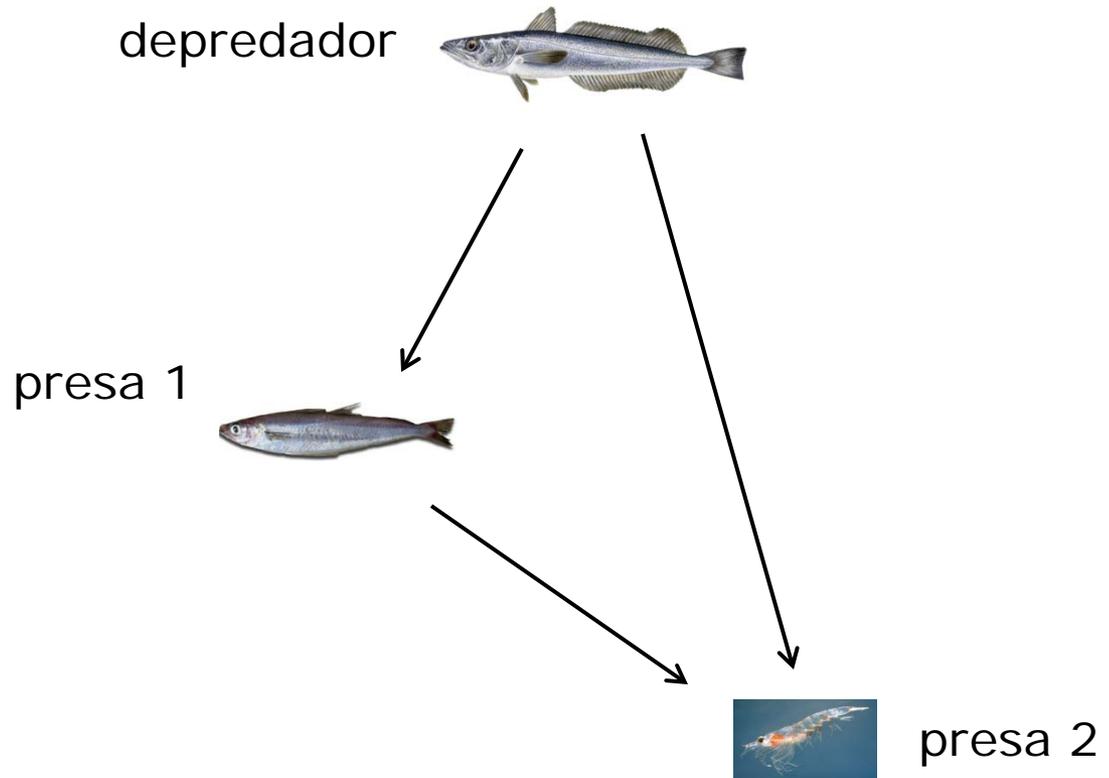
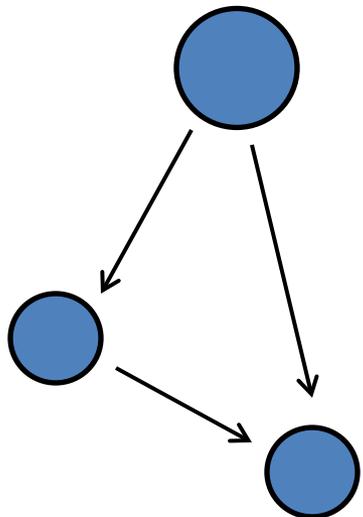
Relaciones Depredador-Presa



Componente Temporal



Más Complejidad....



.... y más



depredador 1



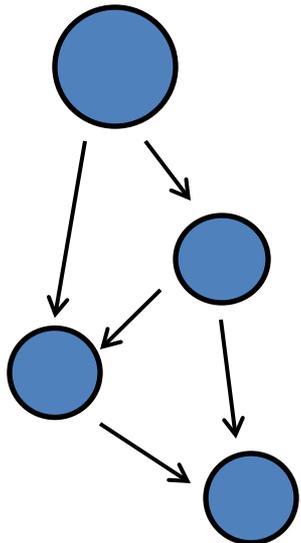
depredador 2



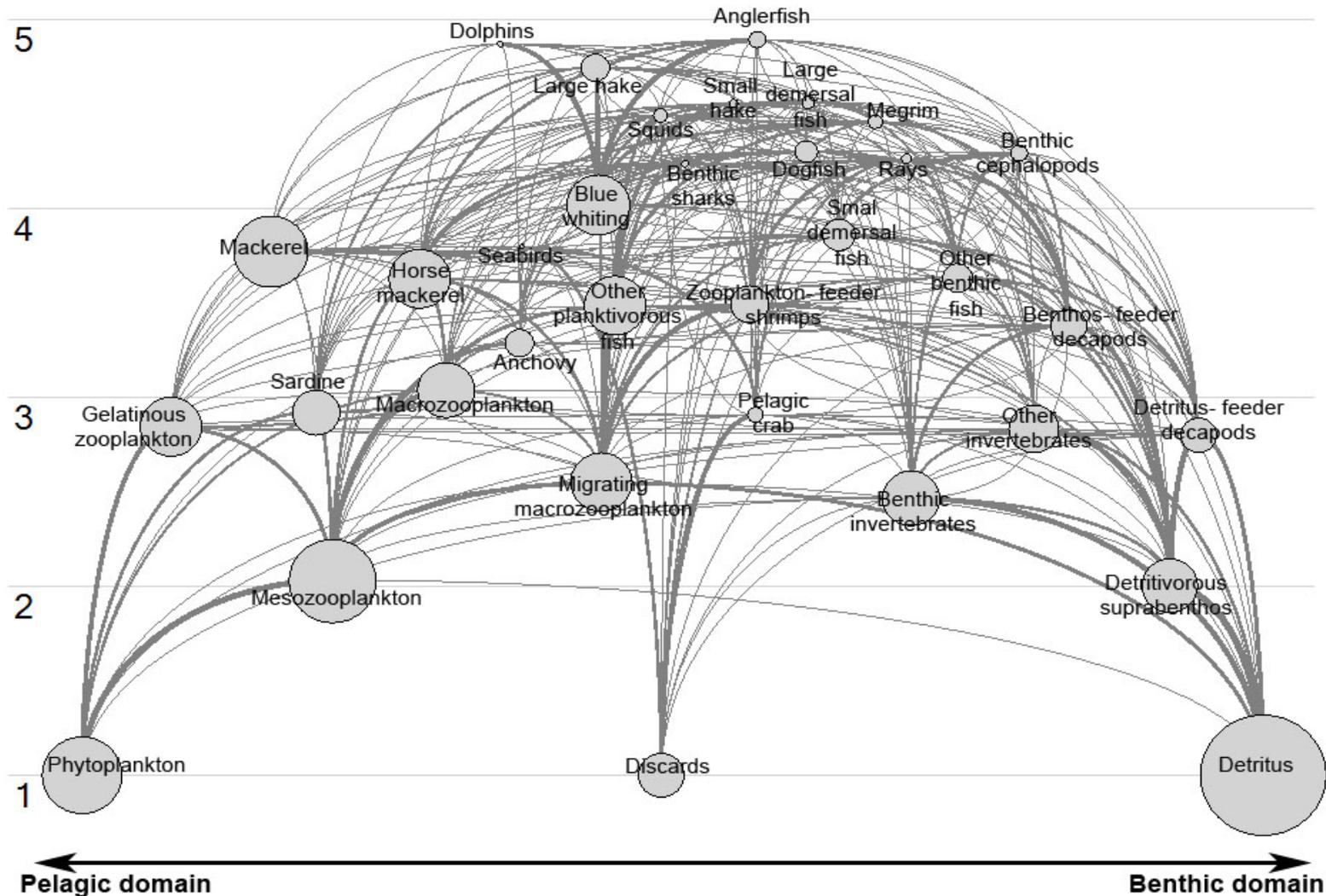
presa 1



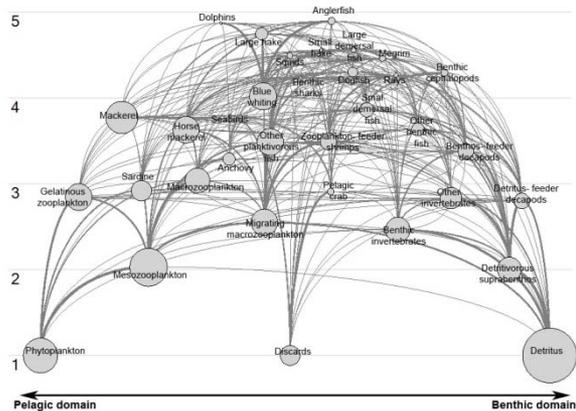
presa 2



..... y mucho más



Modelo trofodinámico de balance de masas

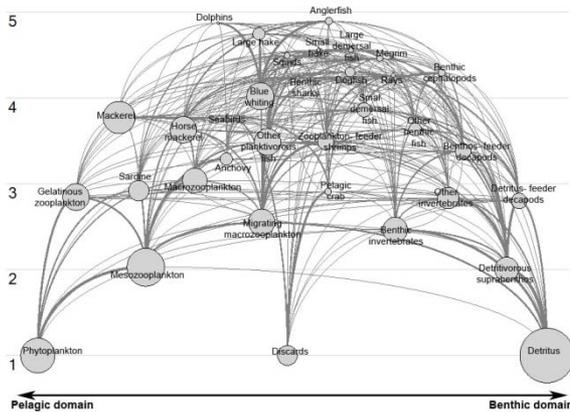


(1) Ecuación que describe la producción

$$P_i = Y_i + B_i \cdot M2_i + BA_i + E_i + P_i (1 - EE_i)$$

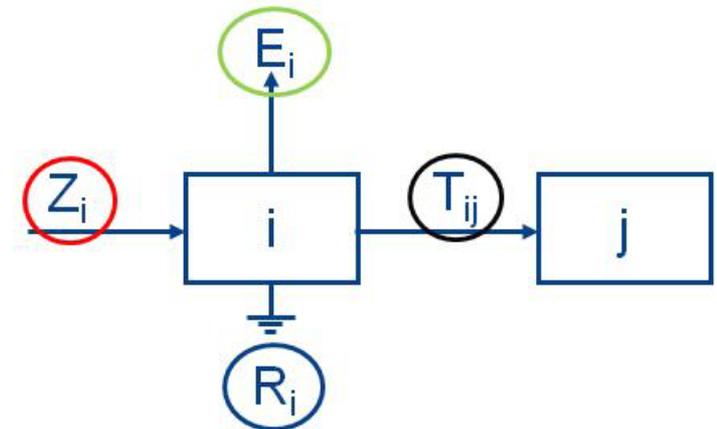
Producción = capturas + depredación + biomasa acumulada + migración + otras causas de mortalidad

Modelo trofodinámico de balance de masas



(2) Ecuación que describe el balance de energía

$$Z_i = E_i + R_i + T_{ij}$$



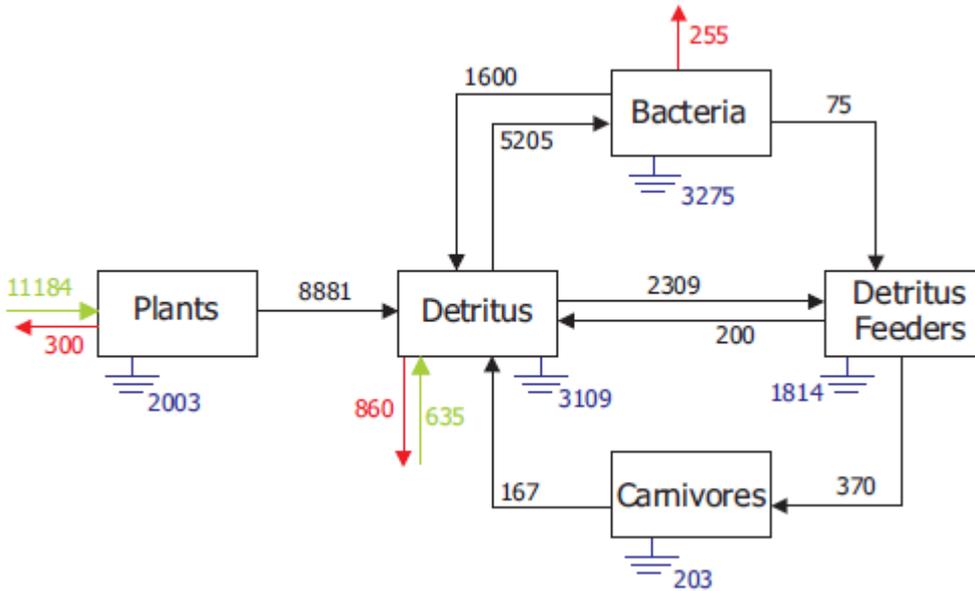
Z_i importa de fuera

E_i exporta hacia fuera

R_i respiración (disipa)

T_{ij} intercambio entre compartimentos

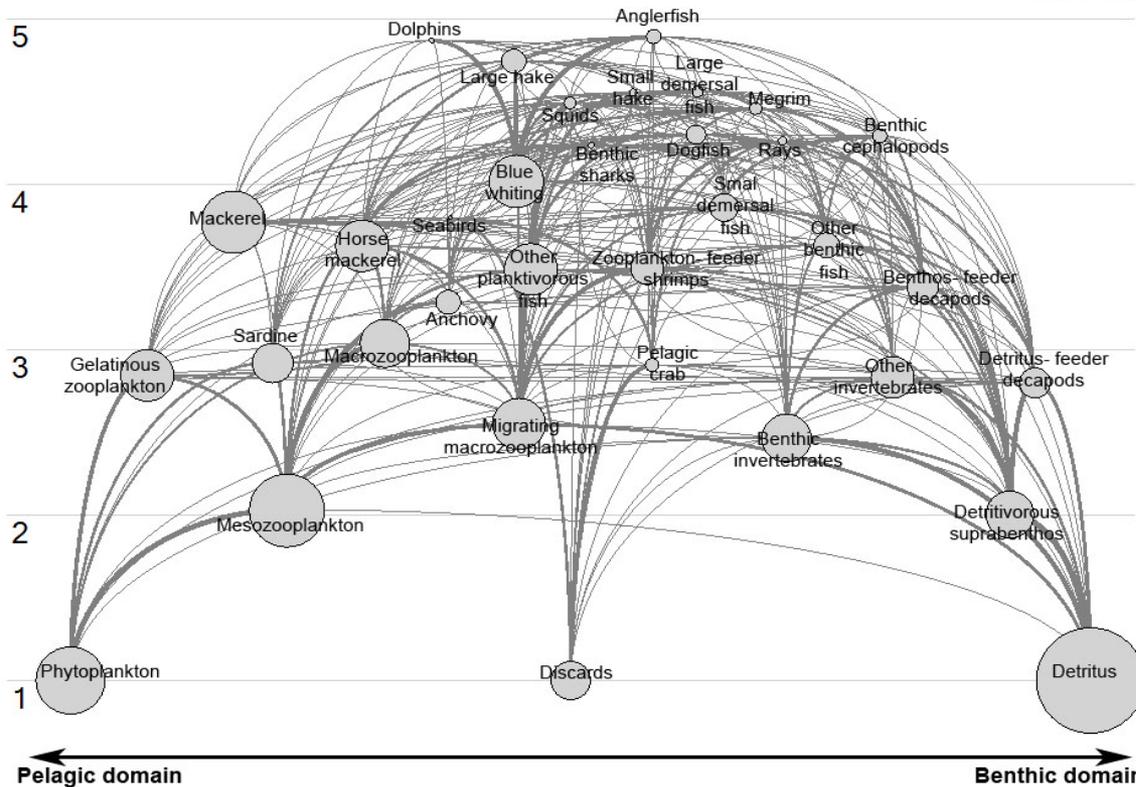
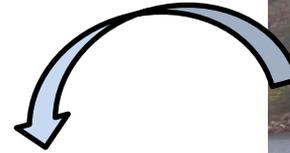
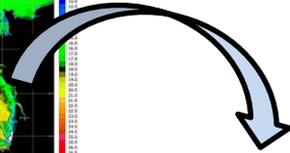
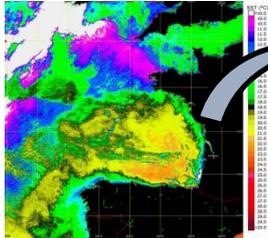
Modelo trofodinámico de balance de masas



$$Z_i = E_i + R_i + T_{ij}$$

La suma total de flujos que llegan a un compartimento debe ser igual a la suma total de los flujos que salen de él.

Modelo trofodinámico del mar Cantábrico



22.77%

1

Explicar la naturaleza

2

El muestreo en Biología Marina

3

Las matemáticas en la Biología Marina

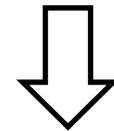
4

¿Para qué sirve lo que hacemos?

Y todo esto ¿para qué sirve?



Evaluación de recursos pesqueros



Especies comerciales

Desarrollo de modelos de evaluación analíticos

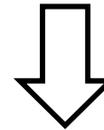
Evaluación y gestión de los recursos pesqueros

Establecimiento de TACs y cuotas

Y todo esto ¿para qué sirve?



Directiva Marco de la Estrategia Marina



Especies comerciales
+
no comerciales

Abundancia y distribución de especies

Análisis de tendencias temporales y espaciales

Indicadores para establecer el Buen Estado Ambiental