



## SEMINARIO

**“Lineamientos para la determinación de capacidad de carga en fiordos y canales del sur de Chile”**

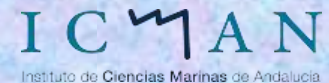
**El estuario del río Guadalquivir: herramientas científicas para la gestión frente al torbellino de conflictos de usos e intereses**

*Javier Ruiz*

*Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC)*

*Puerto Chacabuco*

*10 octubre 2017*



# **El estuario del río Guadalquivir: herramientas científicas para la gestión frente al torbellino de conflictos de usos e intereses**

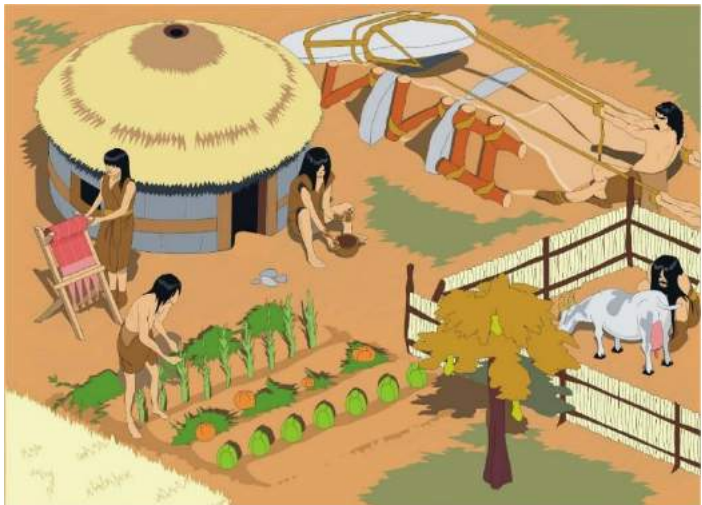


- 1.- ¿Cómo hemos llegado hasta aquí?**
- 2.- Marco conceptual**
- 3.- Diseño operacional**
- 4.- Diagnóstico (herramientas de pronóstico)**
- 6.- Conclusiones**

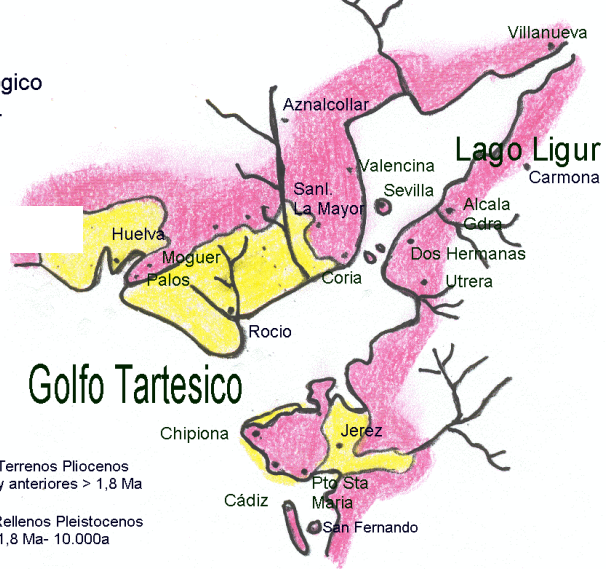


**1. ¿Cómo  
hemos llegado  
hasta aquí?**

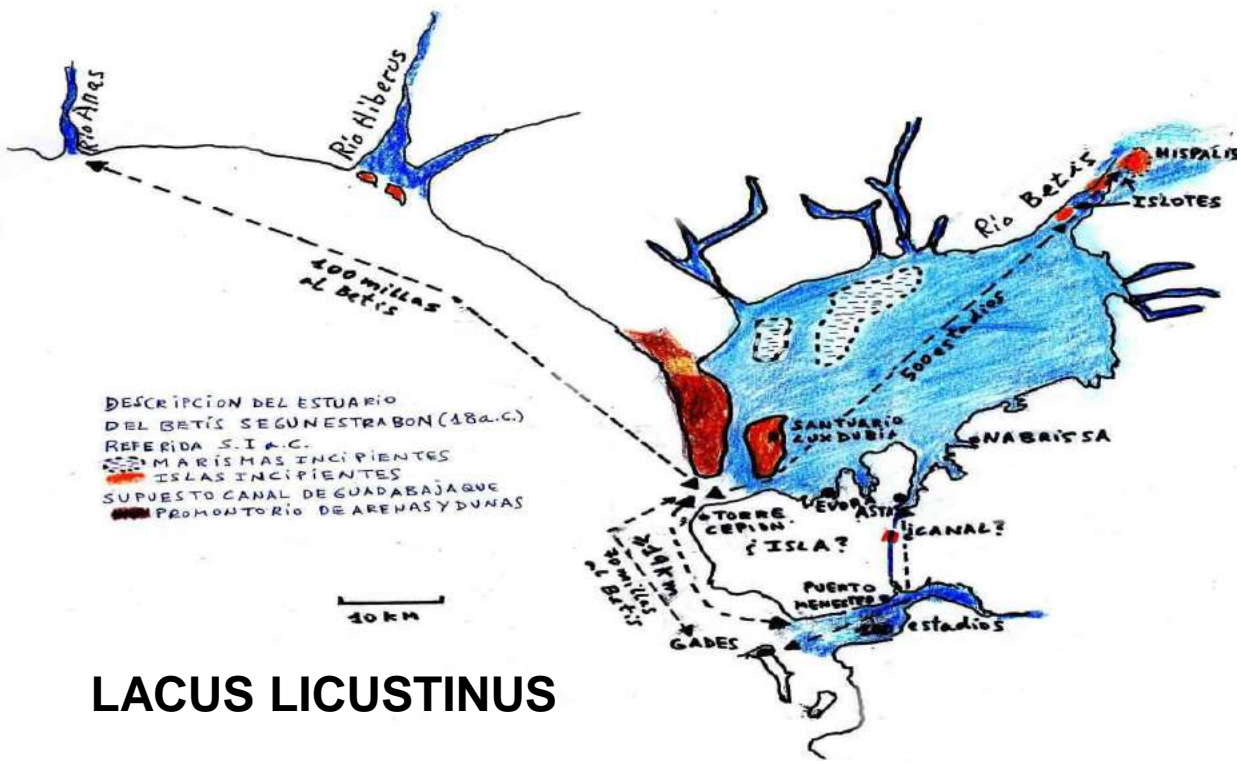




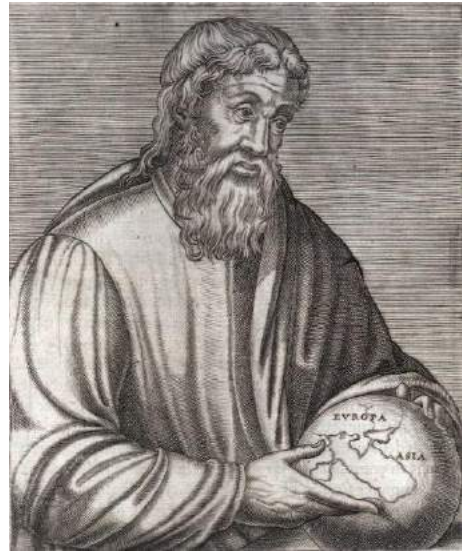
Mapa Geológico  
4.000 a a.C.



TARTESOS



LACUS LICUSTINUS



ESTRABÓN

# AL ANDALUS



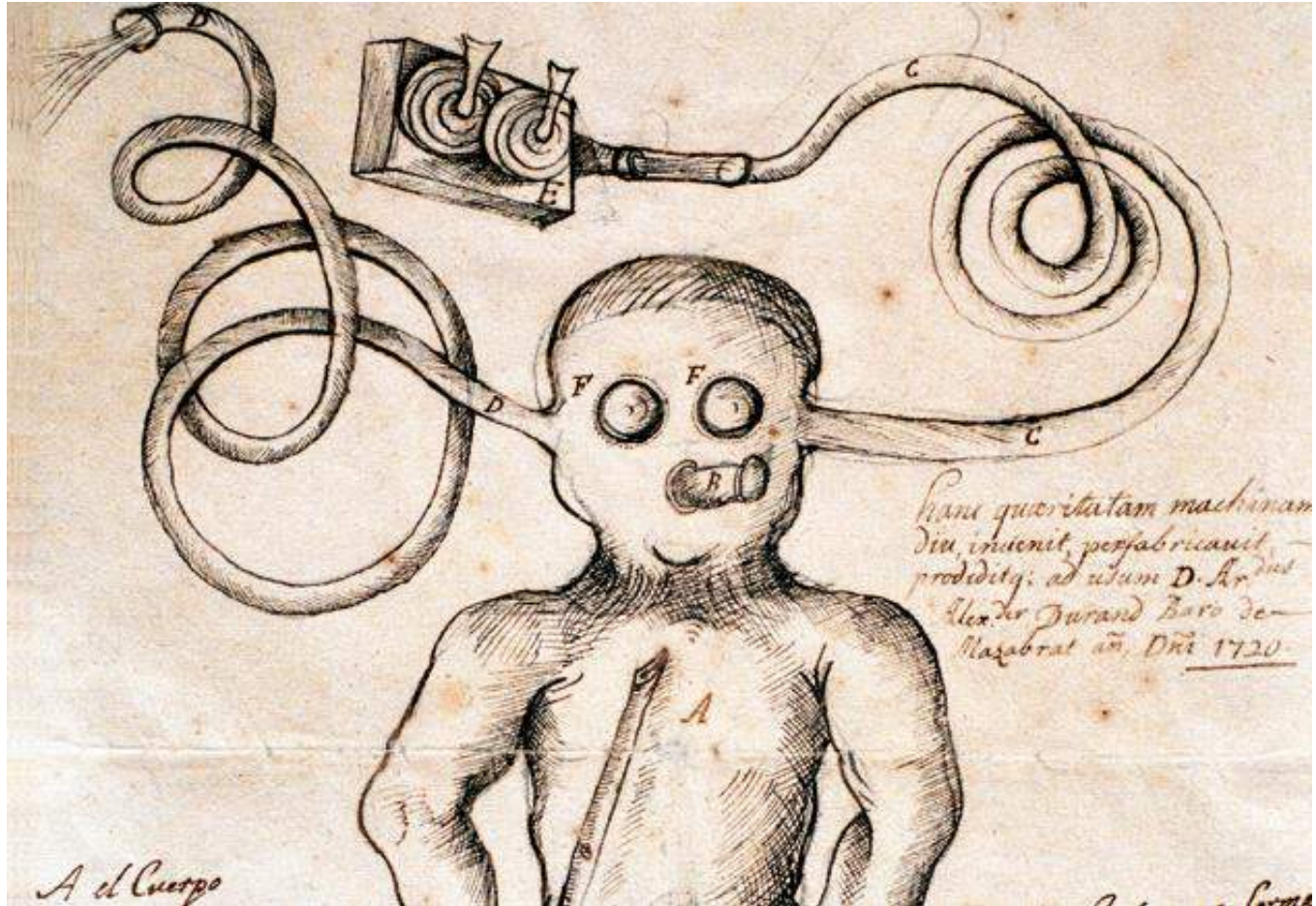


# Casa de contratación de indias (1503)





**~9% de naufragios**



**Buzo para rescate de naufragios en el Guadalquivir (1720)**



# Carta náutica del Guadalquivir en 1760

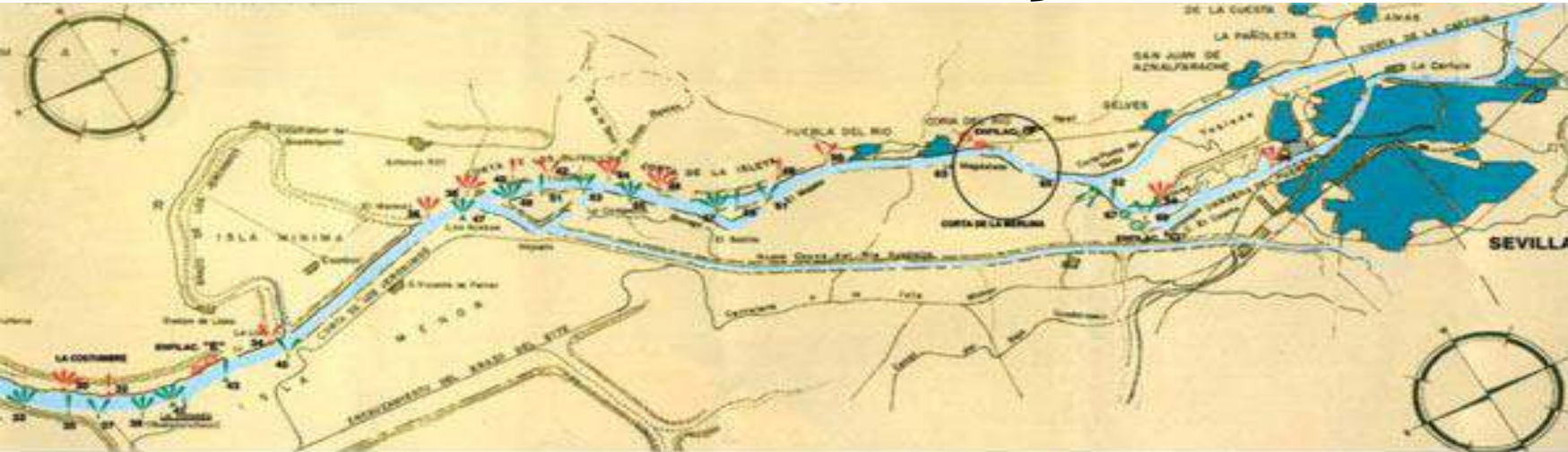


EL RIO GUADALQUIVIR SE DIVIDE EN  
1. Corta de la Merlina. 2. Corta de Tablada. 3. Corta de los Jerónimos. 4. Corta de Olivillos. 5. Corta de la Isleta. 6. Corta de Punta del Verde. 7. Corta de la Cartuja.

- 1) Corta Merlina. (1795) Antes de llegar a Coria Del Río. Salva un meandro.
- 2) Corta Fernandina . (1816). En Isla Menor, con el mismo fin.
- 3) **Corta de los Jerónimos. (1888). En Isla Mínima, con el mismo fin.**
- 4) Corta de Tablada. (1926). Canal de Alfonso XIII para ampliar el puerto de Sevilla.
- 5) **Corta de Olivillos. (1971) Para salvar un meandro en Isla Menor.**
- 6) Corta de la Isleta (1972) Pasada Puebla del Río, con el mismo fin.
- 7) Corta Punta del Verde. (1973). Cerca de Gelves, con el mismo fin.
- 8) Corta de la Cartuja (1983). En él se celebró la EXPO`92.

**Cortás** → **50 Km menos de longitud**

# Carta náutica del Guadalquivir hoy





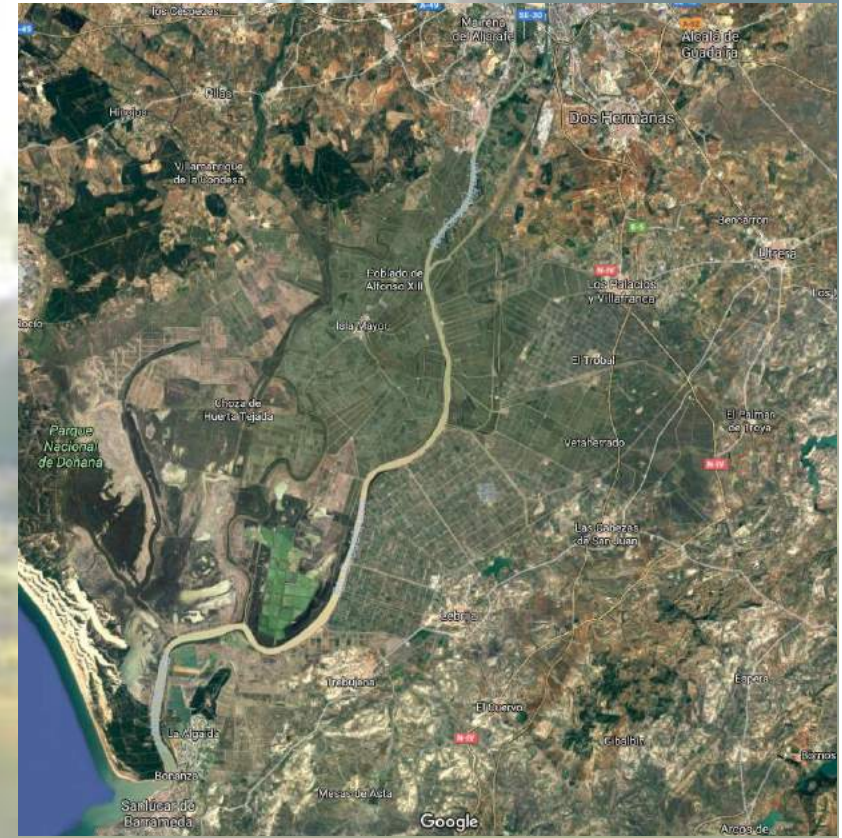
# LA POSGERRA. EL INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZACION



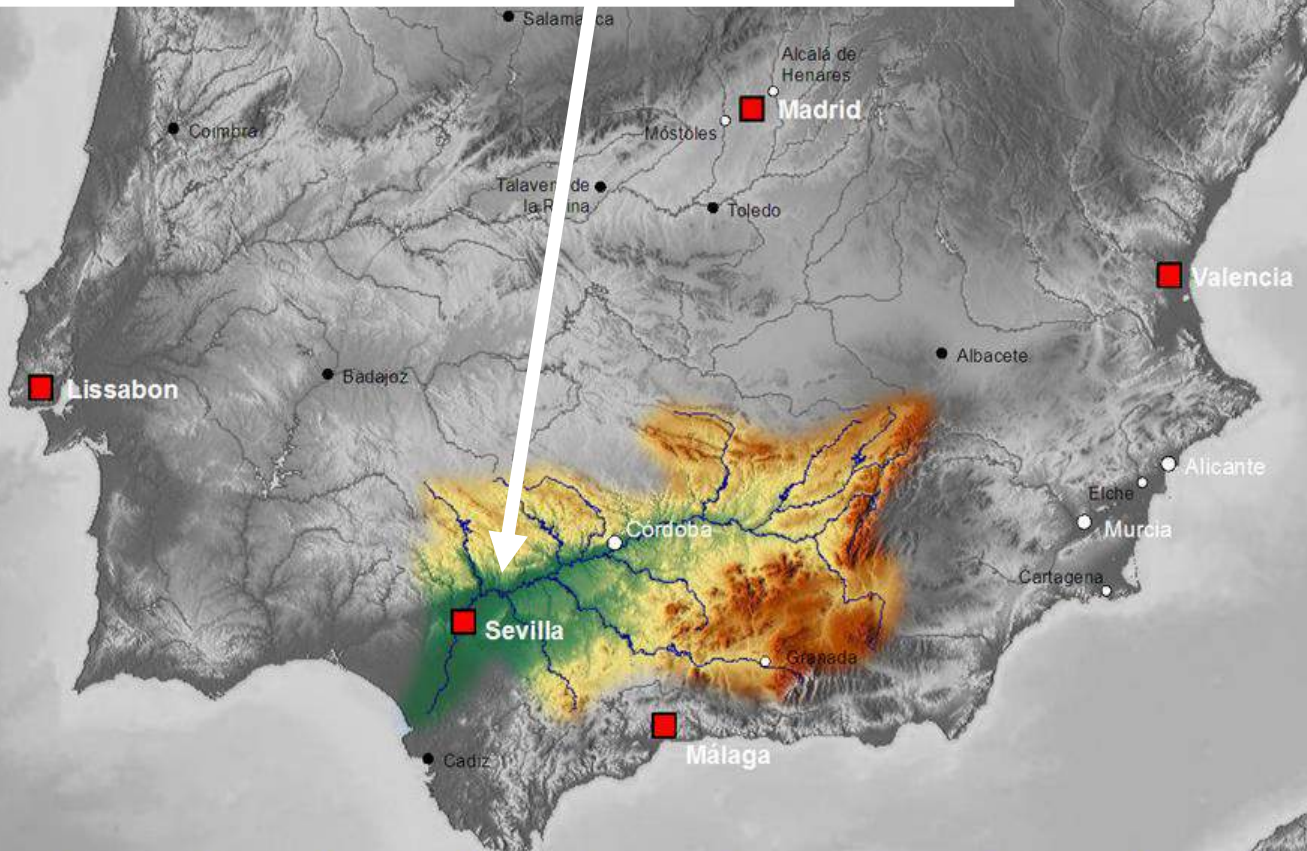






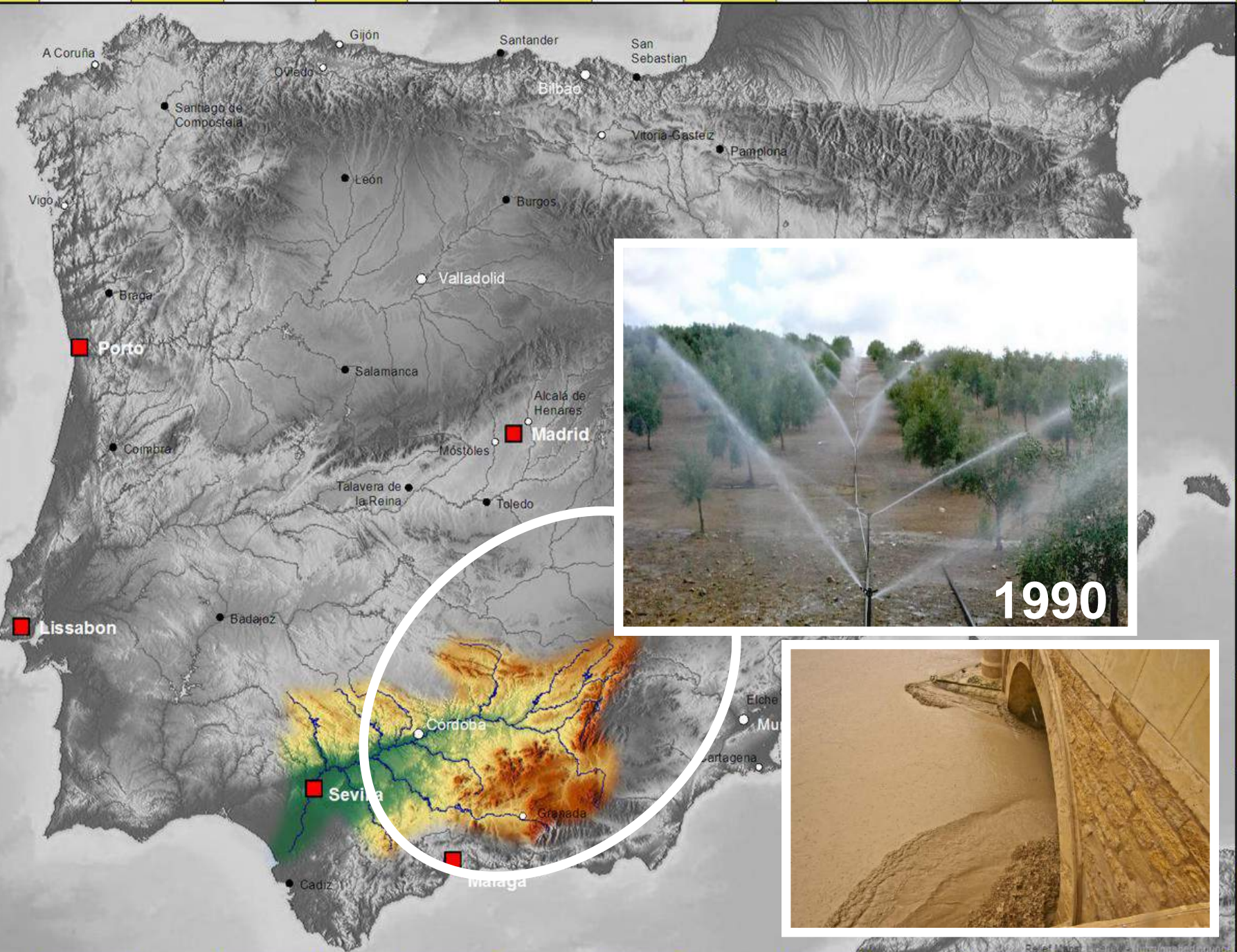






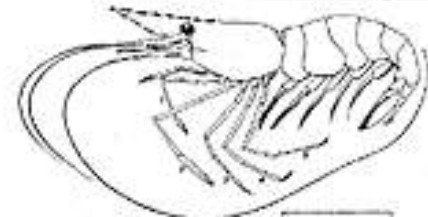
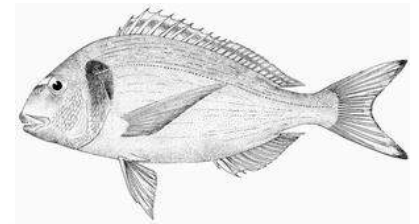
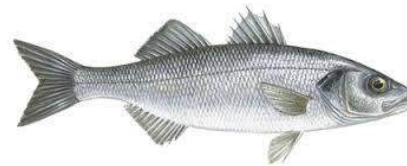
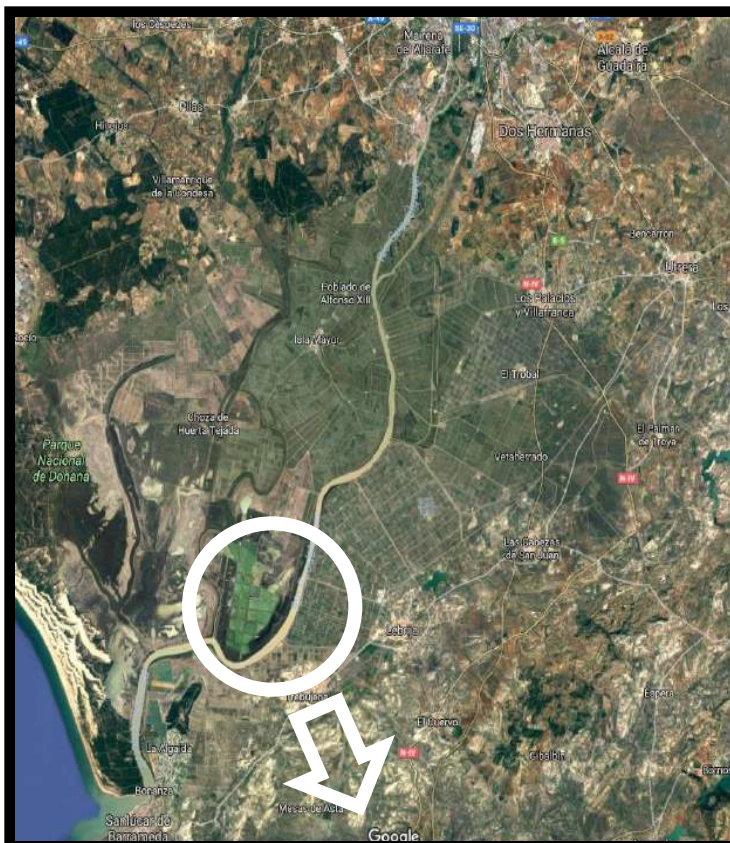
- Agglom. > 1 Mio EW
- Stadt > 300 000 EW
- Stadt > 200 000 EW
- Stadt < 200 000 EW







# ACUICULTURA A PARTIR DE 1990

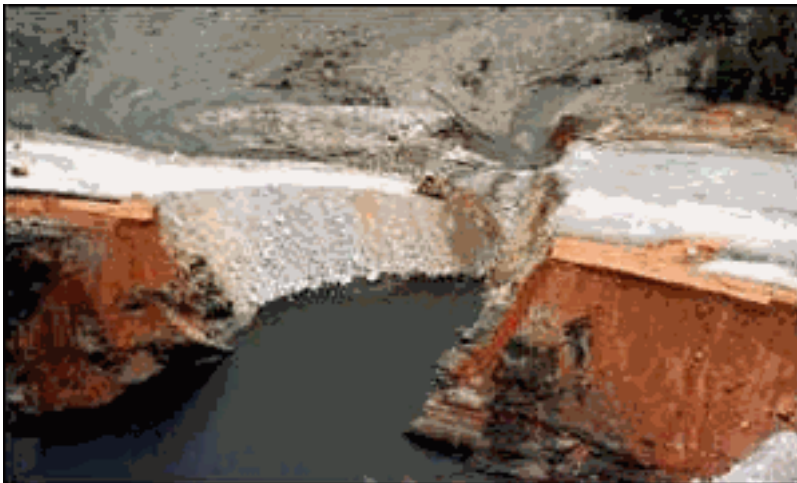




# **VISIÓN ANTROPO- CÉNTRICA DE LOS ECOSISTEMAS**



**Aznalcollar  
Abril 1998**







# NARCOTRÁFICO



# PESCA ILEGAL



# TURISMO



**Aznacollar**

**Embalses**

**Poblaciones**

**Poblaciones**

**PN DOÑANA**

Conexión con otras  
masas de agua

**Acuicultura**

**Impermeabilización**

**Ecosistema Plataforma  
Atlántico - Andaluca**

**Agricultura**

**Pesca**

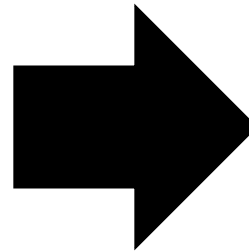
**Navegación**

**Poblaciones**





**PROYECTO DEL AÑO 1999  
INCREMENTO DEL CALADO  
MEDIO DE 80Km DE  
ESTUARIO DESDE 6.5 m  
HASTA 8.5 m**



## **INFORME CSIC**

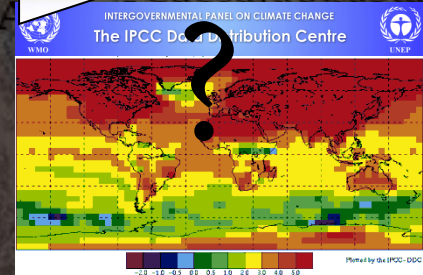
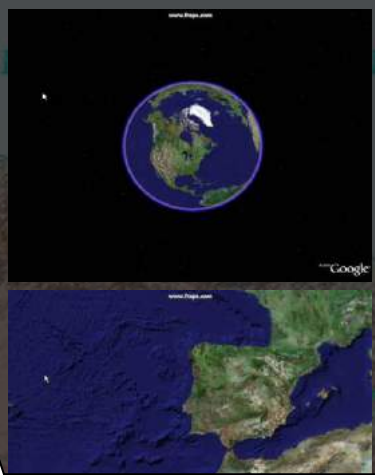
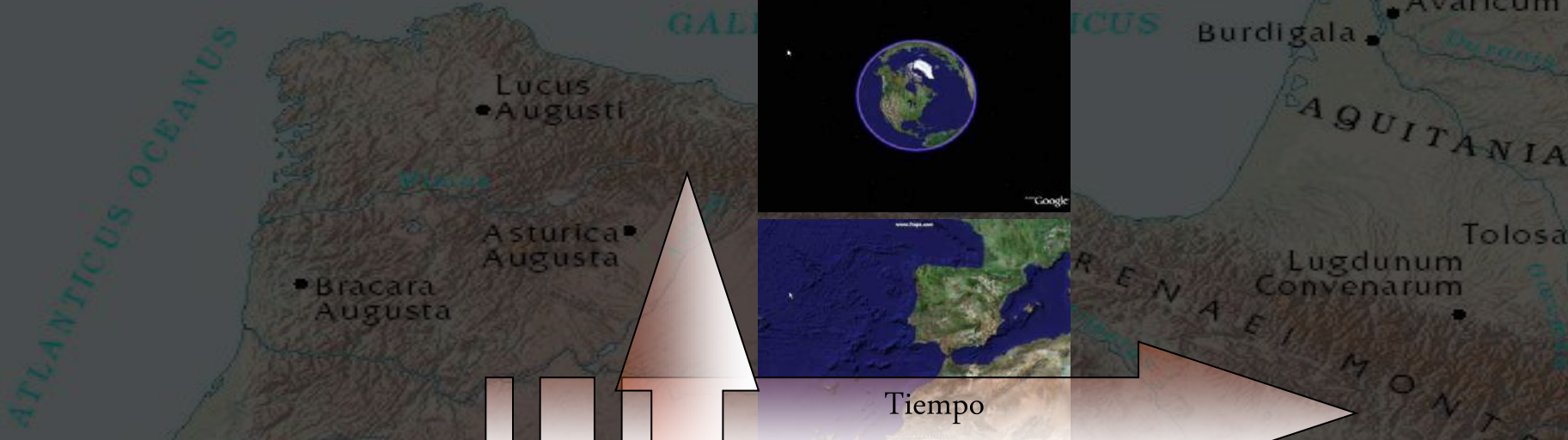
**PROPUESTA  
METODOLÓGICA PARA  
DIAGNOSTICAR Y  
PRONOSTICAR LAS  
CONSECUENCIAS DE LAS  
ACTUACIONES HUMANAS  
EN EL ESTUARIO DEL  
GUADALQUIVIR**



The image features four hands, two at the top and two at the bottom, positioned to form a square frame. The hands are light-skinned and have their fingers slightly curled inward, creating a central white space. The background is white with a faint, repeating watermark of the word 'depositphotos' in a light gray font, arranged in a grid pattern.

## **2.- Marco conceptual**





Holoceno

1956

1999

2006

2100

Espacio







Tiempo

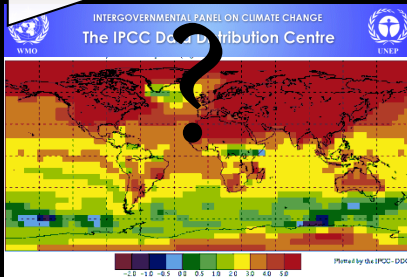
Espacio



2006



1999



2100

¿Qué estuario tenemos?

DIAGNOSTICO



¿Qué estuario  
queremos?

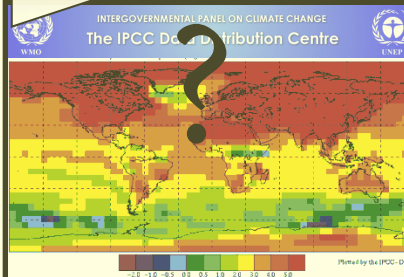
Tiempo

Espacio

1999

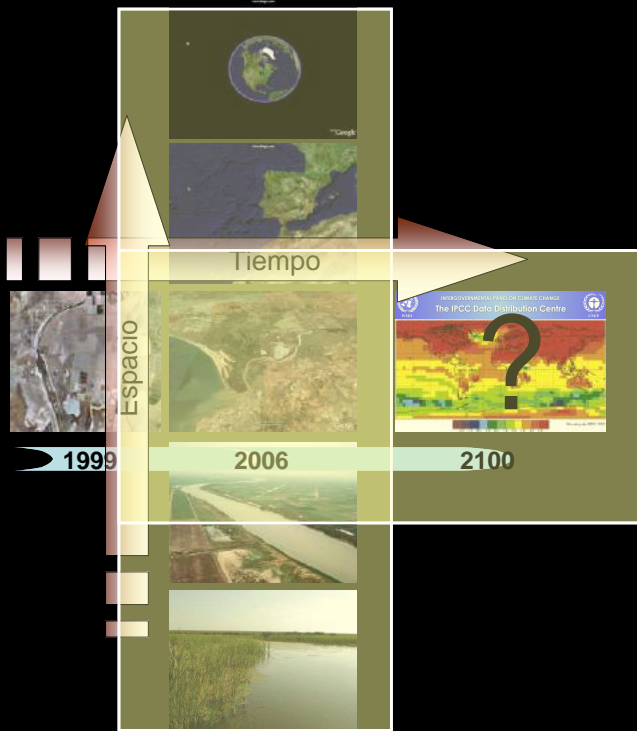
2006

2100



**DECISIONES**





¿Qué estuario tenemos?  
 ¿Qué estuario queremos?

¿Qué estuario podemos?



Predicción  
 Incertidumbre  
 Riesgo

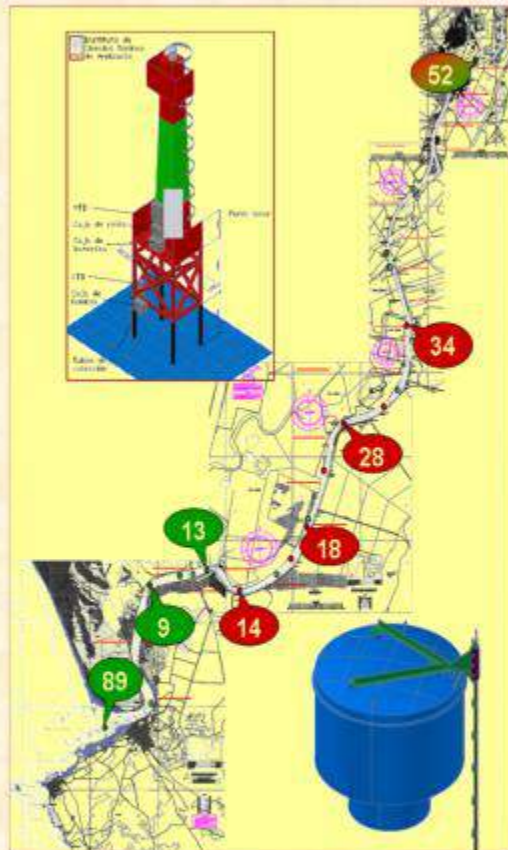


## 3.- Diseño operativo





# RED AUTOMÁTICA DE MEDIDA DE DINÁMICA Y CALIDAD DEL AGUA

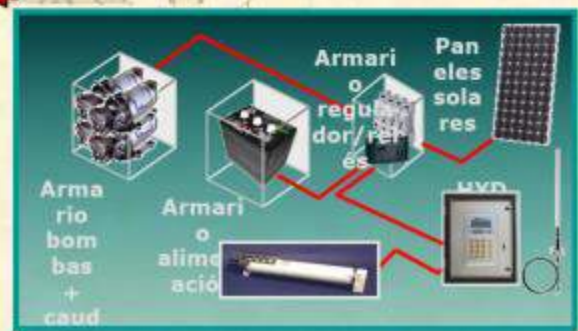
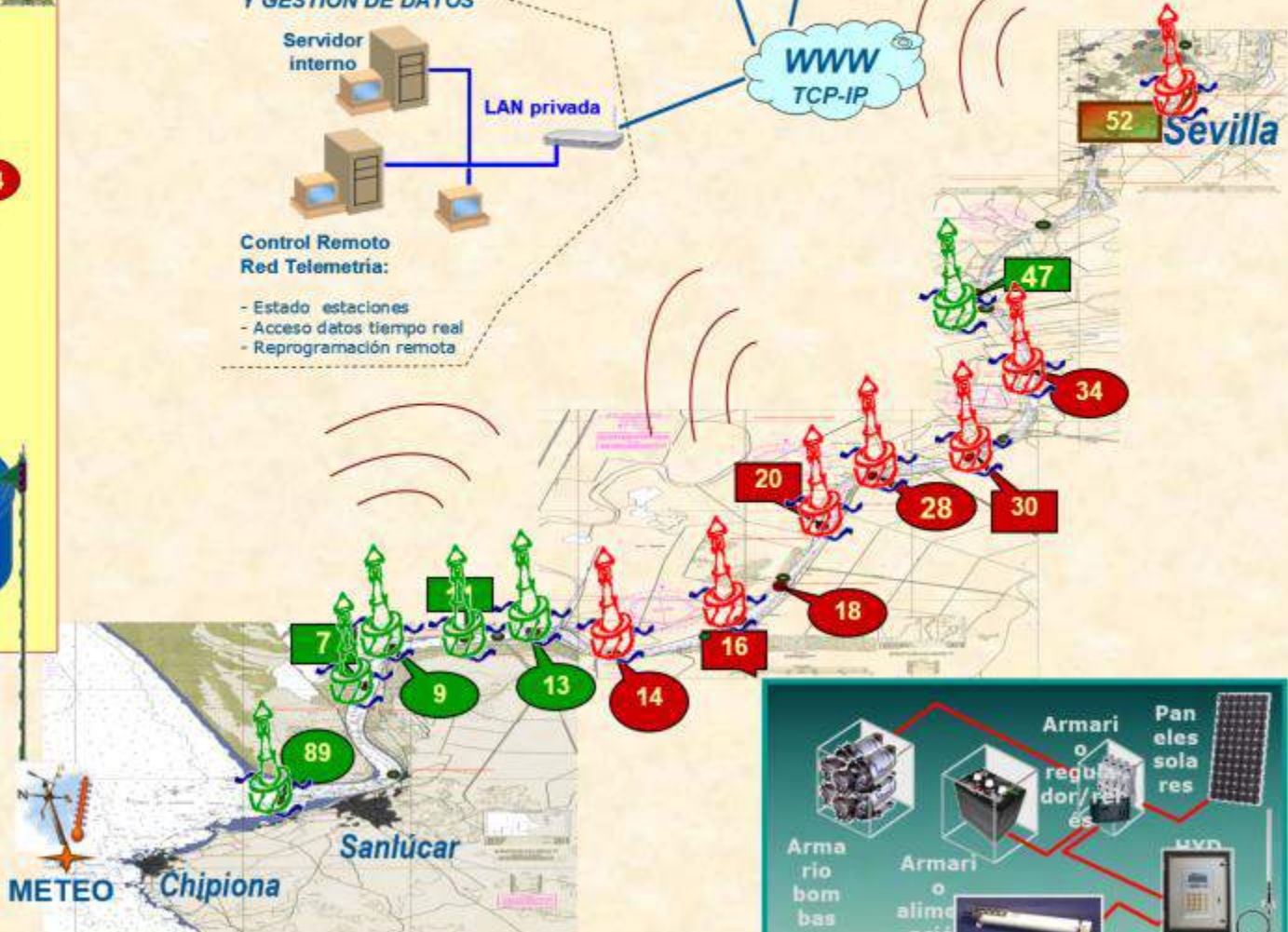


## CENTRO DE CONTROL Y GESTION DE DATOS



### Control Remoto Red Telemetría:

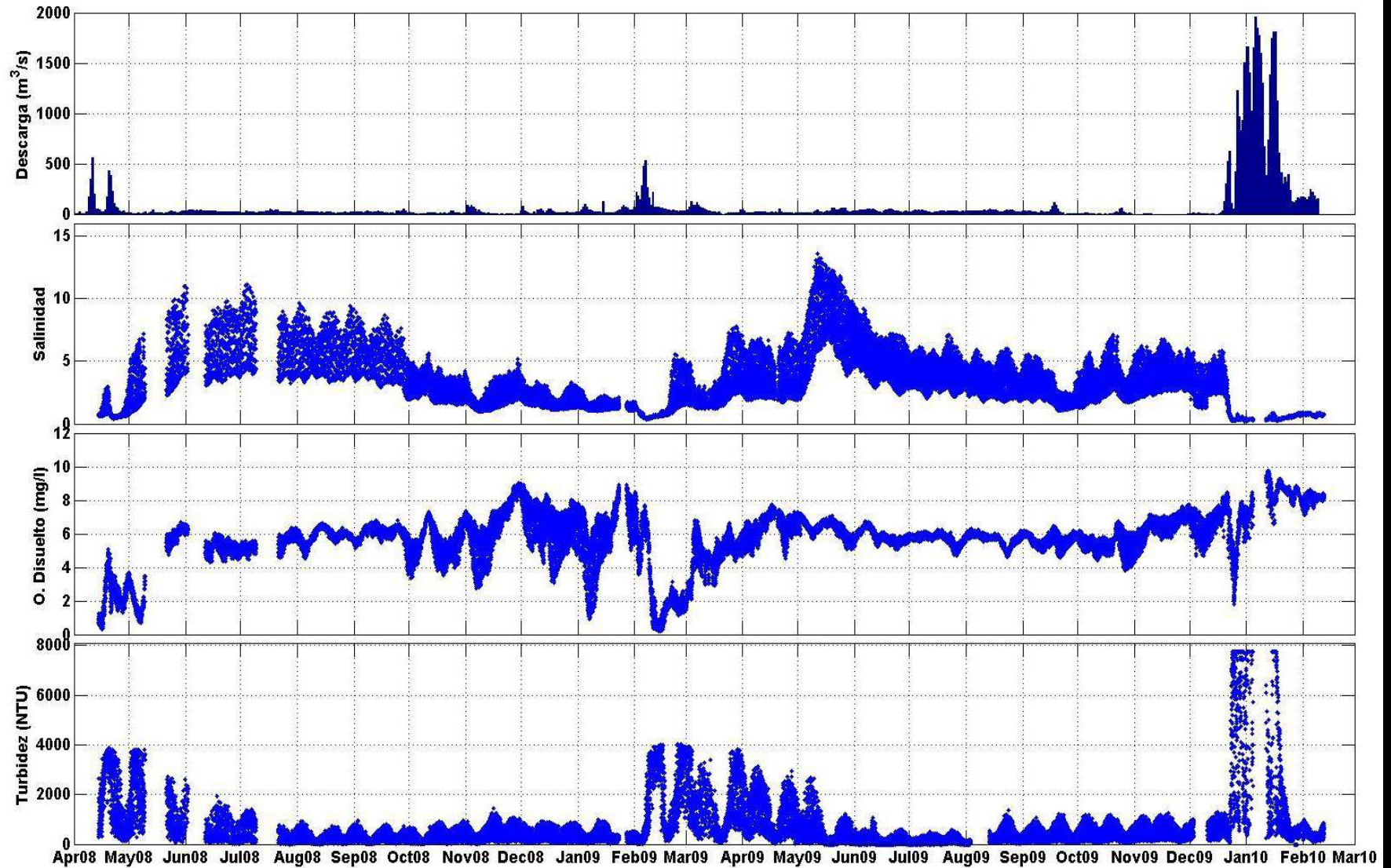
- Estado estaciones
- Acceso datos tiempo real
- Reprogramación remota





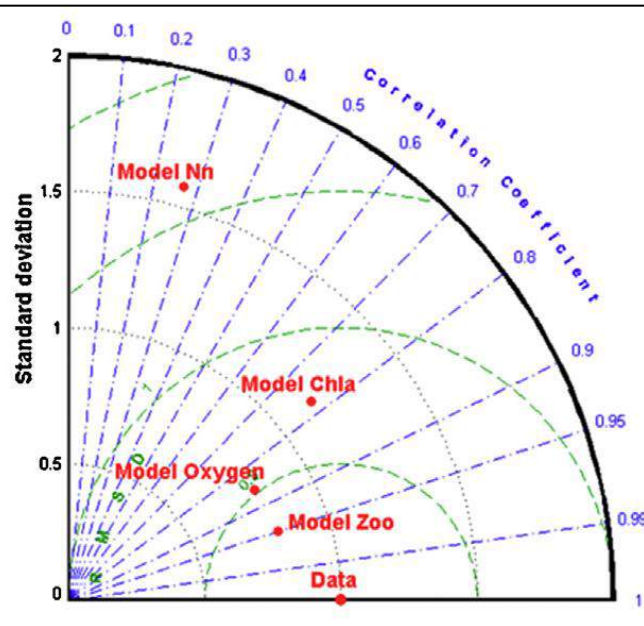
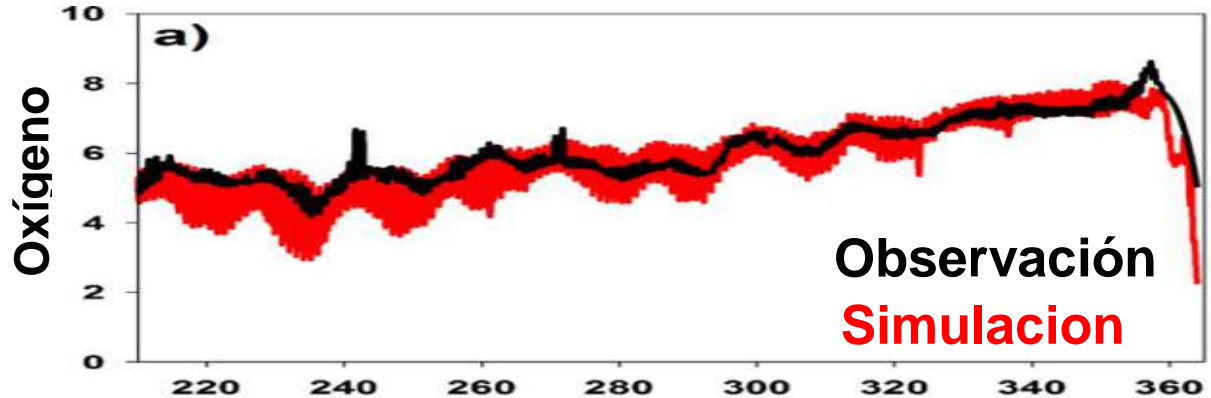
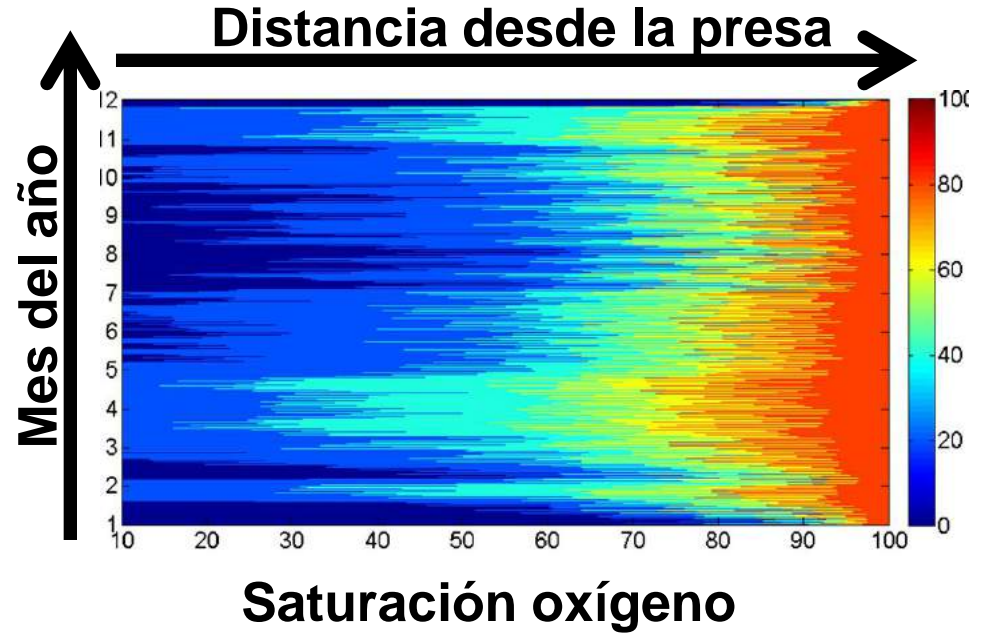
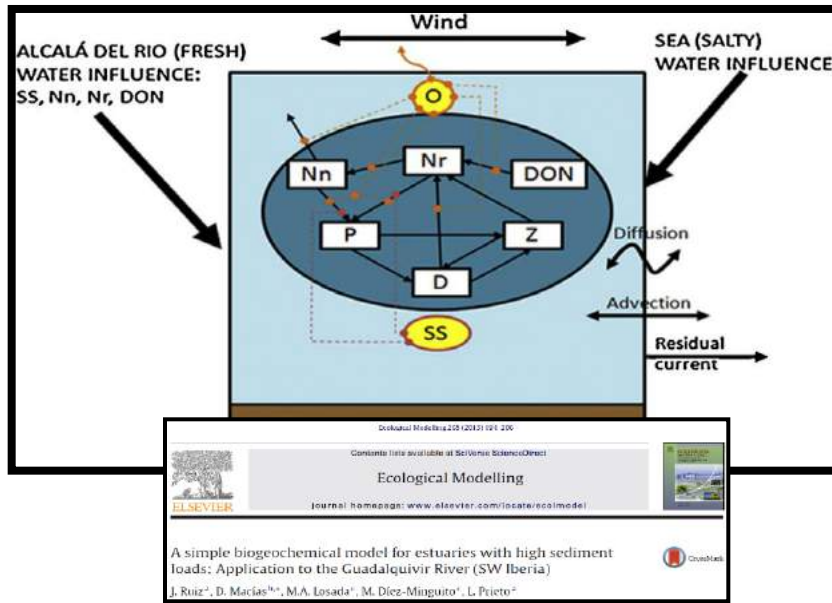


# Fotografía del estuario a alta resolución





# Herramientas de pronóstico (análisis de escenarios)



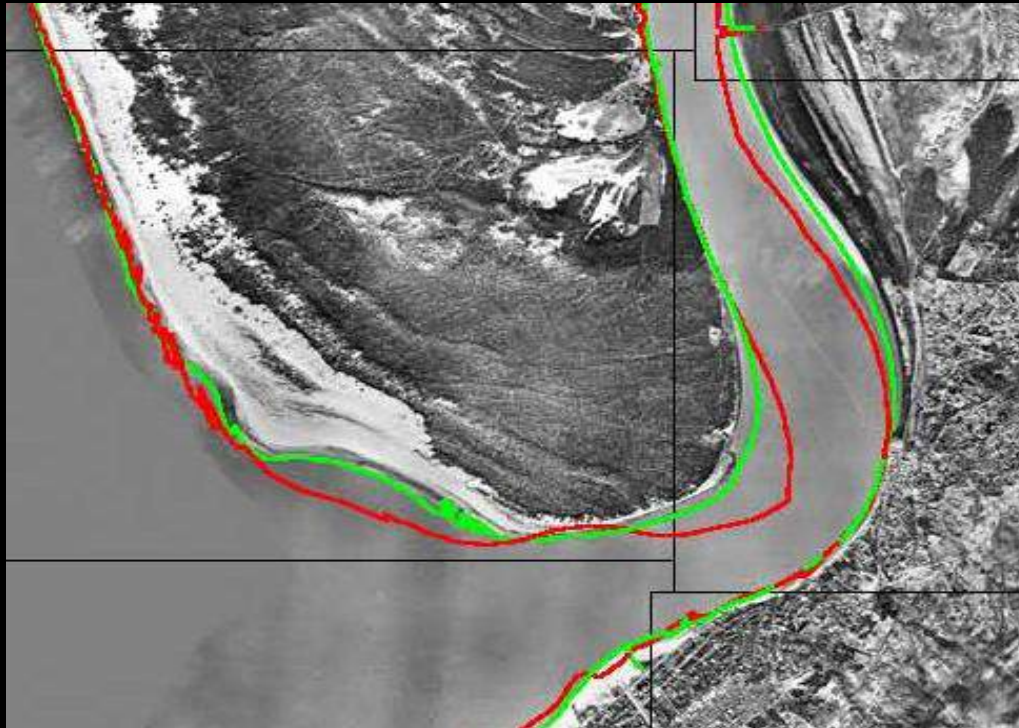
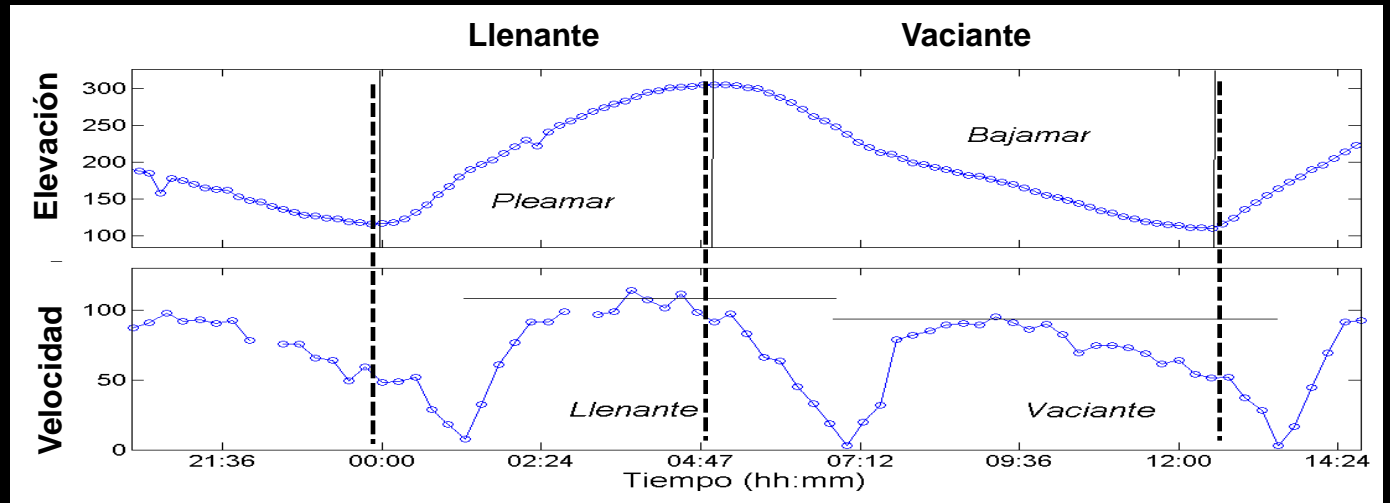
## 4.- Diagnóstico





# Un estuario con marea asimétrica

*Dominio de la llenante...*



1956

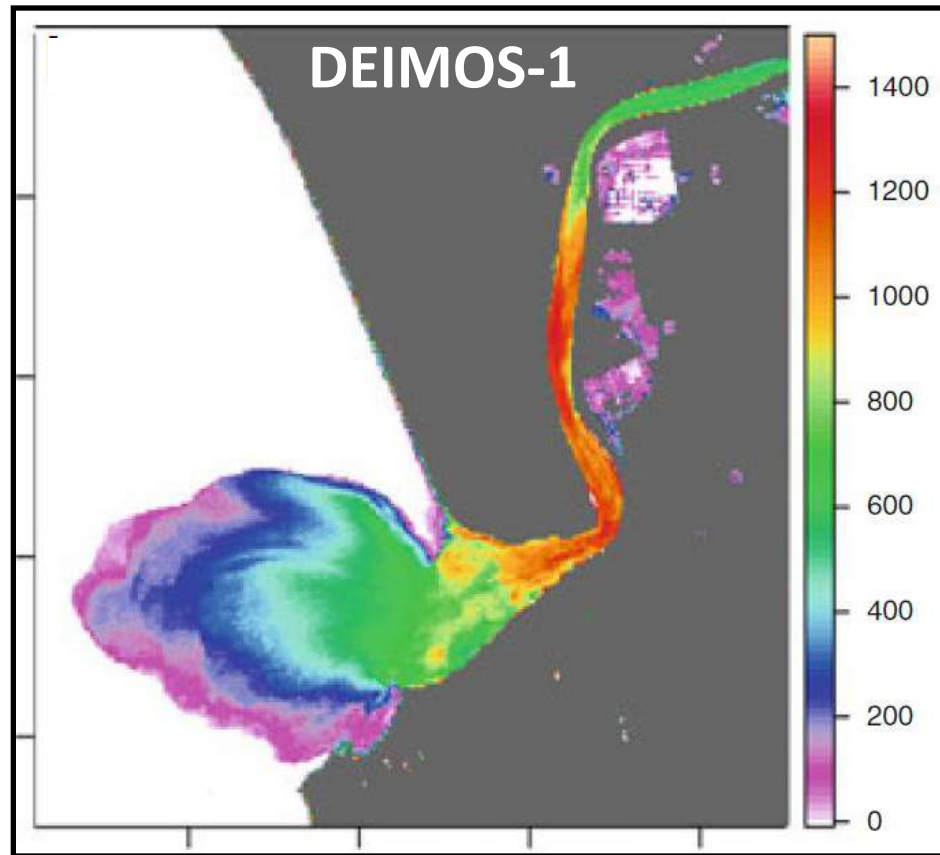


2002

# Ecosistema controlado por la turbidez

## SÓLIDOS SUSPENSIÓN

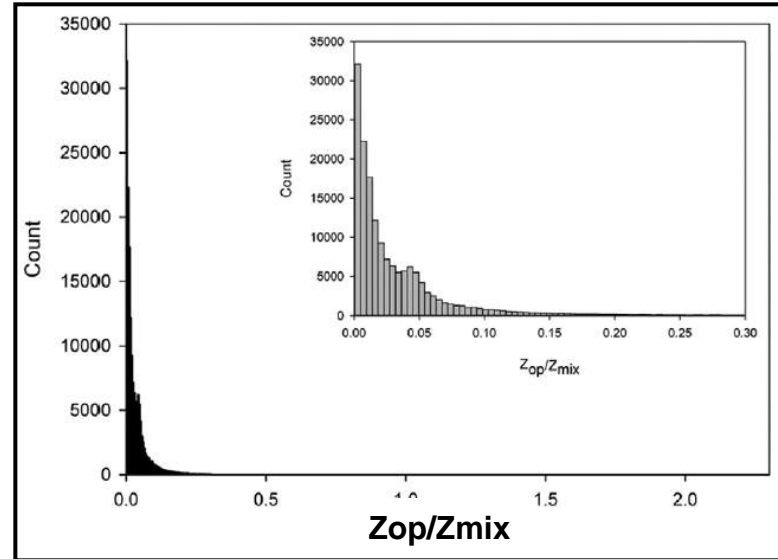
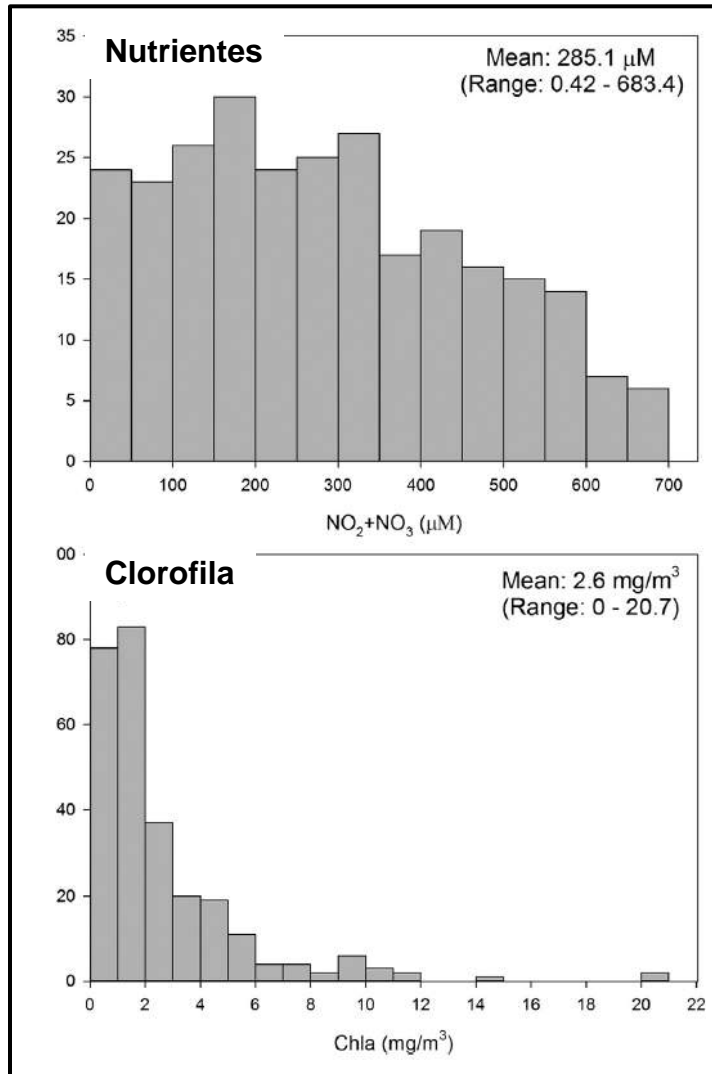
River	Mean concentration (mg/L)
Amazonas	200
Colorado	0.5
Columbia	39
Congo	34'
Danube	325
Ganges	1,092
Indo	247
Mackenzie	137
Mekong	340
Mississippi	362
Niger	208
Orinoco	136
St. Lawrence	9
Guadalquivir	600





# Turbidez impide la producción

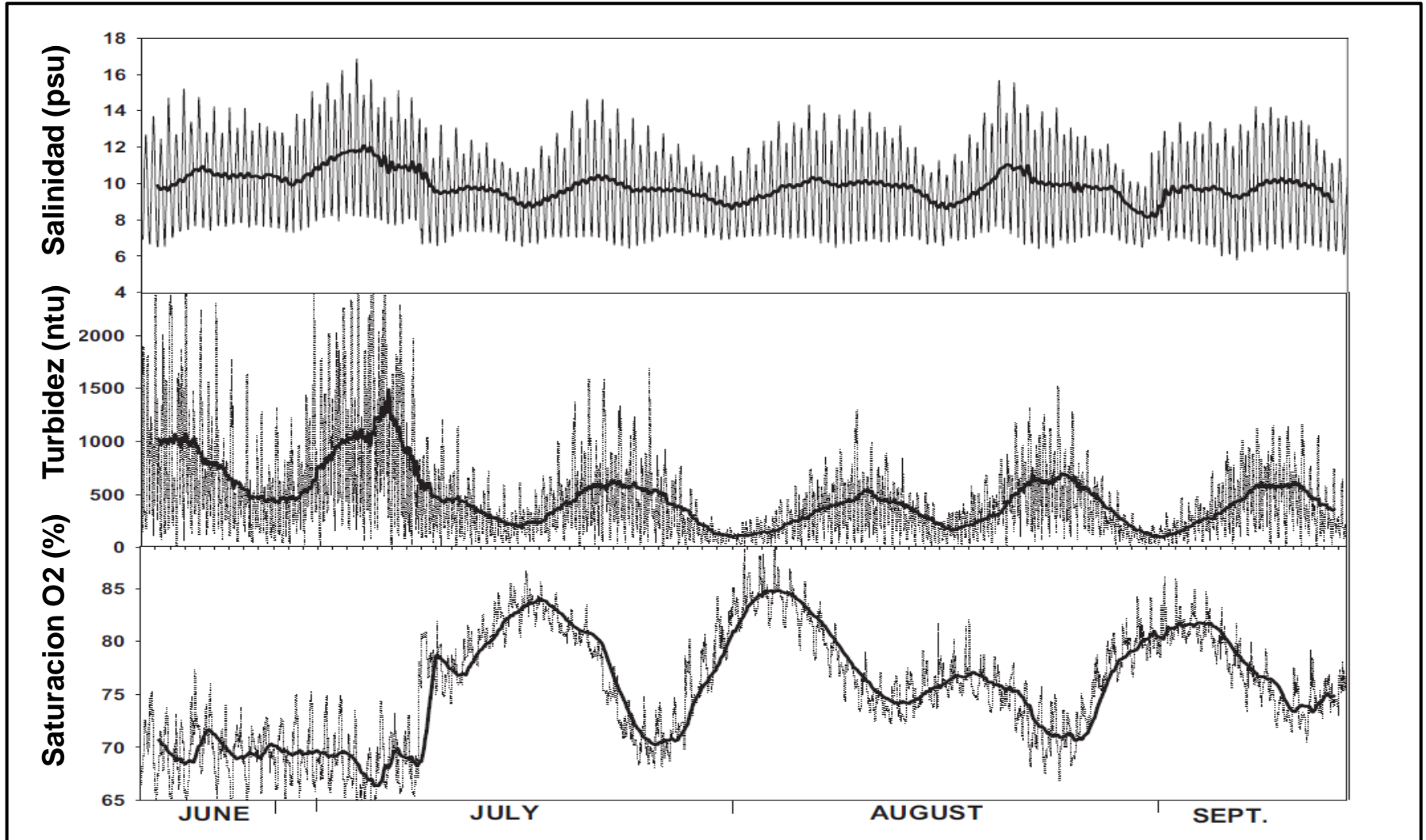
## Abundantes nutrientes-escasa producción



Zona fótica  
muy inferior a  
batimetría

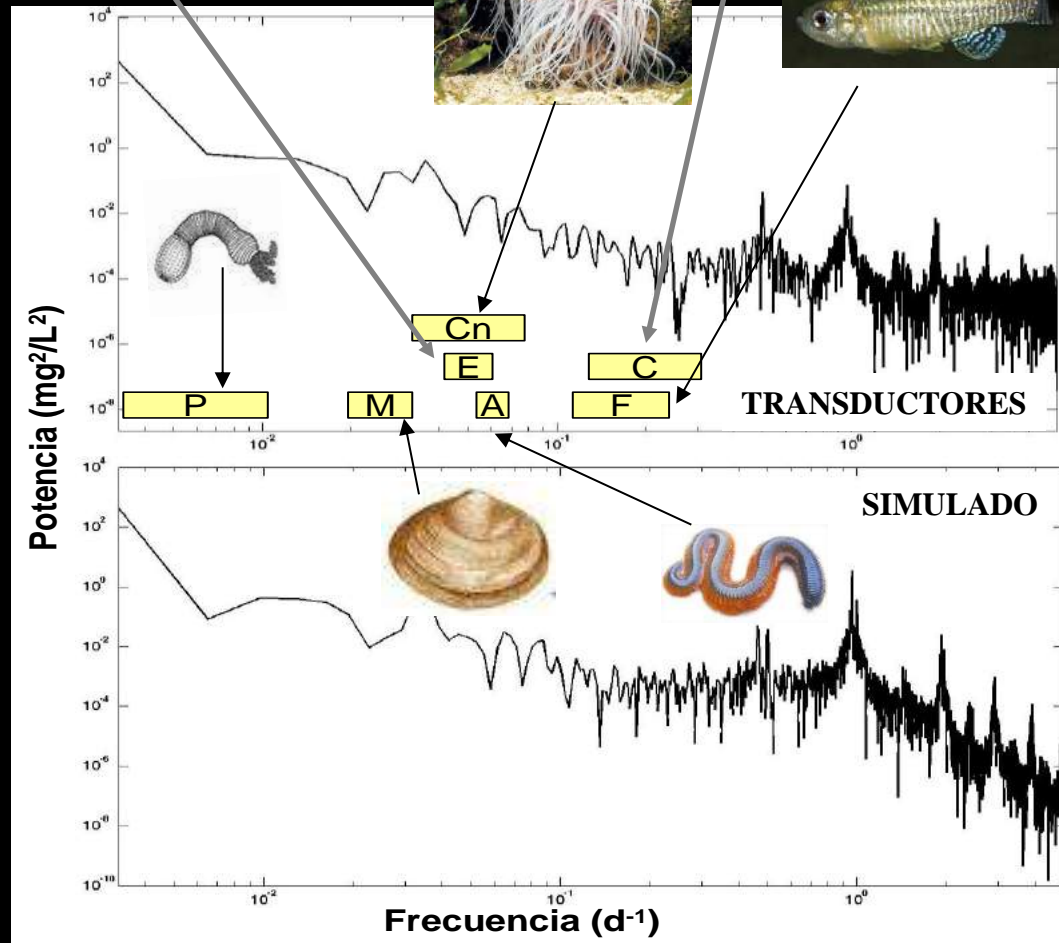
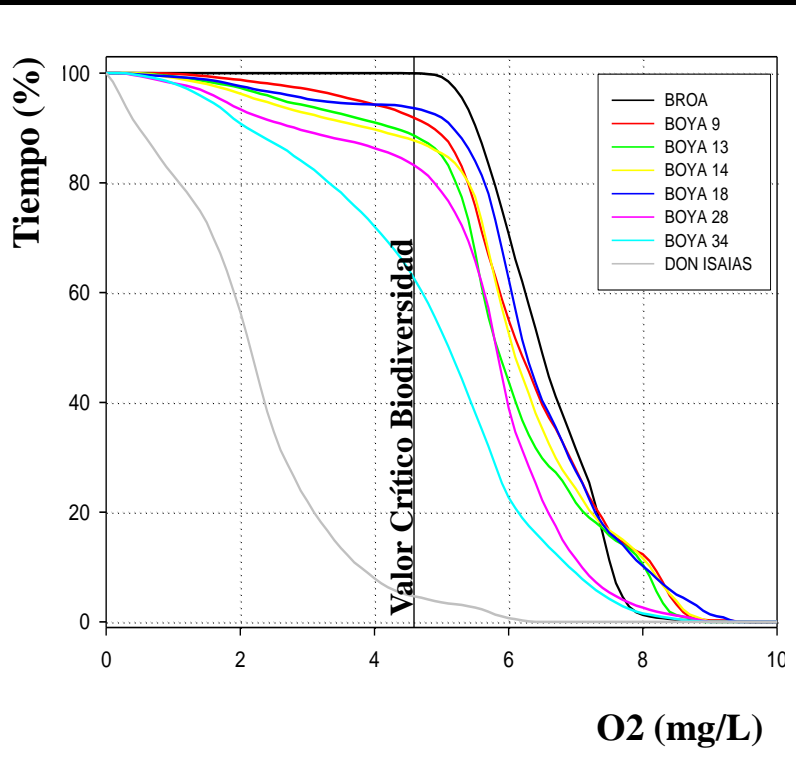


# Ecosistema con hipoxia/anoxia crónica

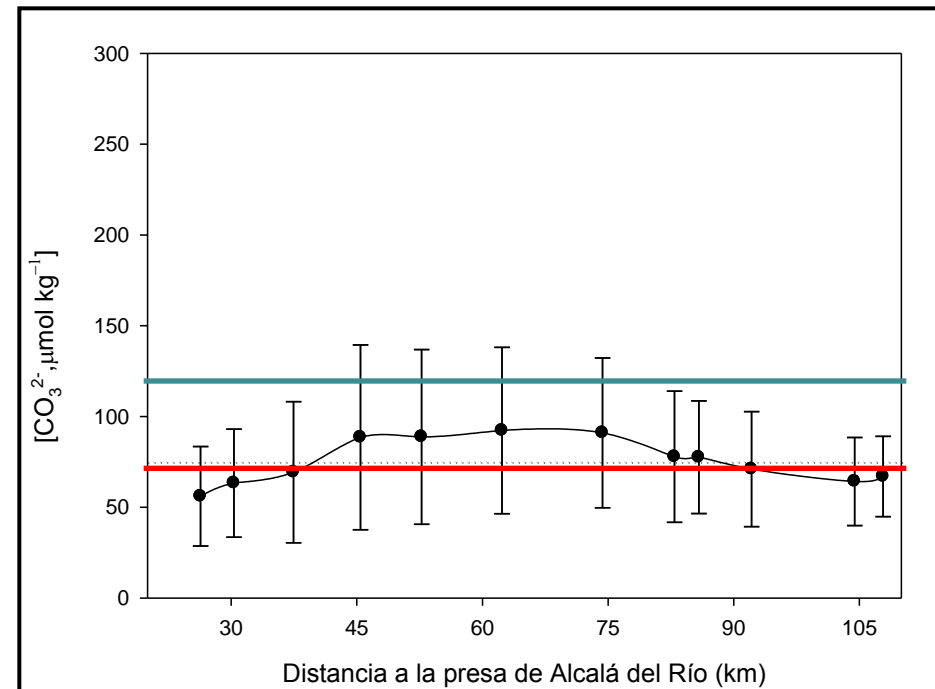
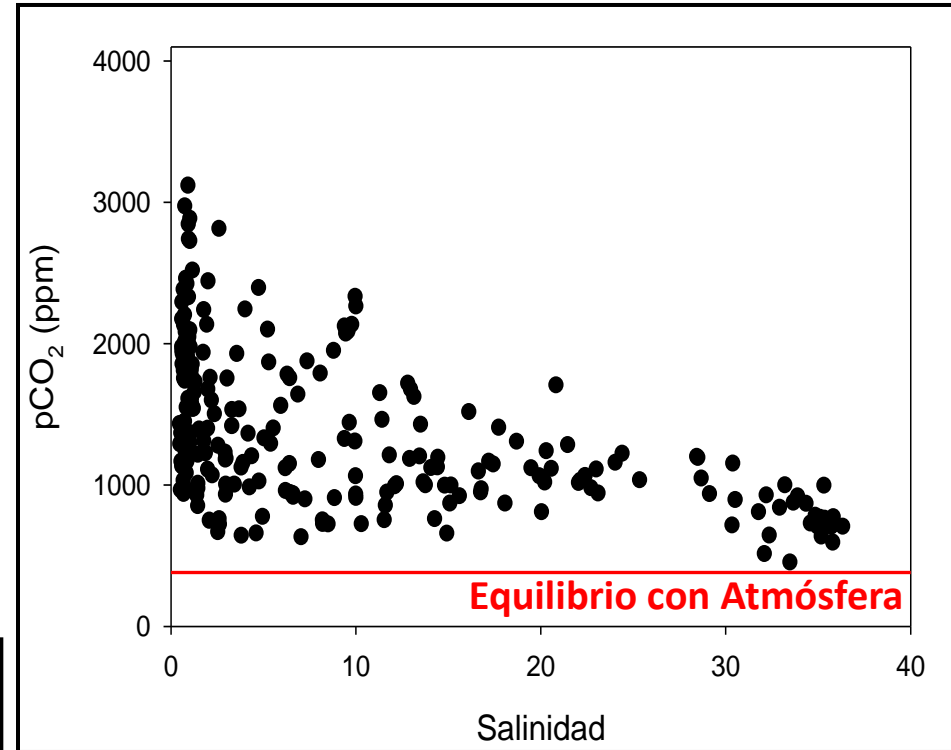
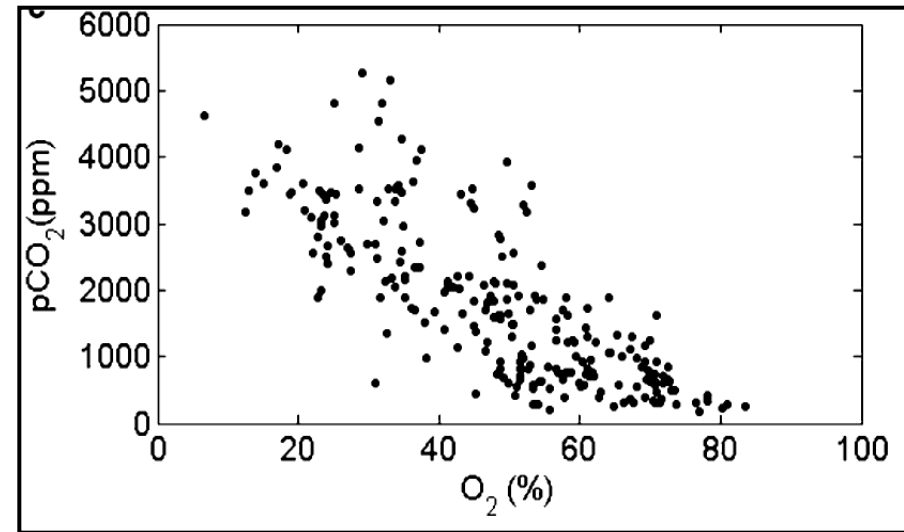




# Un ecosistema cuya biodiversidad está dañada



# Un ecosistema heterotrófico y con hipercapnia



Disminuciones en la metamorfosis, crecimiento y supervivencia (>50%) de larvas de moluscos



Disolución de conchas de bivalvos



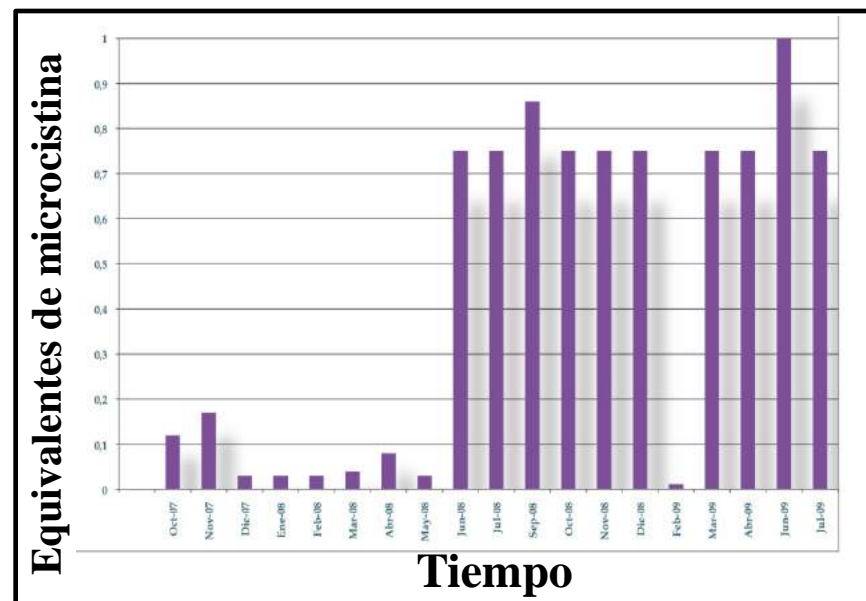
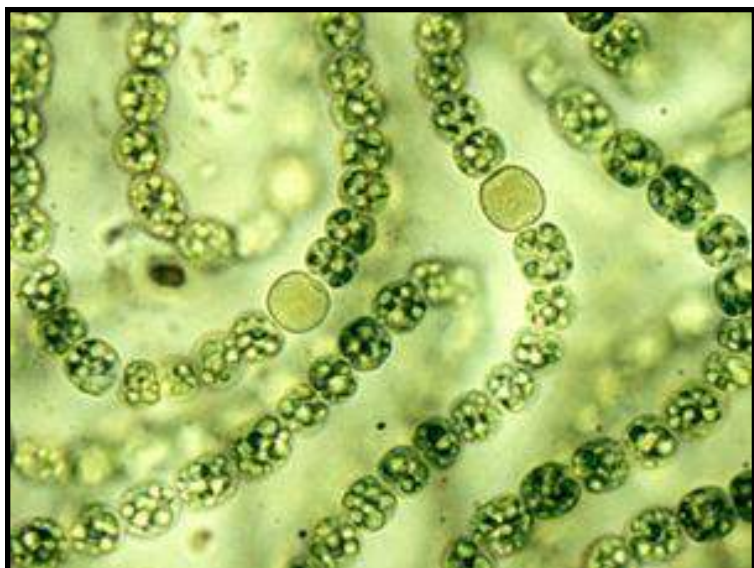
Estuaries and Coasts (2015) 38:2295–2309  
DOI 10.1007/s12237-014-9923-1

Air–Water  $CO_2$  Fluxes in a Highly Heterotrophic Estuary

Susana Flecha · I. Emma Huertas · Gabriel Navarro · Edward P. Morris · Javier Ruiz



# Problemas de salud humana

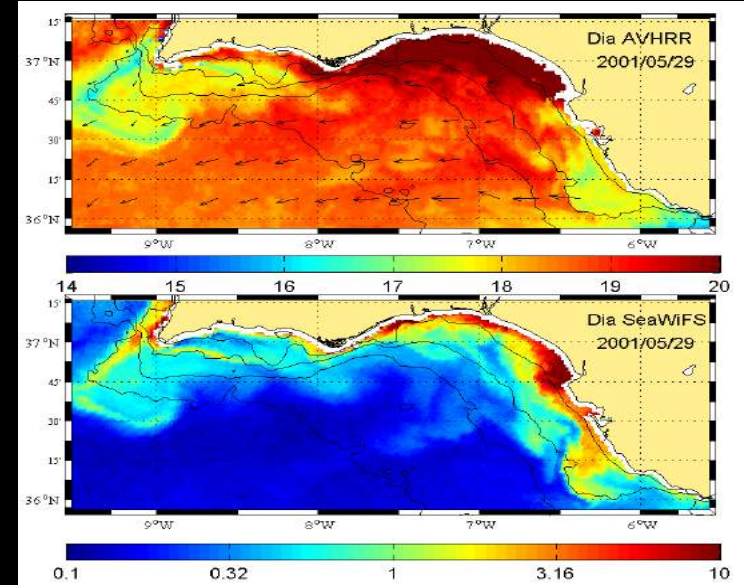
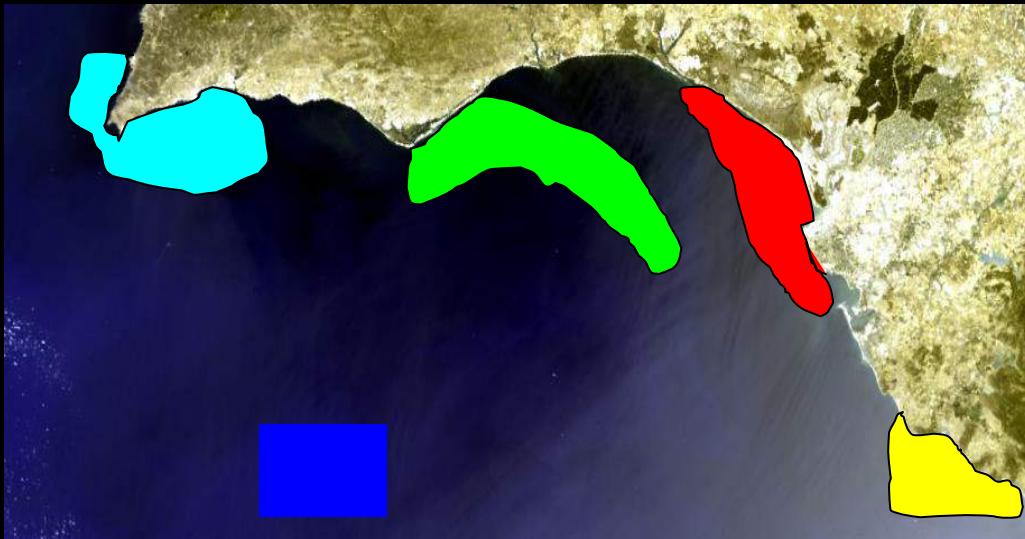


## TORTERITOS





# Un hábitat con enormes potenciales





## 6.- Conclusiones



# Puntos de síntesis

## **Proceso histórico de ocupación y transformación**

- Reducción de la entrada de agua dulce
- Reducción de la superficie de los llanos mareales
- Cauce principal “único y rectificado”
- Presa de Alcalá del Río
- Polución química y biológica



## **Estuario de resiliencia limitada ante los forzamientos naturales y humanos**

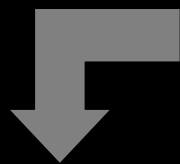
- Estuario no estratificado
- Dominio de la llenante
- Prisma de marea insuficiente
- Elevada carga de materia orgánica
- Fuerte reducción de hábitats originales
- Fuerte modificación de hábitats remanentes



# Puntos de síntesis

**Proceso histórico de ocupación y transformación**

**Estuario de resiliencia limitada ante los forzamientos naturales y humanos**



## **Alteración de procesos**

- Elevada turbidez en el estuario
- Biogeoquímica muy modificada
- Reducción de la diversidad biológica
- Reducción del potencial pesquero
- Inestabilidad morfológica del cauce
- Erosión de márgenes
- Episodios frecuentes de toxicidad



## **Algunos costes imputables**

- Dragados cauce y desembocadura
- Demanda y consumo de agua arrozal
- Operatividad de salinas y acuicultura
- Limpieza de playas
- Pérdida del potencial pesquero
- Salud humana



## **Algunos beneficios**

- Reducción de inundaciones
- Renovación de agua hasta Alcalá
- Económicos

## ¿Qué estuario tenemos?

- I) El estuario del Guadalquivir es hoy en día un ecosistema muy alterado con sus funciones naturales minimizadas, inhibidas o simplemente anuladas.
- II) Estamos sustituyendo su enorme potencial natural por funciones artificiales que consumen suelo, agua y energía.

## ¿Qué estuario queremos?

### Revisión de algunos de los objetivos socioeconómicos

- Controlar del agua dulce de la cuenca  
no “tirar” agua dulce al mar
- Dragar todo lo que demande el tráfico marítimo  
entrada de barcos de mayor calado
- Poner en valor (económico-monetario) los llanos del estuario  
con agricultura o urbanizaciones
- Abandonar la actividad pesquera  
cada año hay menos potencial pesquero
- Incrementar los servicios turísticos  
cuantos más servicios y más turistas mejor

### Revisión de algunos de los objetivos ambientales

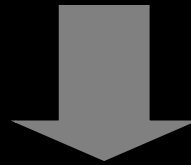
- Espacio Natural Doñana  
mantener Doñana aislada del estuario



# REVISAR ESQUEMA DE TRABAJO

## Algunos principios básicos

- No trabajar contra los procesos naturales
- No ignorar las interacciones entre los diferentes usos
- Acotar las actividades humanas según los desarrollos ambientales
- Incentivar los desarrollos que favorecen la sostenibilidad del sistema estuario



**Una necesidad ineludible de  
Gestión Integrada e Integral del Estuario**

# RECORRIDO POS-ESTUDIO

## Científico

## Social

~200 artículos y capítulos de libro  
~10 PhD

Ámbito local

Ámbito nacional e internacional

Boicot local

UNESCO adopta las conclusiones del estudio y advierte a España de los riesgos de no incorporarlas

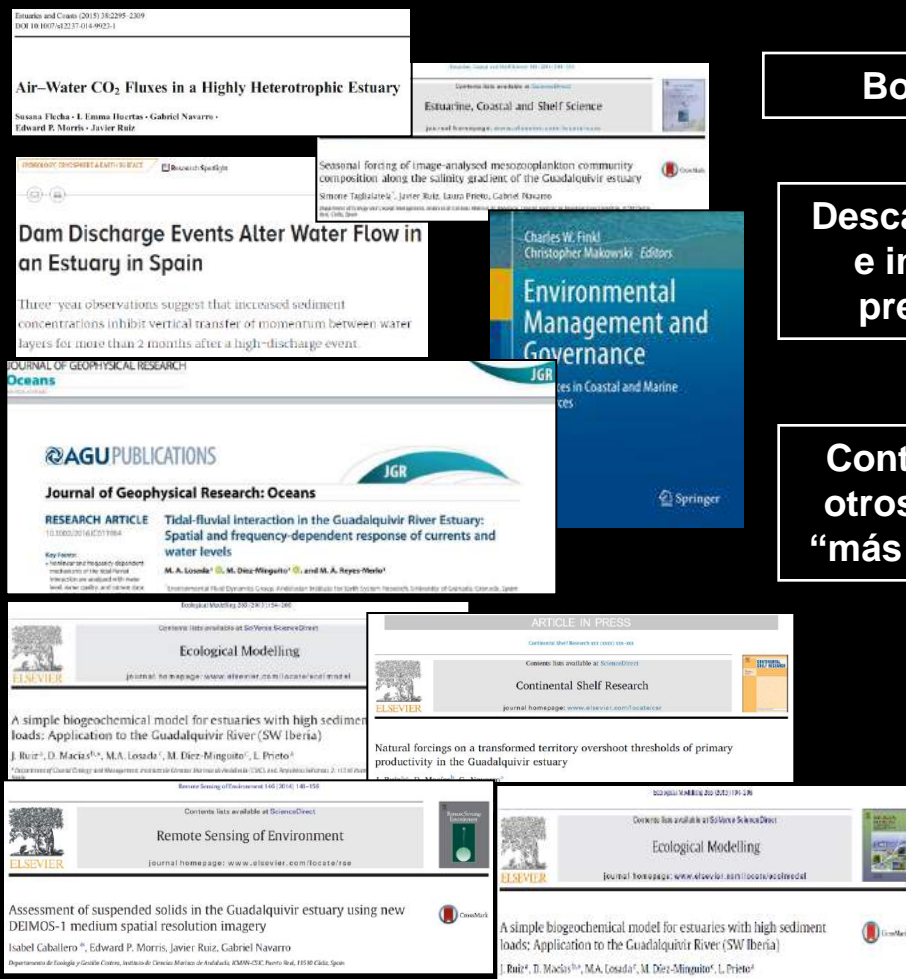
Descalificaciones e insultos en prensa local

Comisión Europea adopta las conclusiones y alerta al Reino de España que debe asumirlas

Contratación de otros científicos "más adecuados"

Tribunal Supremo de España sienta jurisprudencia sobre gestión de estuarios con base en el estudio

Senado de España adopta las conclusiones del estudio y fuerza a la Autoridad Portuaria de Sevilla a aceptarlas





# ¡Gracias!



## SEMINARIO

**“Lineamientos para la determinación de capacidad de carga en fiordos y canales del sur de Chile”**









# Overall Conclusions

- Persistent high levels of suspended solids means very little light is available for photosynthesis and results in a water column where consumption dominates over oxygen production.
- This issue is enhanced by the high organic matter and nutrient loading (particularly nitrate) from agricultural and urban land uses, which stimulates respiratory decomposition-catabolism and denitrification.
- The negative net metabolic balance of the estuary also results in very high CO<sub>2</sub> concentrations.
- As for suspended sediments, the generally low, fresh water flow rates resulting in little or no stratification, combined with the geomorphological modifications, have resulted in estuarine waters with generally high residence times. These strongly contribute to water quality problems, particularly in the upper section with the highest matter loadings, both for chronic problems, but also for rare accidental events such as the Aznalcollar mining spill.
- The present conditions within the estuary are that of a system where low dissolved O<sub>2</sub>, high CO<sub>2</sub>, high TSS and a lack of stable benthic-intertidal habitats limits biodiversity and ecosystem services, more than is typical of other estuaries.



Measures to improve the conditions of the estuary (recovery of tidal flats and fresh water inputs) are necessary before other potential actions (e.g. deeper dredging) are considered.

# Some reactions

- Questioning our personal and professional honesty in Spanish media
- Ad hoc damaging of the observing system
- Boycotting the extensive scientific body (data, reports, papers,...) generated when implementing the WFD for the estuary.
- Hiring of “adequate” scientists

## Present situation

**Supreme Court of Spain: La Sección Cuarta de la Sala de lo Contencioso Administrativo del Tribunal Supremo dictó el 26 de febrero de 2015 la sentencia 323/2013 que sienta jurisprudencia en la legislación española: “Recurso contencioso administrativo. Impugnación del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Nulidad del dragado del canal del Puerto de Sevilla y su carácter como medida complementaria.**

**Commission asks SPAIN to reconsider environmental impacts of dredging the Guadalquivir (Brussels, 26 March 2015). The European Commission is asking Spain to take a cautious approach to upgrading maritime access to the Port of Seville, and assess the potential negative effects on [Natura 2000](#) sites, including the Doñana National Park. A recent scientific study by the Spanish authorities has indicated that dredging the navigation canal would have serious negative impacts on the shape and the biodiversity of the estuary, with consequent effects on protected natural sites in the vicinity. Under the [Habitats Directive](#), any plan or project likely to have a significant effect on a protected site needs an "appropriate assessment" of its implications. The Directive allows projects to go ahead despite a negative assessment, for reasons of overriding public interest, but in such cases compensatory measures are needed to ensure that the overall coherence of the Natura 2000 network is maintained. As Spain has not examined in detail the impact of the project or the alternative solutions, which is a basic requirement according to the**



*Propuesta metodológica para diagnosticar y pronosticar las consecuencias de las actuaciones Humanas en el estuario del Guadalquivir*

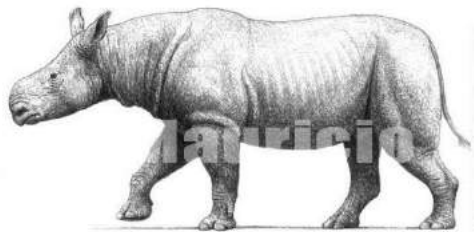
## **BLOQUES TEMÁTICOS**

- 1) Objetivos y planteamientos iniciales del proyecto
- 2) Aportes de la Cuenca
- 3) Dinámica Mareal
- 4) Salinidad y Turbidez
- 5) **Ecosistemas**
- 6) Desembocadura y plataforma interior
- 7) Conclusiones – Corolarios

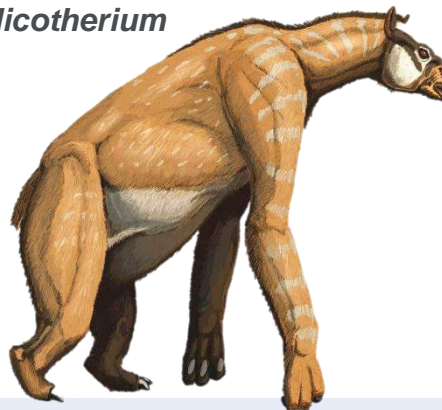
## **NIVELES DE SINTESIS**

Conclusiones y Corolarios <- Informe Diagnóstico Sintético  
<- Informes Temáticos <- Datos Analizados (~80x10<sup>6</sup>)

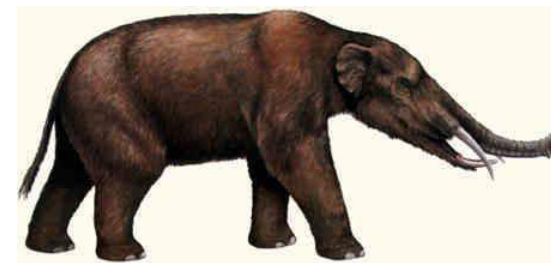
*Aceratherium*



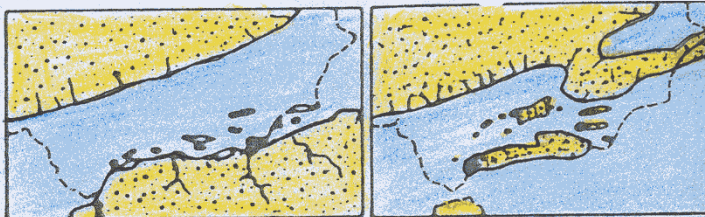
*Chalicotherium*



*Gomphotherium*

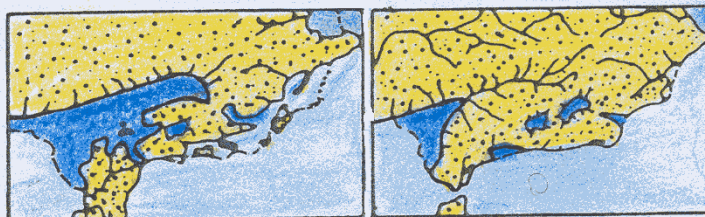


1. Mioceno medio  
(≈22 m.a)



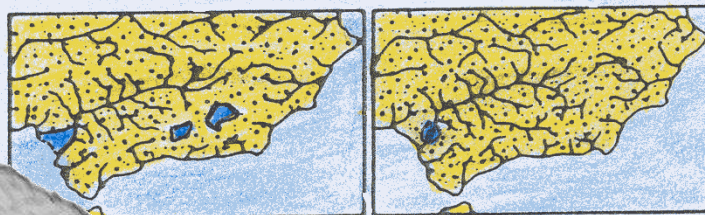
2. Mitad del Mioceno superior  
(≈18 m.a)

3. Tránsito del Mioceno al Plioceno  
(≈11 m.a)



4. Plioceno superior  
(≈4 ma)

5. Cuaternario antiguo  
(≈1,5 m.a)



6. Época actual

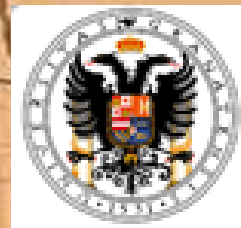
*Anancus*



s emergidos

**¿Cómo hemos  
llegado hasta  
aquí?**





***Propuesta metodológica  
para diagnosticar y  
pronosticar las  
consecuencias de las  
actuaciones humanas en el  
estuario del Guadalquivir.***



# **Propuesta metodológica para diagnosticar y pronosticar las consecuencias de las actuaciones Humanas en el estuario del Guadalquivir**

## **Origen del proyecto.**

- 1) DIA + exigencias adicionales del MMA -> Encomienda al CSIC.
- 2) Presentación del proyecto (enero 2007) a comisión Doñana 2005

*Propuesta metodológica para diagnosticar y pronosticar las consecuencias de las actuaciones humanas en el estuario del Guadalquivir.*

- 3) Plazo administrativo para la recepción de sugerencias de modificación al proyecto presentado.
- 4) Transcurrido este plazo no hay sugerencias por lo que la comisión da el VB al planteamiento presentado.
- 5) Contrato entre la APS y el CSIC firmado en mayo de 2007.
- 6) Presentación resultados del estudio a Comisión Doñana 2005 en octubre de 2010.

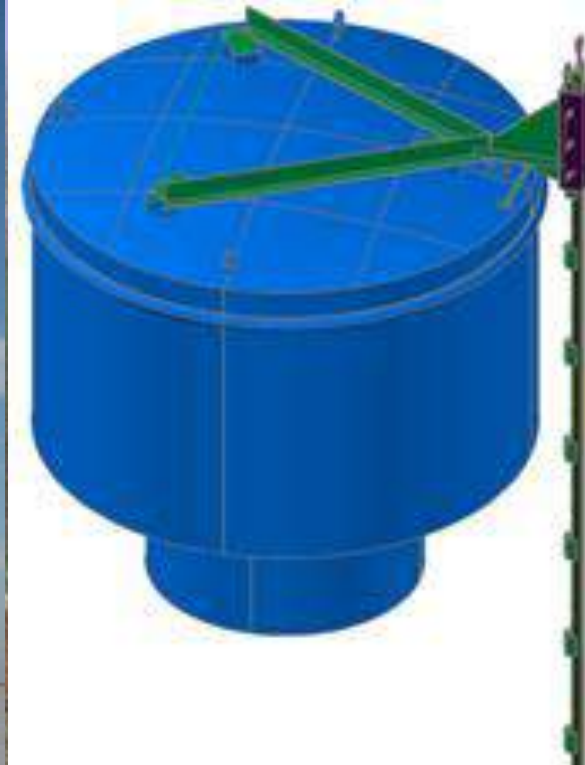


# **Datos Incluidos en el Análisis**

- **Red Información Agroclimática (RIA) (MAPA)**
- **Estación de telemetría de Salmedina (ICMAN)**
- **Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (MMARM)**
- **Estaciones de aforo del servicio de Hidrología de CHG incorporadas al Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) (Agencia Andaluza del Agua)**
- **Sistema Automático de Información de Calidad de Aguas (SAICA) (MMARM)**
- **Red Integral de Calidad de Aguas (ICA) (MMARM)**
- **Embarcaciones de Vigilancia y Control de la Calidad de las Aguas (CMA)**
- **Campañas del ecosistema pelágico (CSIC)**
- **Campañas Bentos\Pesca (CSIC)**
- **Red Agroclimática de Información Fitosanitaria (RAIF) (MAPA)**
- **Estaciones de aforo del servicio de Hidrología de CHG incorporadas al Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) (Agencia Andaluza del Agua)**
- **Estaciones de aforo del servicio de Hidrología de CHG aún pendientes de su inclusión en el SAIH. (Agencia Andaluza del Agua, CEDEX)**
- **Imágenes de satélite de la NASA (SEAWiFS, MODIS, CZCS, AVHRR)**
- **Imágenes de satélite de la ESA (MERIS)**
- **Red de mareógrafos de Puertos del Estado (Ministerio Fomento)**
- **Información de los registros históricos del Puerto de Sevilla (APS)**
- **Campañas de medida de intercambio plataforma-estuario (UGR)**
- **Red de telemetría (CSIC)**



# Innovación Tecnológica

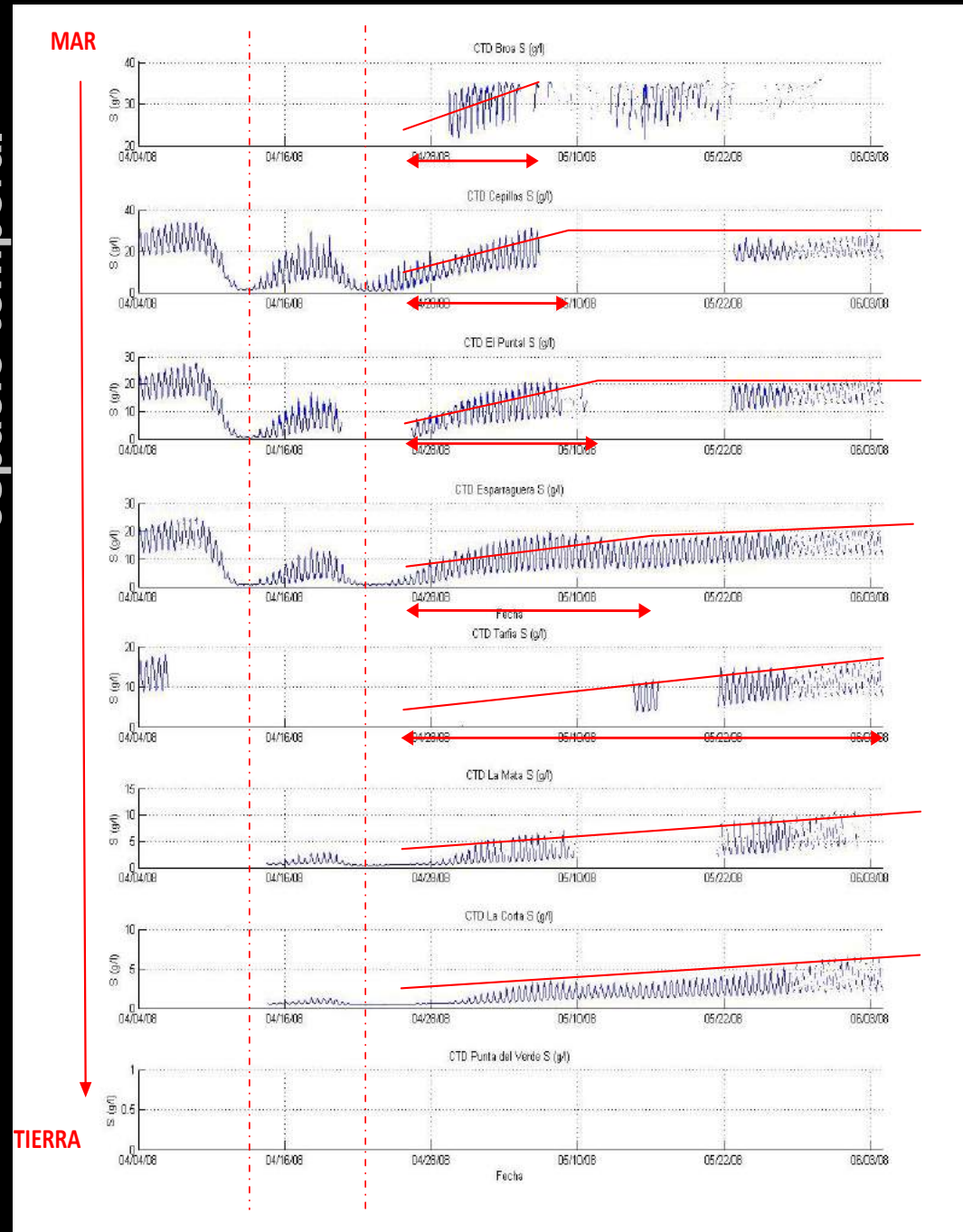
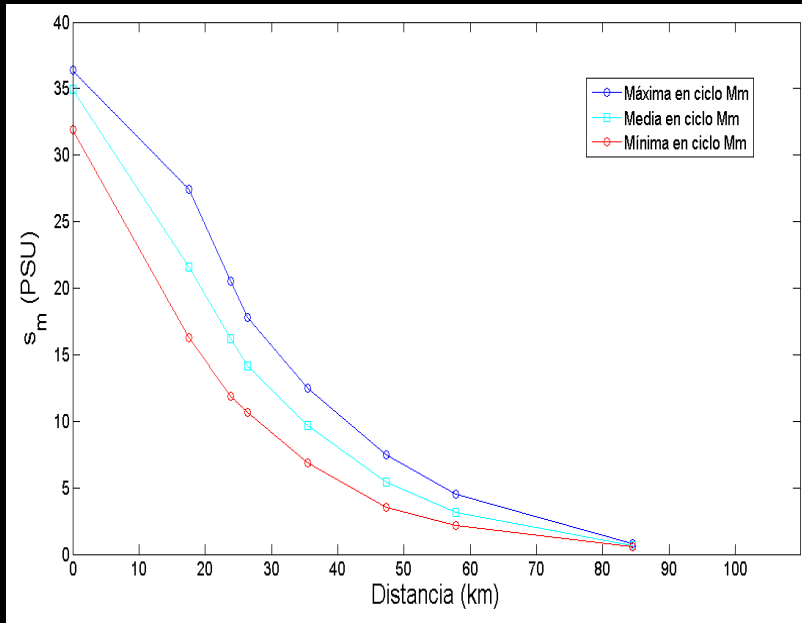




# Dinámica Salina

Variabilidad  
espacio-temporal

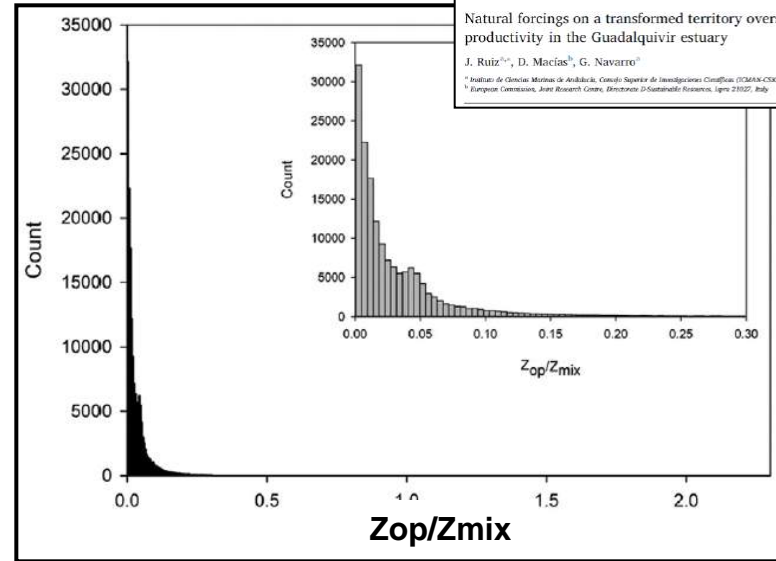
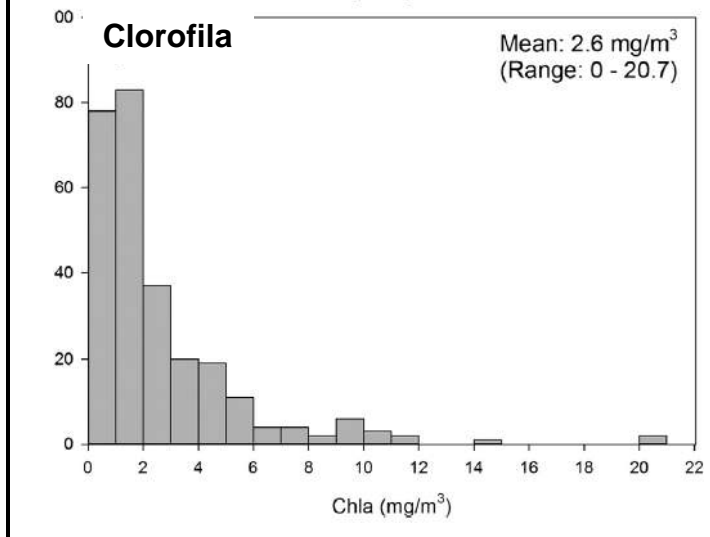
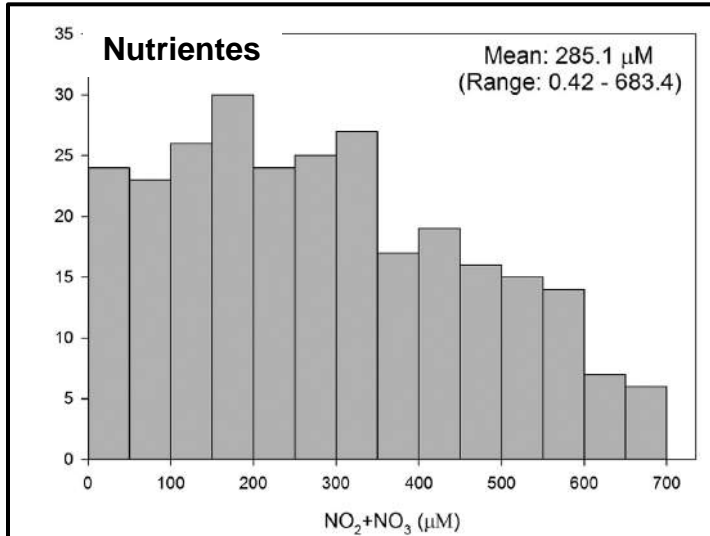
## Propiedades estadísticas



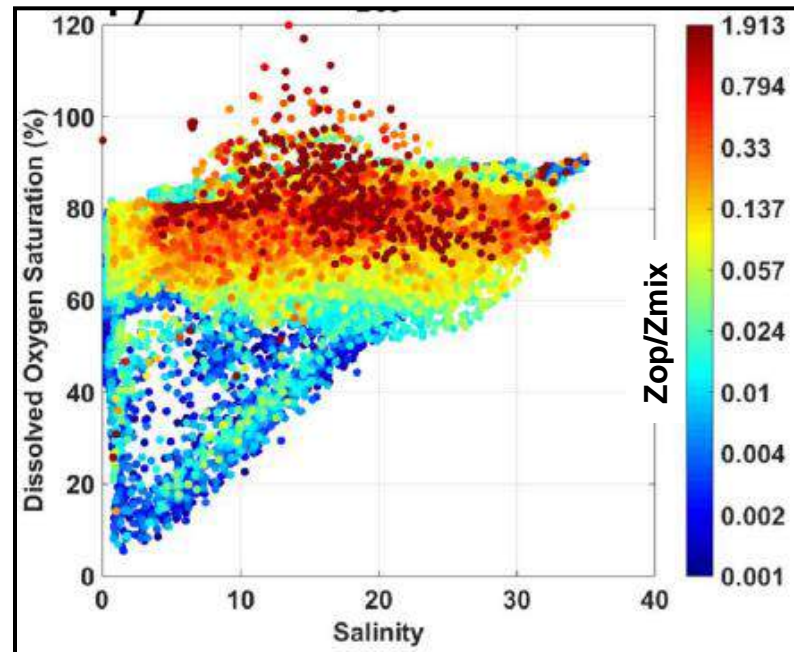
# Turbidez impide la producción



## Abundantes nutrientes-escasa producción



Zona fótica  
muy inferior a  
batimetría

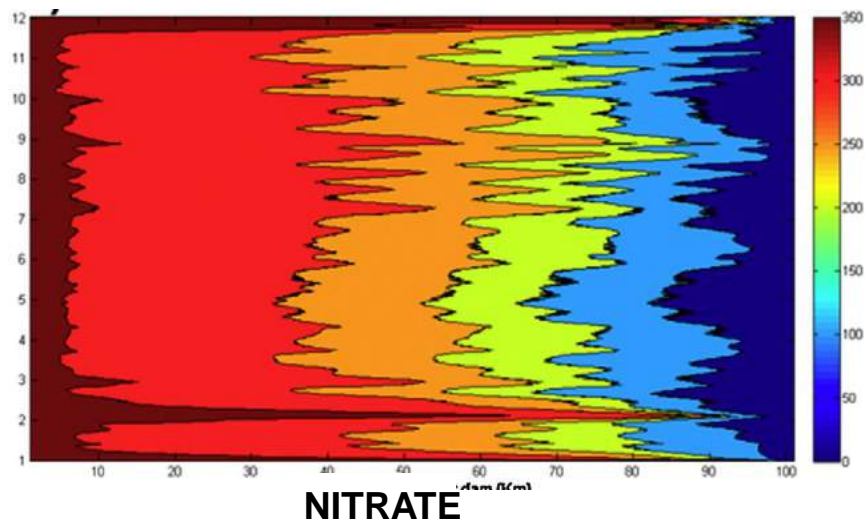


Cronicidad  
del problema

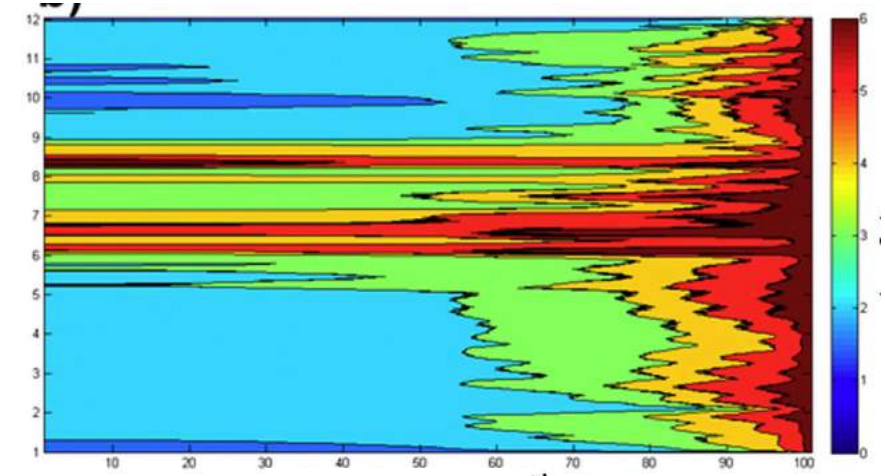


# Simulaciones

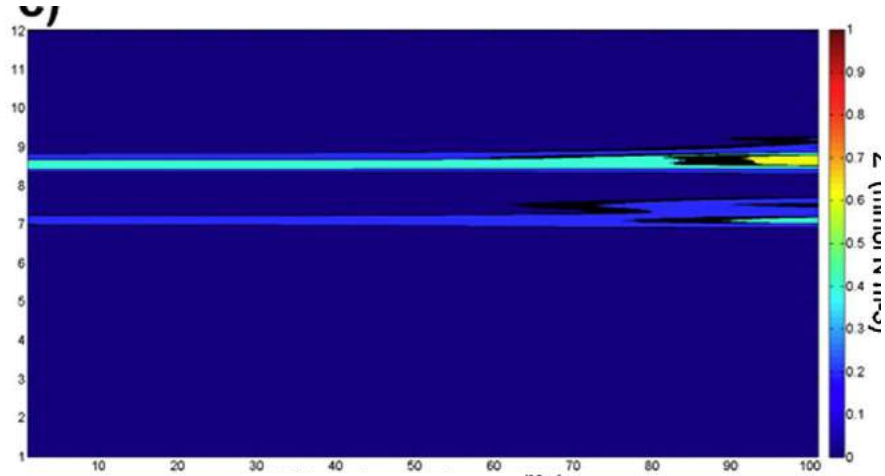
OXYGEN SATURATION



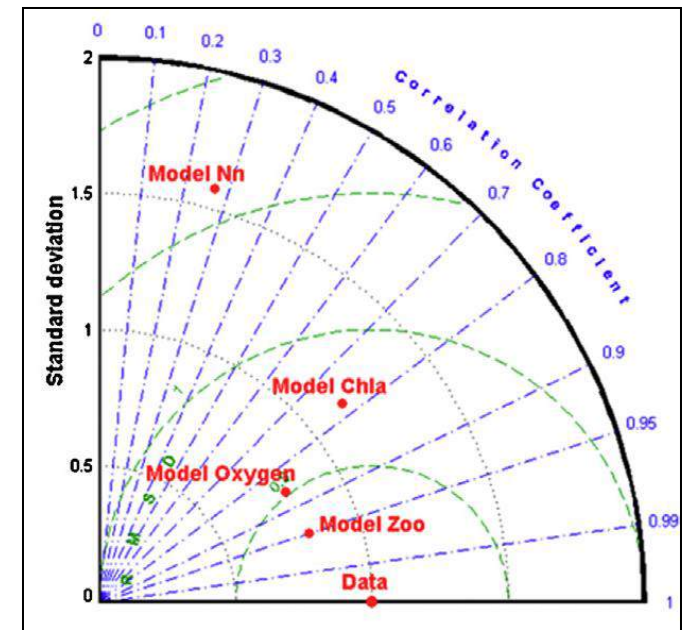
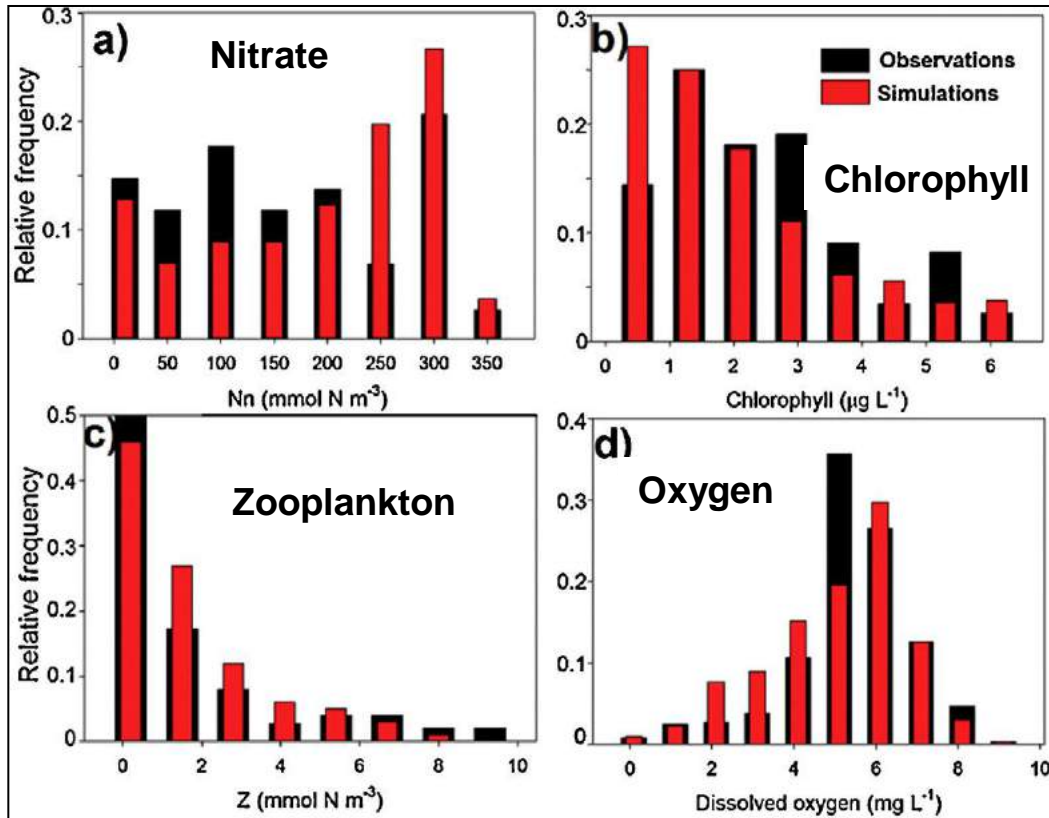
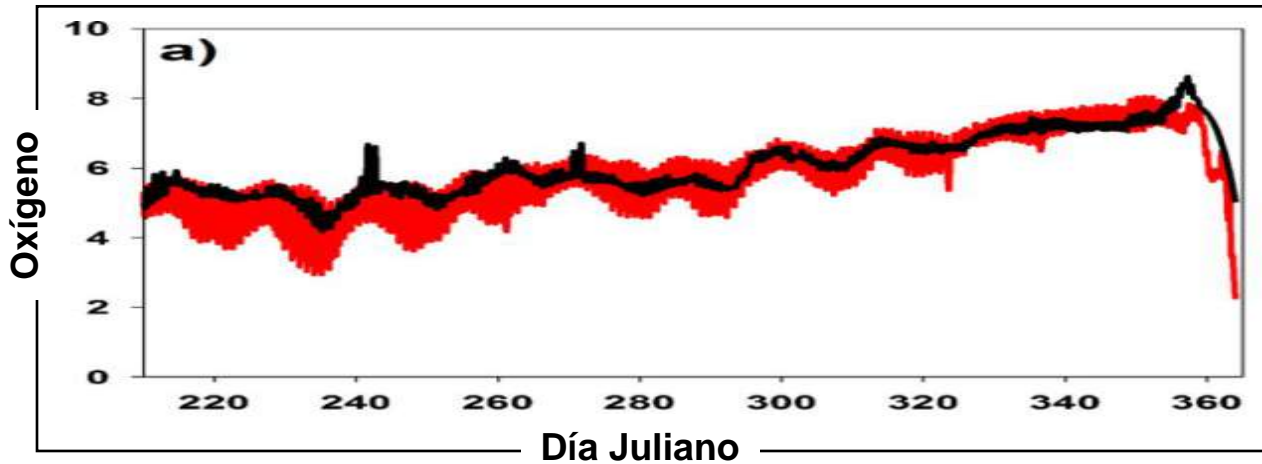
CHLOROPHYLL



ZOOPLANKTON

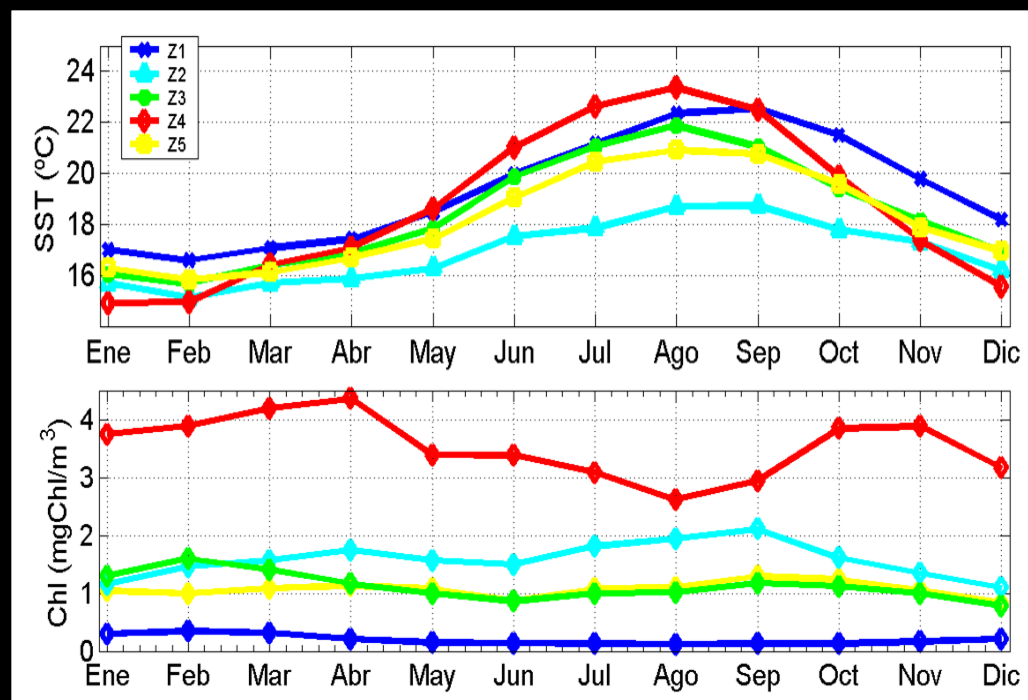
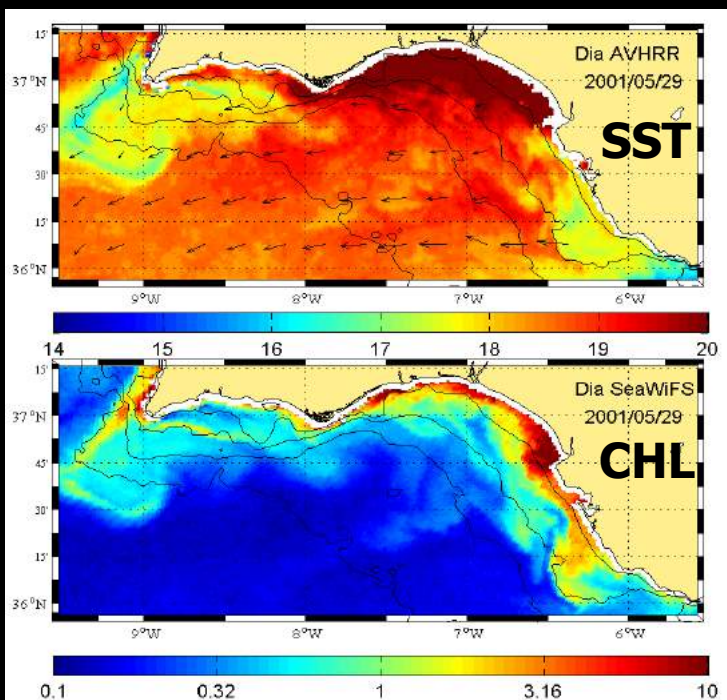


# Validación de la herramienta

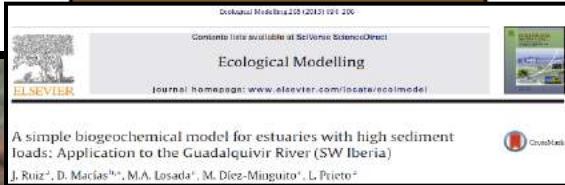
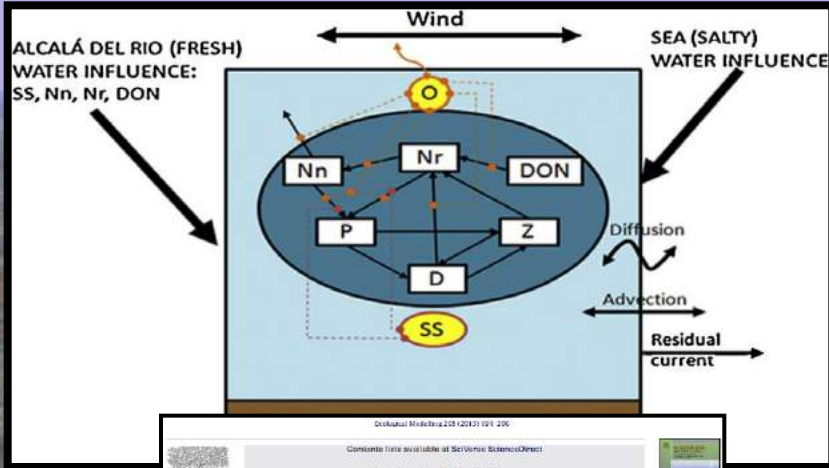




# Un hábitat con enormes potenciales



# Herramientas de pronóstico (análisis de escenarios)



$$\frac{\partial AC}{\partial t} = -\frac{\partial(uAC)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( -AK_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \text{reaction}$$

Marco físico

$$\frac{dP}{dt} = \overline{R_{light}} QP - f_T m_F P - f_T p_Z Z \left( \frac{P}{P + \xi D} \right) \left( \frac{P + \xi D}{k_m + (P + \xi D)} \right)$$

Fitop.

$$\frac{dNn}{dt} = -\overline{R_{light}} P e^{\phi N_r} \left( \frac{Nn}{K_{Nn} + Nn} \right) + f_T D_{Nr} \frac{O}{K_0 + O} - \text{Denit}$$

Nitrato

$$\frac{dNr}{dt} = -\overline{R_{light}} P \left( \frac{Nr}{K_{Nr} + Nr} \right) - f_T D_{Nr} Nr \frac{O}{K_0 + O} + f_T m_D (D = DON) + f_T e_z Z$$

Amonio

$$\frac{dZ}{dt} = g_z f_T p_Z Z \left( \frac{P + \xi D}{P + \xi D + K_m} \right) \left[ \left( \frac{P}{P + \xi D} \right) + \left( \frac{D}{D + \xi D} \right) \right] - f_T e_z Z - m_Z Z^2$$

Zoop.

$$\frac{dD}{dt} = f_T m_P P - f_T m_D D + (1 - g_z) f_T p_Z Z \left( \frac{P}{P + \xi D} \right) \left( \frac{P + \xi D}{K_m + (P + \xi D)} \right) - \dots$$

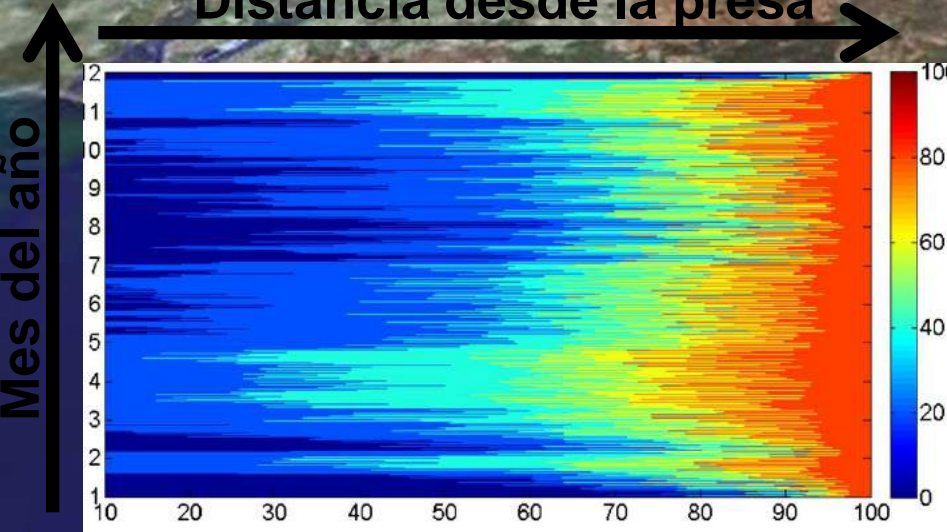
$$g_z f_T p_Z Z \left( \frac{D}{D + \xi D} \right) \left( \frac{P + \xi D}{K_m + (P + \xi D)} \right)$$

Detrit.

$$\frac{dO}{dt} = \text{Exch}_{air-sea} + 8.625 \overline{R_{light}} P e^{\phi N_r} \left( \frac{Nn}{K_{Nn} + Nn} \right) + 6.625 \overline{R_{light}} P \left( \frac{Nr}{K_{Nr} + Nr} \right) - 1.5 f_T D_{Nr} Nr \frac{O}{K_0 + O} - 6.625 f_T m_D \frac{O}{K_0 + O} (D + DON)$$

Oxígeno

Distancia desde la presa



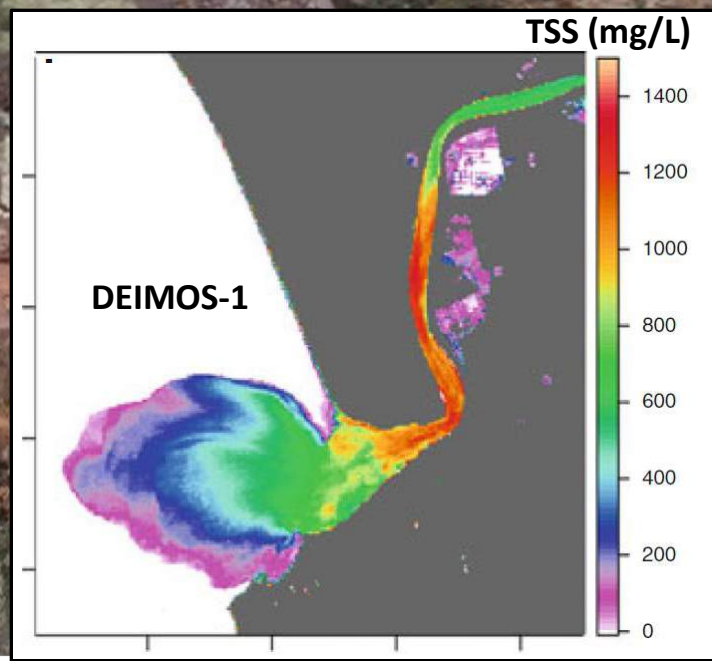
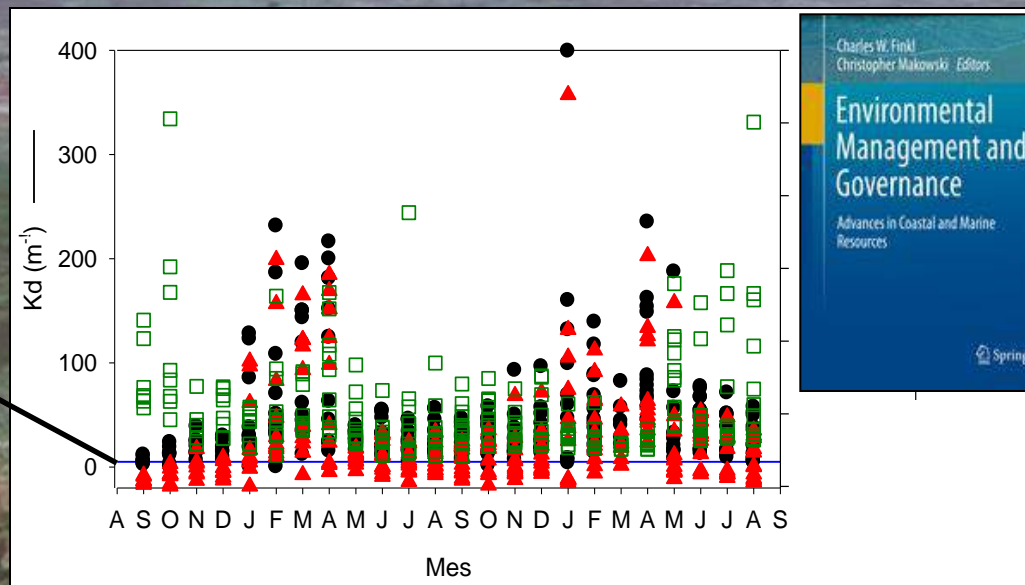


# Ecosistema controlado por la turbidez

## SÓLIDOS SUSPENSIÓN

River	Mean concentration (mg/L)
Amazonas	200
Colorado	0.5
Columbia	39
Congo	34'
Danube	325
Ganges	1,092
Indo	247
Mackenzie	137
Mekong	340
Mississippi	362
Niger	208
Orinoco	136
St. Lawrence	9
<b>Guadalquivir</b>	<b>600</b>

$K_d \approx 5 \text{ m}^{-1}$   
 aguas turbias en sistemas estuáricos



Remote Sensing of Environment 146 (2014) 148–158

Contents lists available at ScienceDirect

Remote Sensing of Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rse](http://www.elsevier.com/locate/rse)

Assessment of suspended solids in the Guadalquivir estuary using new DEIMOS-1 medium spatial resolution imagery

Isabel Caballero <sup>a,\*</sup>, Edward P. Morris, Javier Ruiz, Gabriel Navarro

<sup>a</sup>Departamento de Ecología y Gestión Costera, Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía ICMAN-CSIC, Puerto Real, 11510 Cádiz, Spain

