



# MODELADO DEL NORTE DEL ECOSISTEMA DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT

**Jorge Tam, Adolfo Chamorro, Dante Espinoza, Cinthia Arellano, Carlos Quispe, Yván Romero, Jorge Ramos**

**Laboratorio de Modelado Oceanográfico, Ecosistémico y del Cambio Climático (LMOECC – AFIOF – DGIOCC – Instituto del Mar del Perú)**

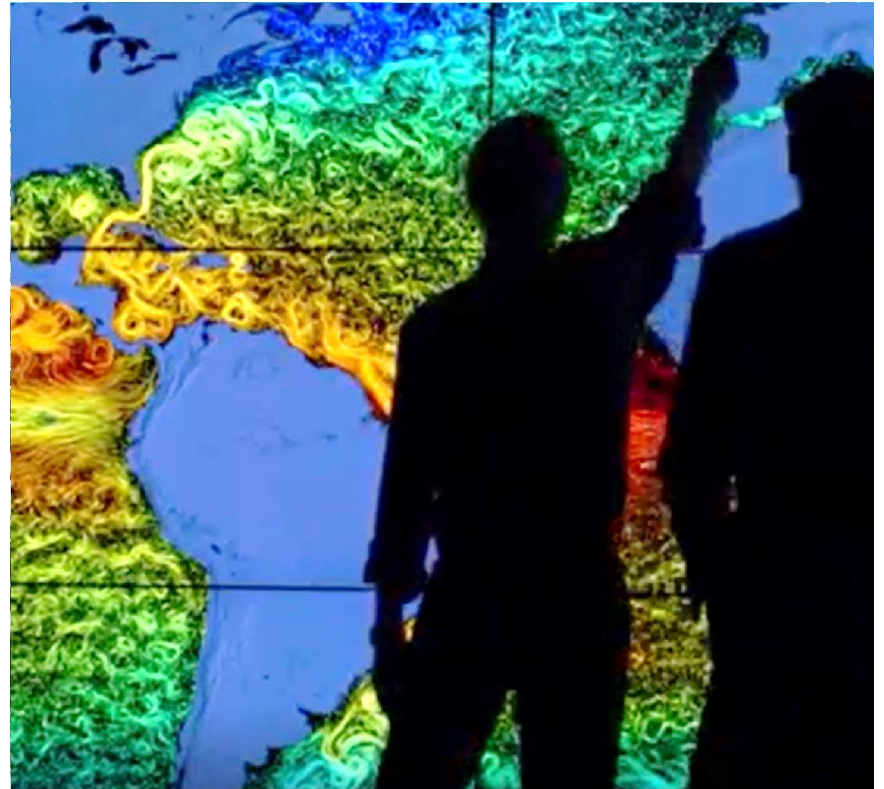
*Conferencias de Sostenibilidad Marina, Sociedad Nacional de Pesquería,  
7 de Febrero 2019*

# Contenido

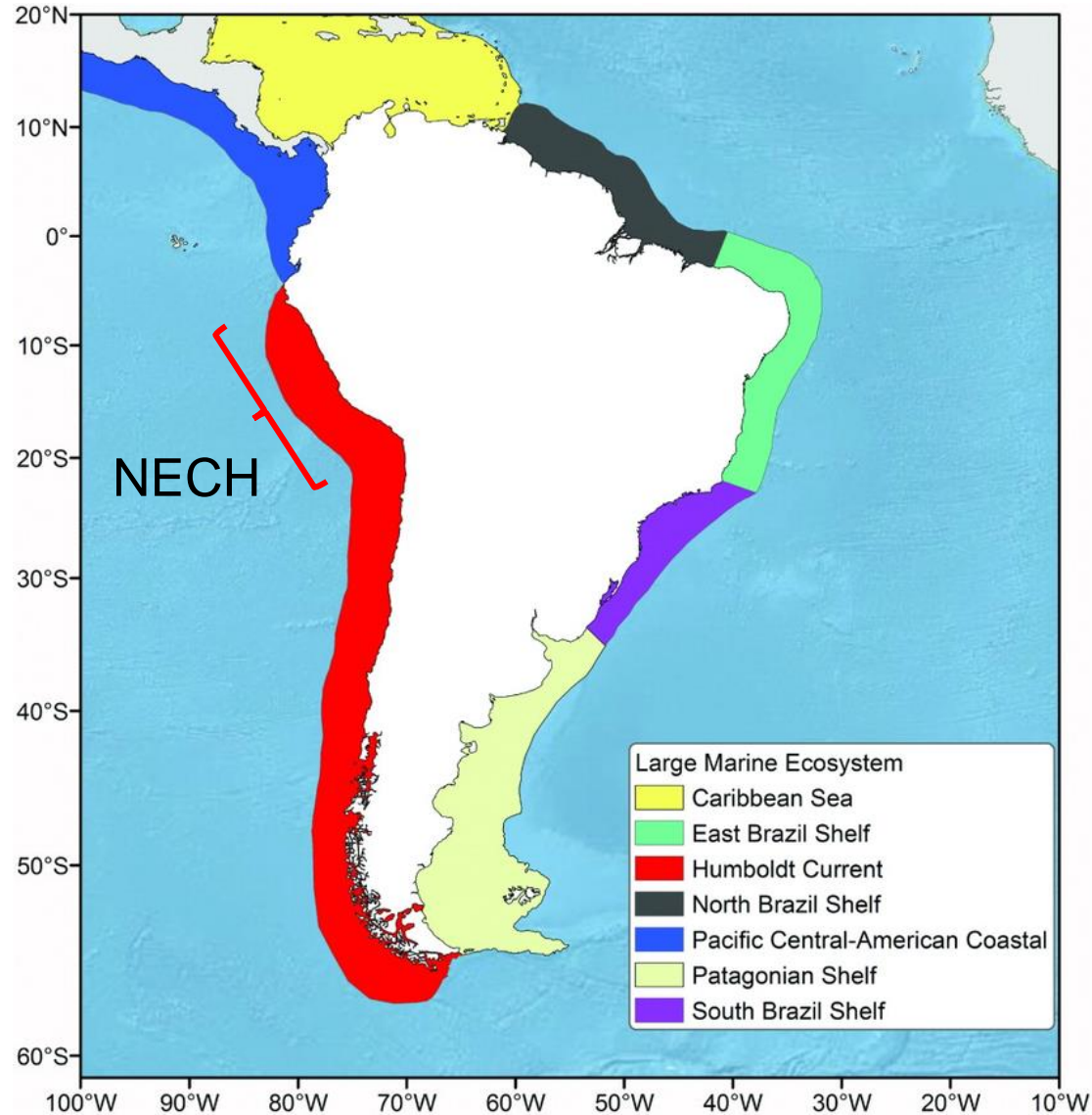
- Introducción
- Modelado de procesos
- Modelado ecosistémico
- Perspectivas
- Conclusiones

# Introducción

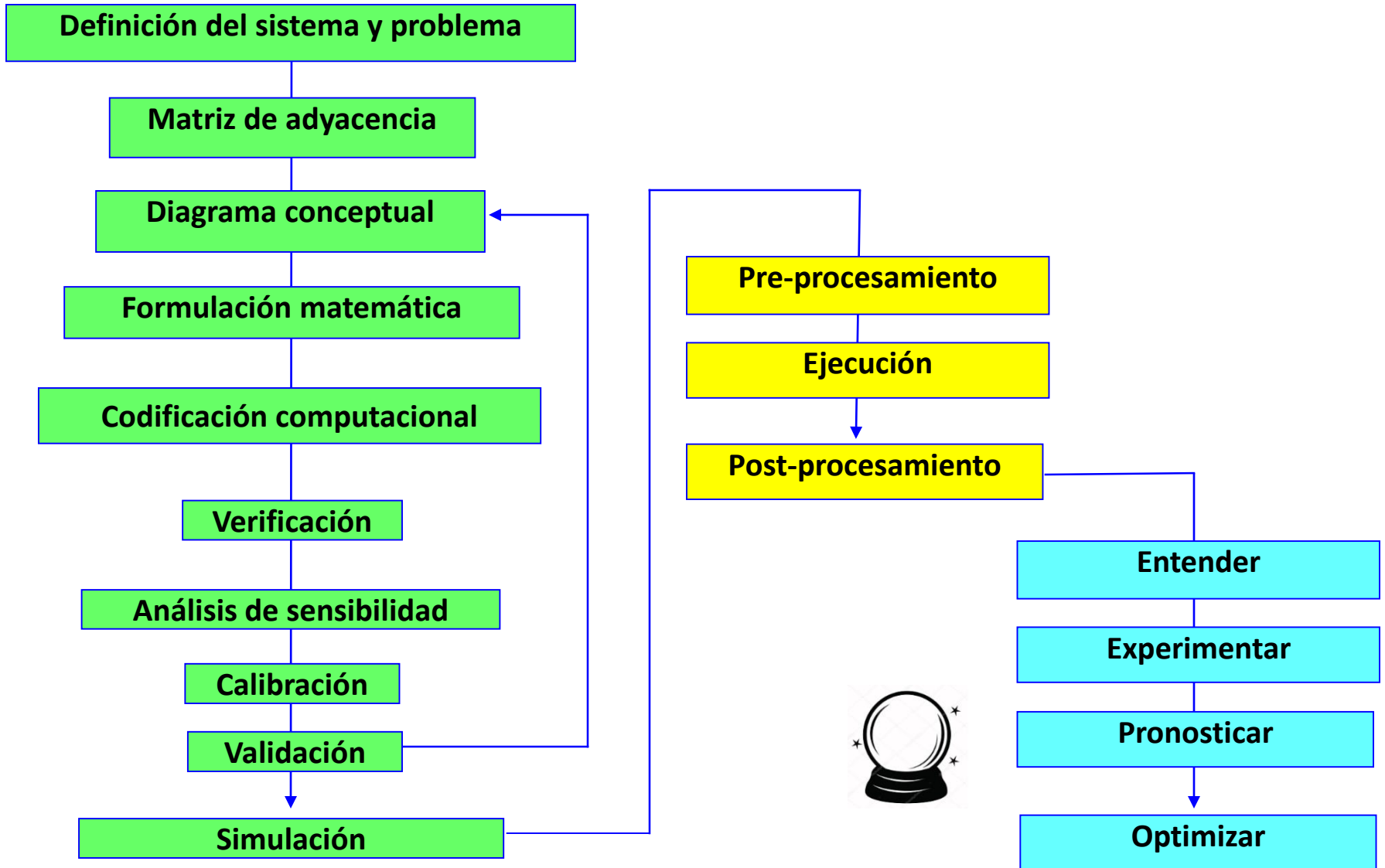
Modelado y análisis de procesos físicos, químicos y biológicos en el Norte del Ecosistema de la Corriente de Humboldt (NECH).



# Norte del Ecosistema de la Corriente de Humboldt (NECH)



# ¿Para qué sirven los modelos?

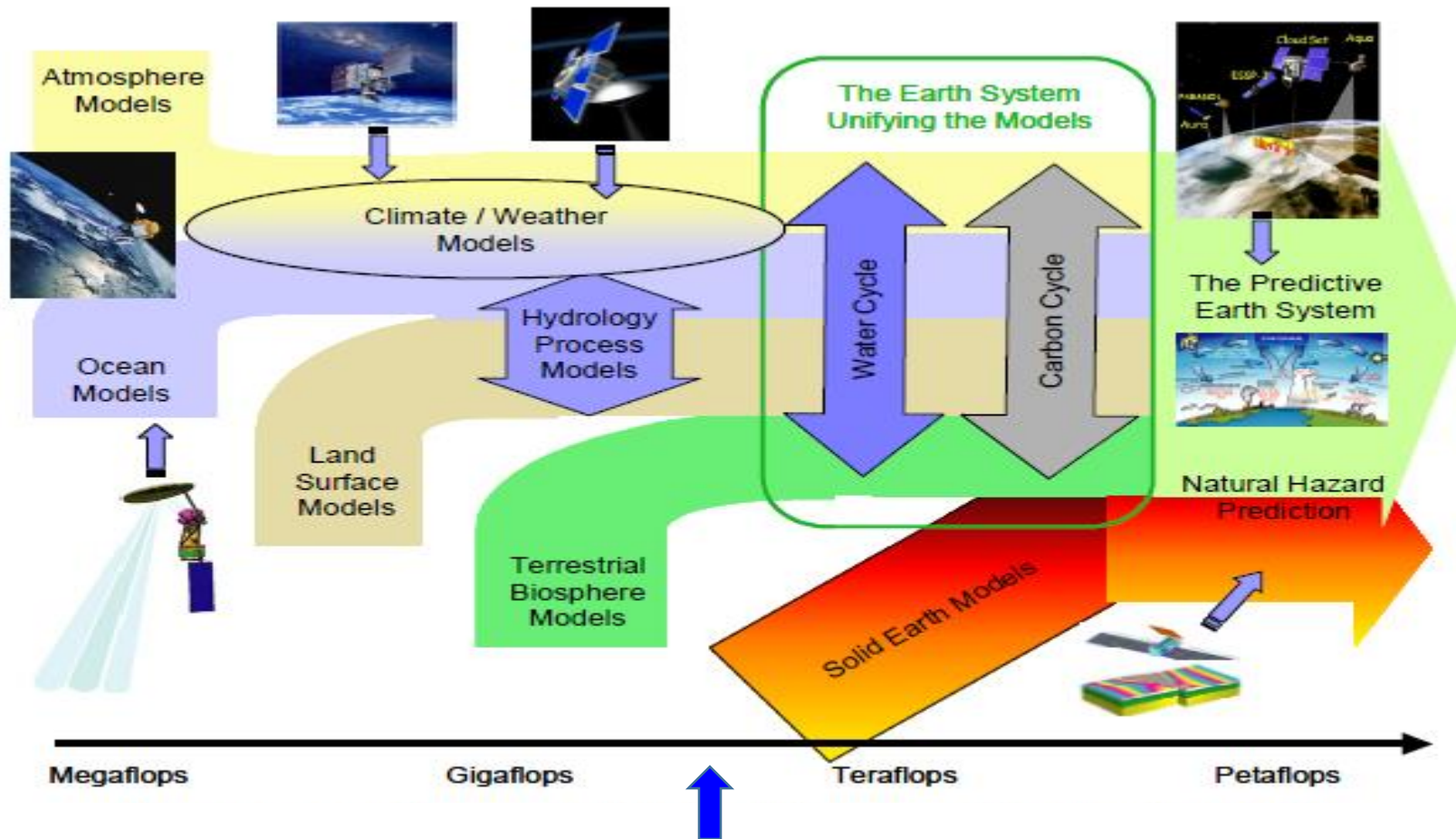


(modificado de: Jorgensen y Bendoricchio 2001)

# Infraestructura del LMOECC



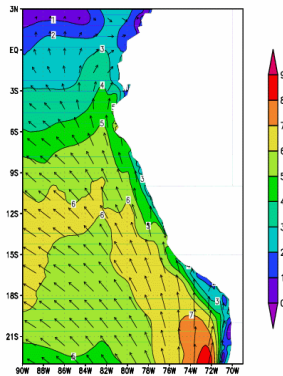
# Infraestructura del LMOECC



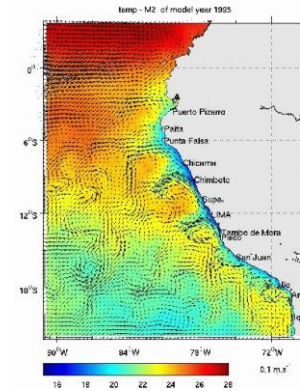
(Ferraro *et al.* 2003)

# Modelado de extremo a extremo del NECH (E2E)

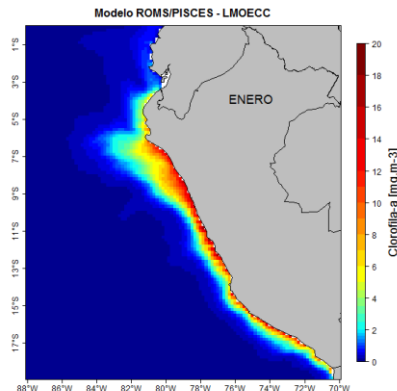
Modelo atmosférico  
(WRF)



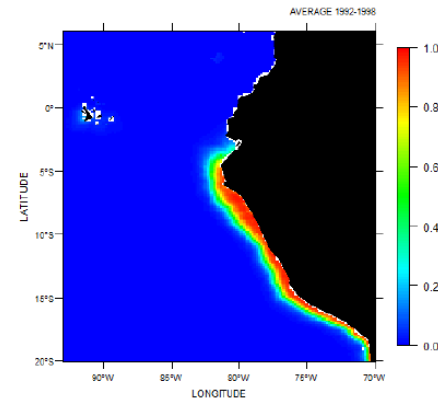
Modelo oceánico  
(ROMS)



Modelo biogeoquímico  
(PISCES)



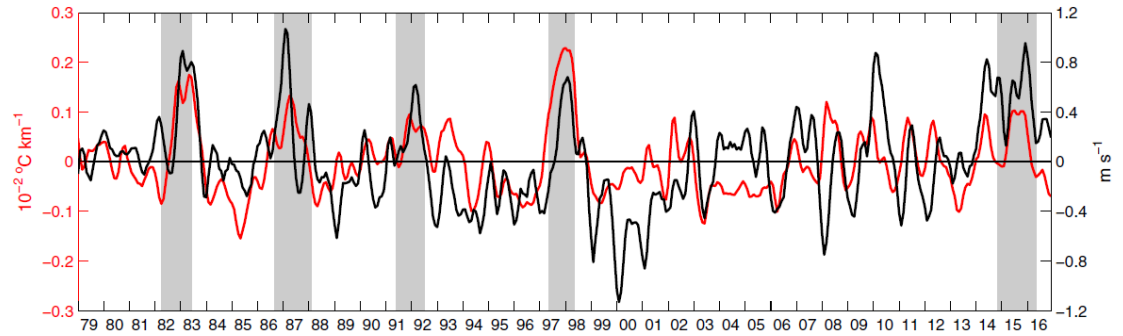
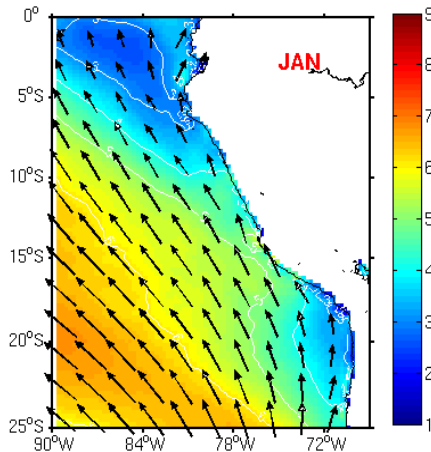
Modelo biológico  
(OSMOSE)



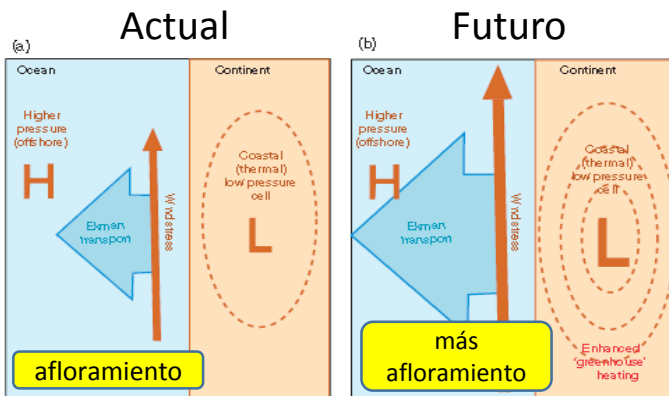


# Modelado de procesos: atmosféricos

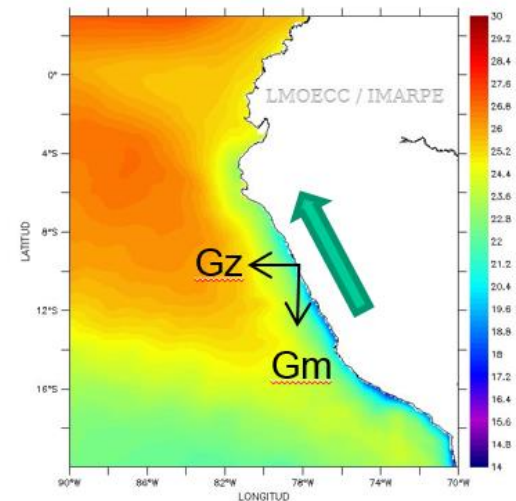
Modelo atmosférico  
(WRF): vientos



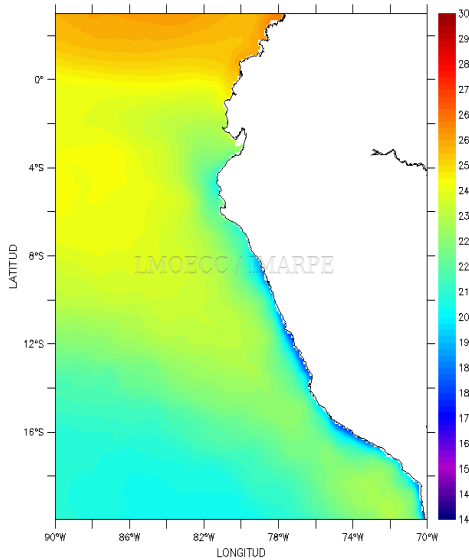
Anomalías de gradiente de temperatura (rojo) y viento costero a lo largo de la costa (negro) entre 1979-2016 (Chamorro *et al.* 2018)



(Bakun *et al.* 2014)

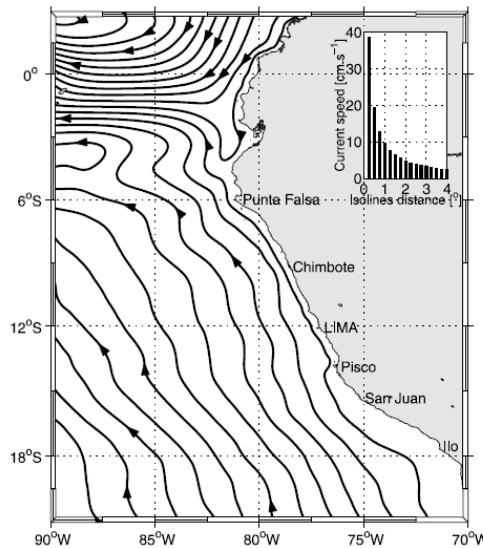


# Modelado de procesos: oceánicos físicos

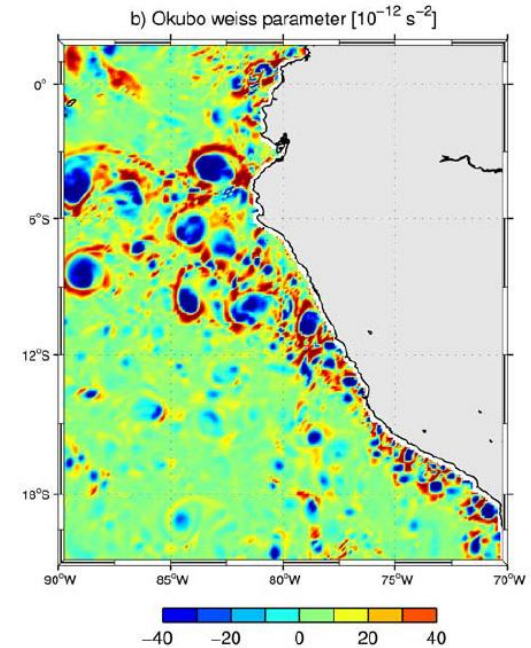


TSM Modelo ROMS (Celsius) ENERO

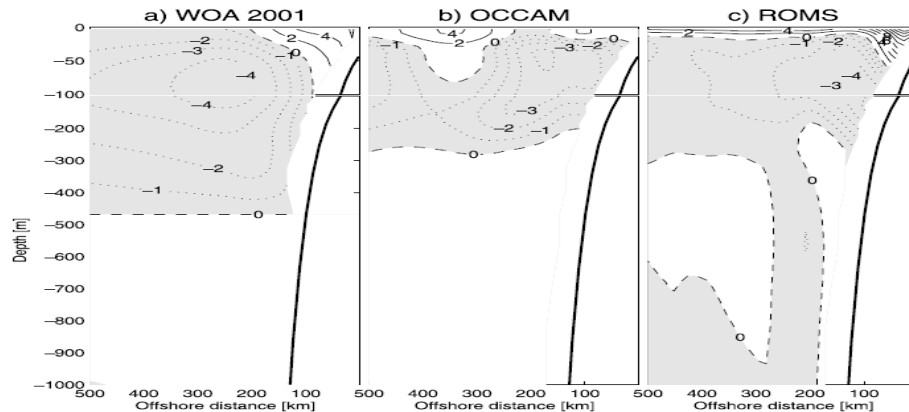
Temperaturas  
(LMOECC)



Corrientes  
(Penven *et al.* 2005)

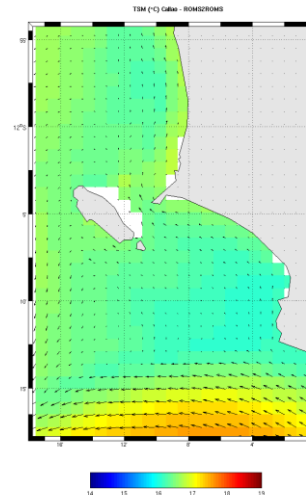
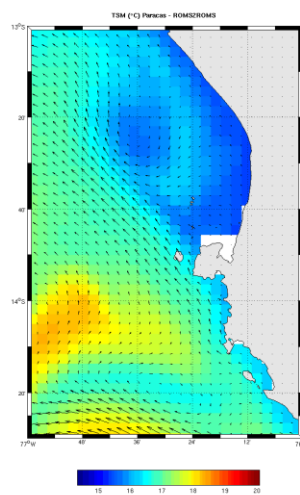
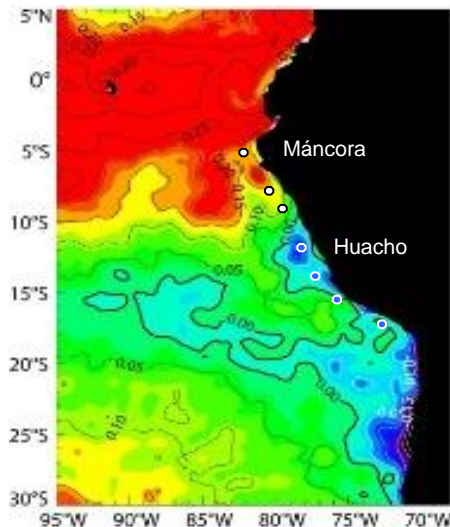
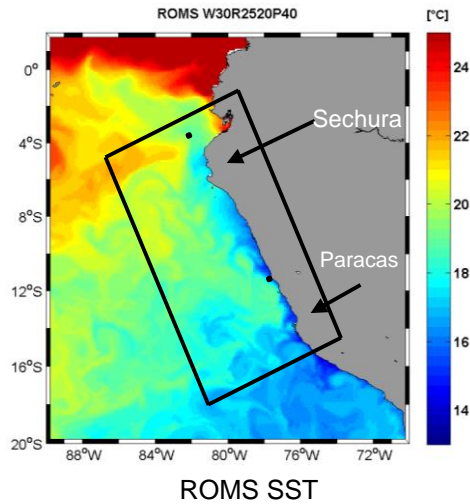


Remolinos

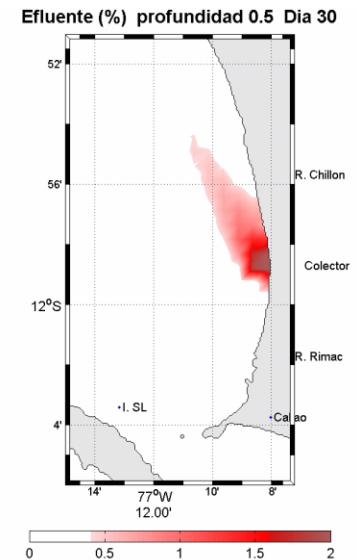


Estructura vertical de  
corrientes

# Modelos anidados: procesos de mesoescala

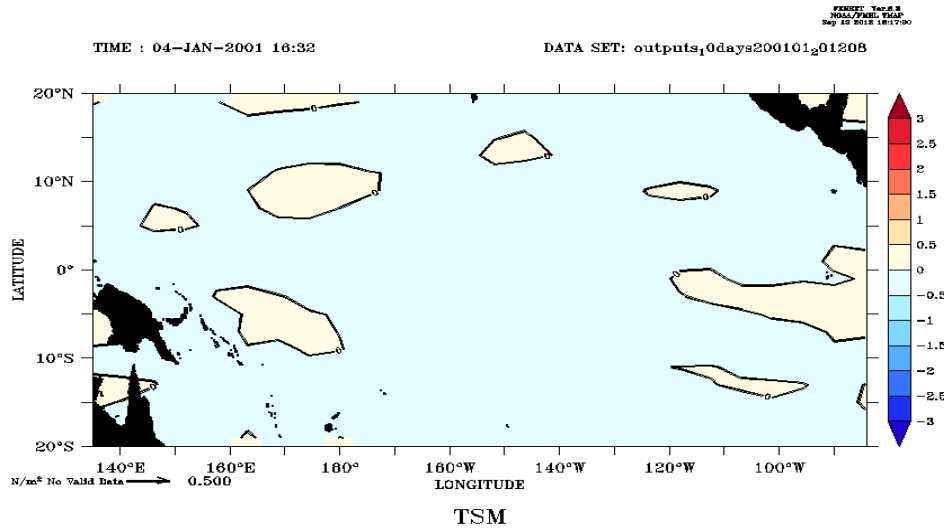


Modelos Bahías Paracas y Callao  
(Arellano et al., Romero *et al.* in prep.)

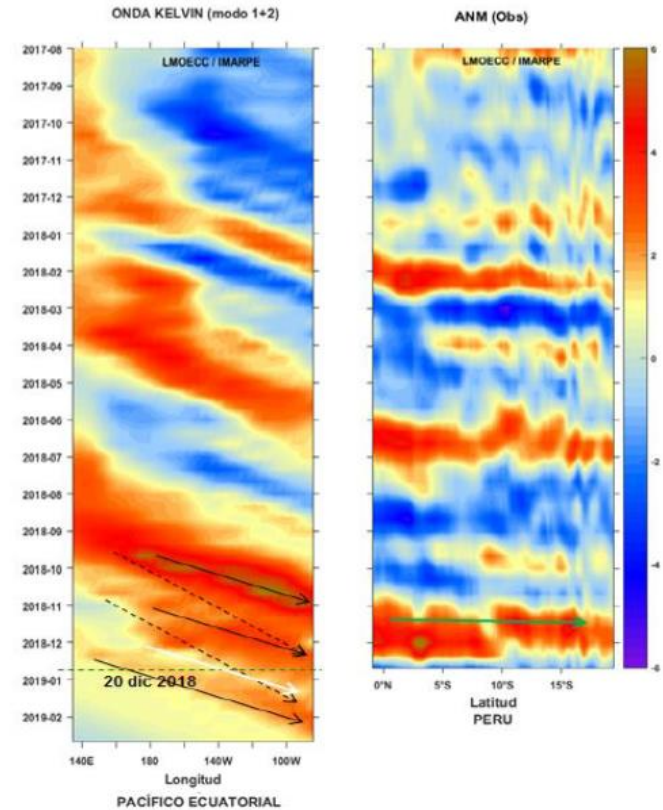


Descarga hipotética de  
efluentes domésticos  
(Correa *et al.* 2008)

# Modelo océano-atmósfera acoplado del océano Pacífico ecuatorial

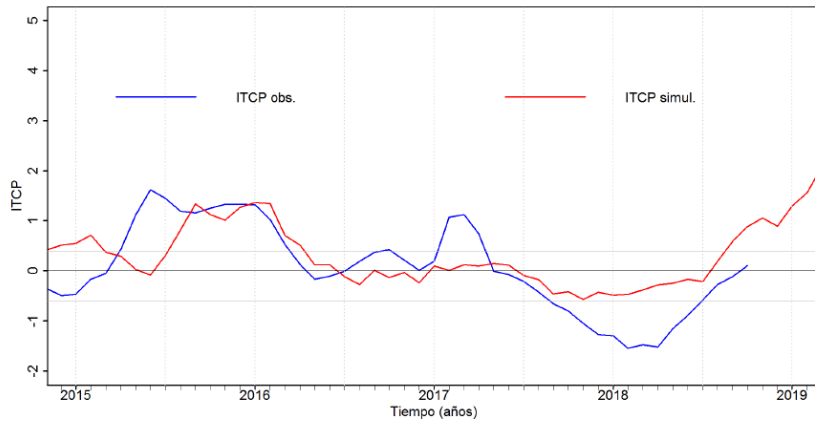


Modelo acoplado de complejidad intermedia del Pacífico ecuatorial (Quispe *et al.* in prep.)



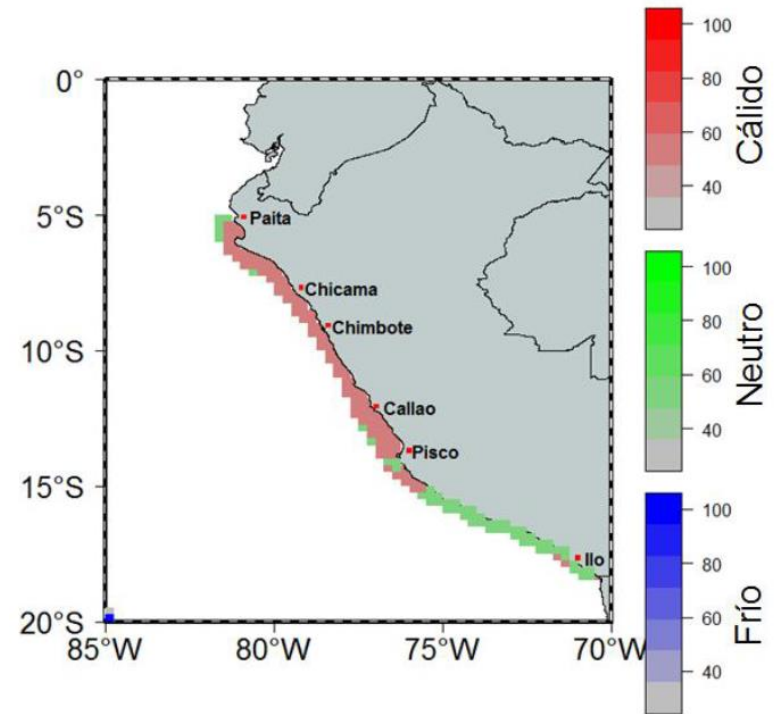
Pronóstico de ondas Kelvin ecuatoriales (LMOECC)

# Modelado de efectos de El Niño: forzantes remotos ecuatoriales



Modelo basado en el volumen de  
agua cálida ecuatorial

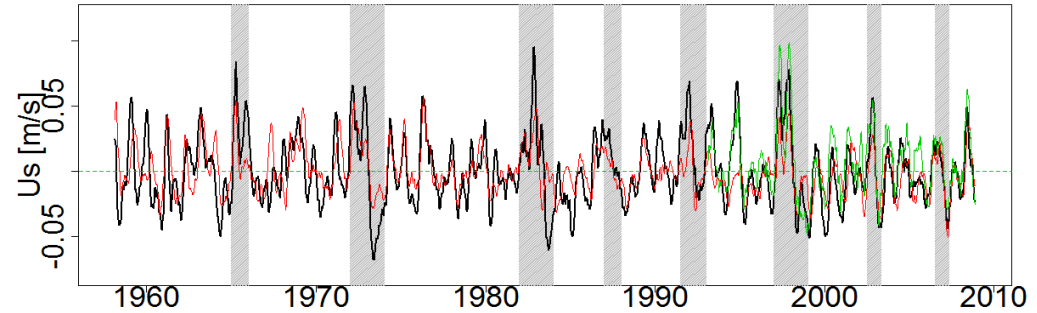
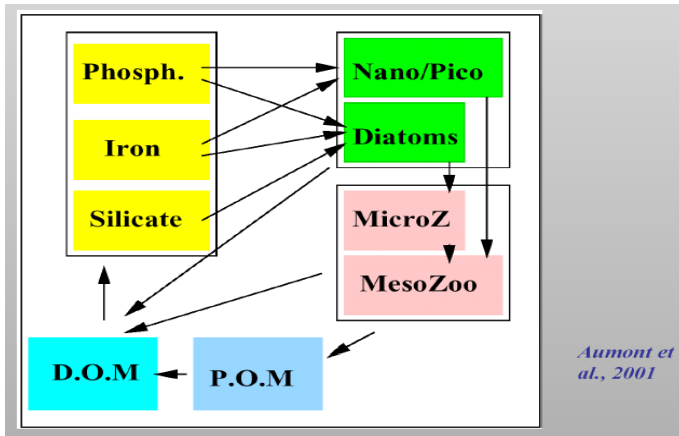
(C. Quispe *et al.* in prep.)



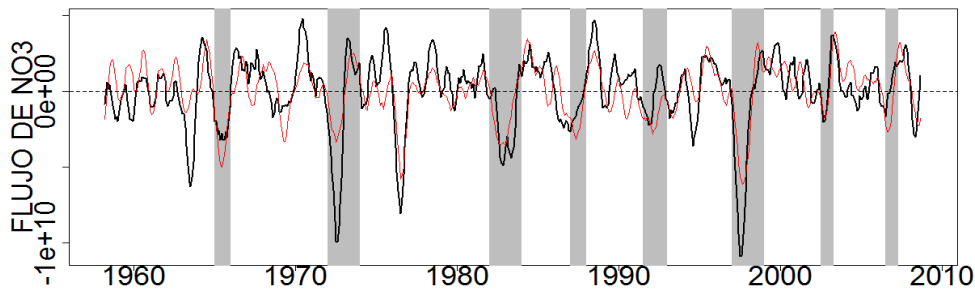
Modelo probabilístico  
espacial usando tablas de  
contingencia ONI-ITCP

(C. Quispe *et al.* in prep.)

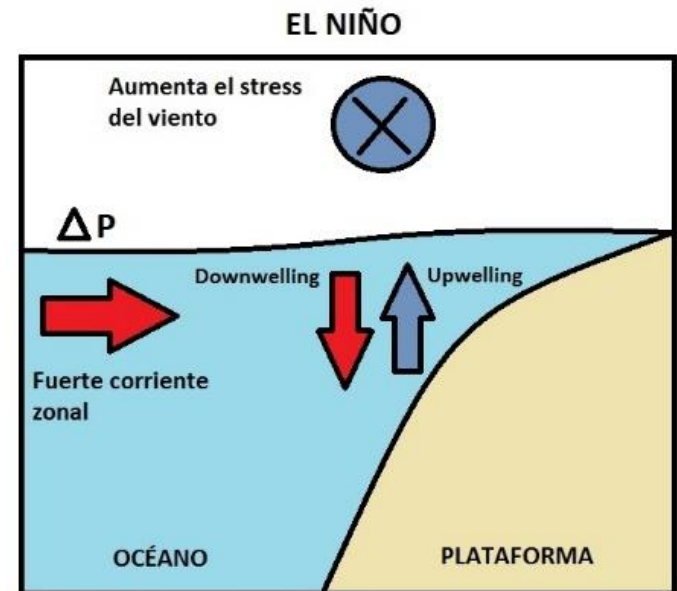
# Modelado de procesos: biogeoquímicos



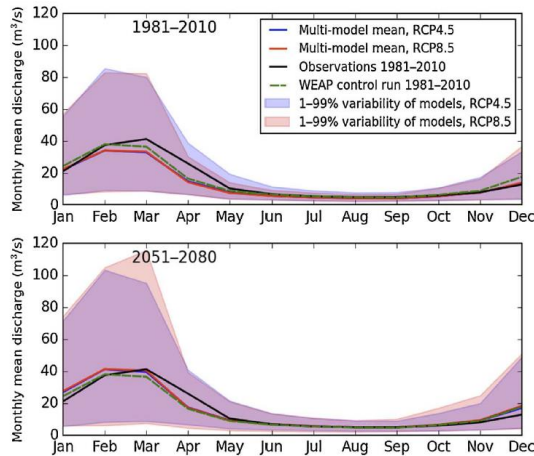
Anomalía de corrientes zonales  
(Espinoza *et al.* 2018)



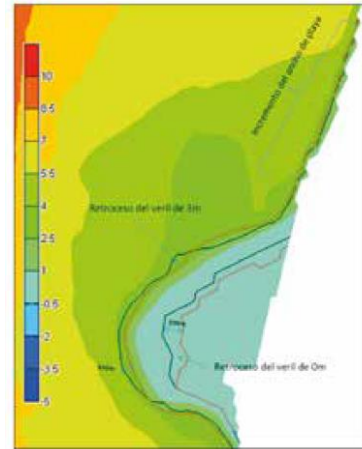
Anomalía de flujos de nitrato  
(Espinoza *et al.* 2018)



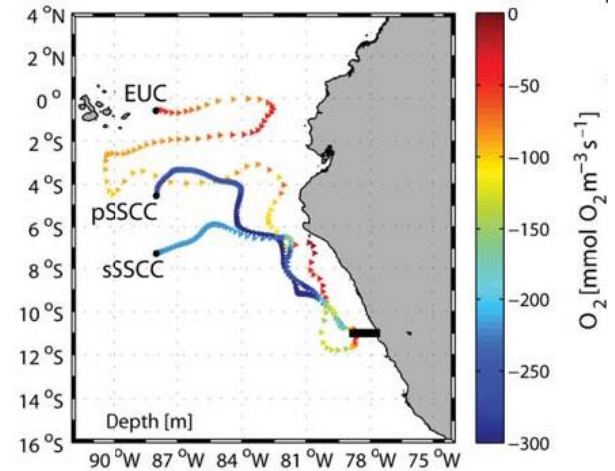
# Modelado en otras instituciones peruanas



Vientos, precipitaciones,  
caudales  
(Olson *et al.* 2017)

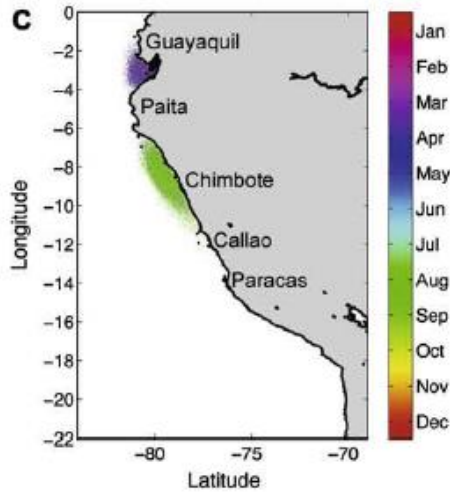


Oleaje, transporte  
sedimentos  
(Ramos *et al.* 2017)

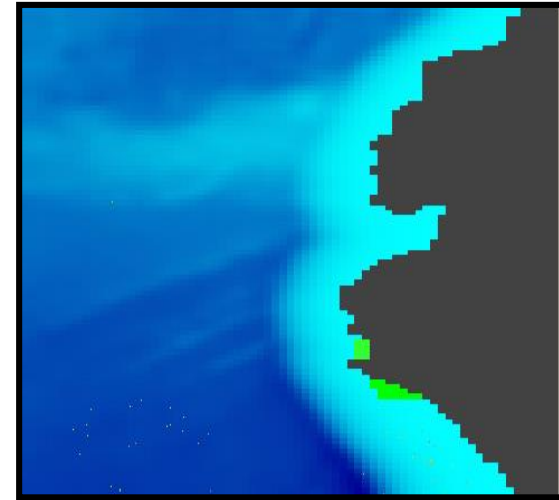


Dinámica de fluidos  
geofísicos  
(Montes *et al.* 2014)

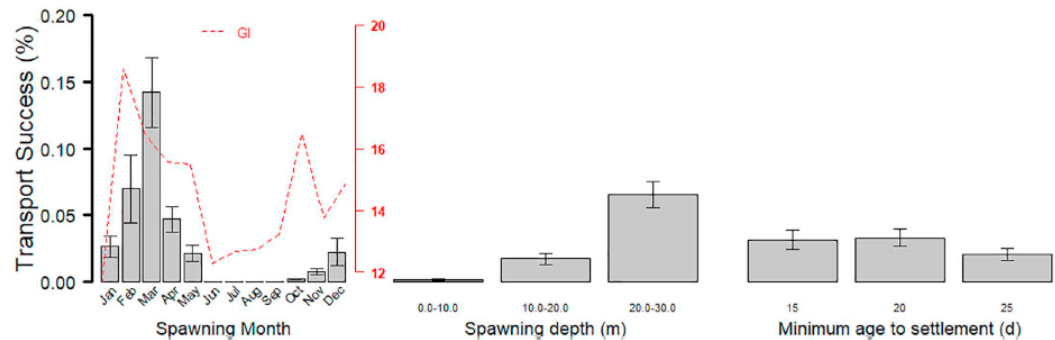
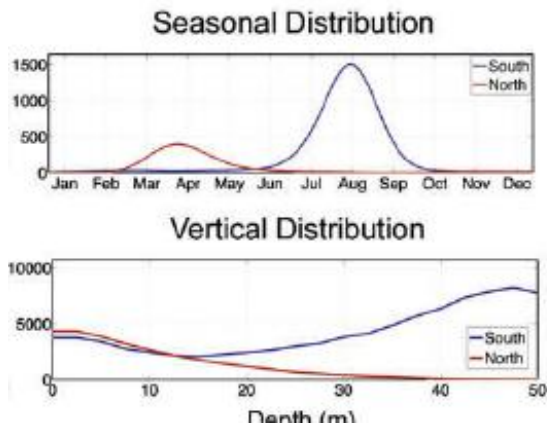
# Modelado de procesos biológicos: transporte de larvas



Huevos y larvas de anchoveta  
(Brochier *et al.* 2009)

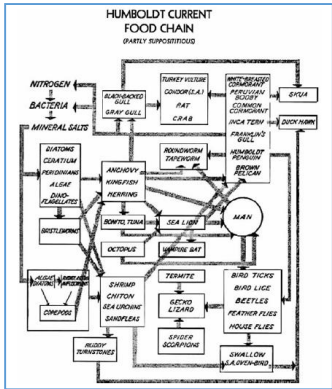


Transporte de larvas de concha  
de abanico (Flores *et al.* 2019)

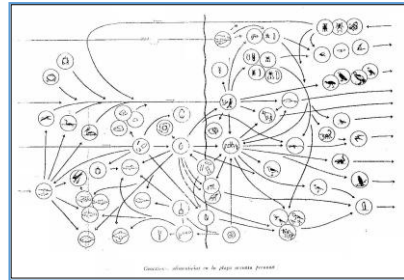




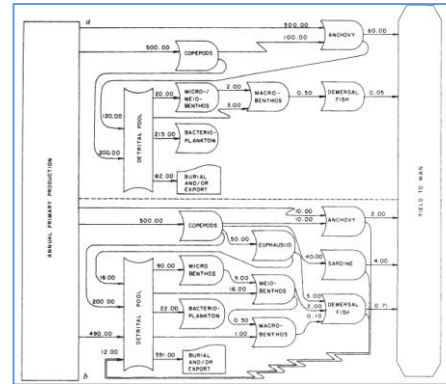
# Modelado ecosistémico: antecedentes



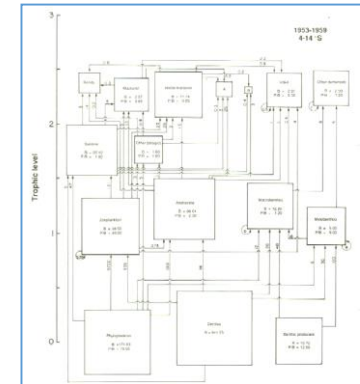
Vogt (1948)



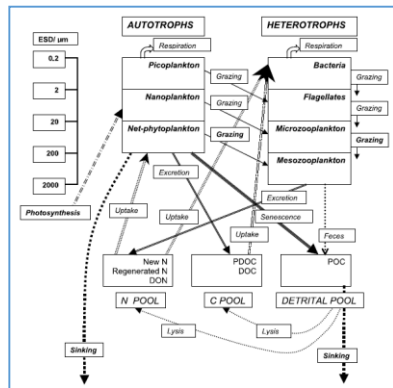
Koepcke y  
Koepcke (1952)



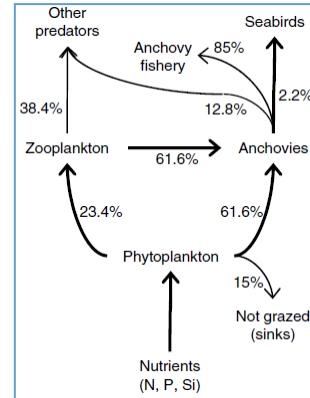
Walsh (1981)



Jarre *et al.* (1991)



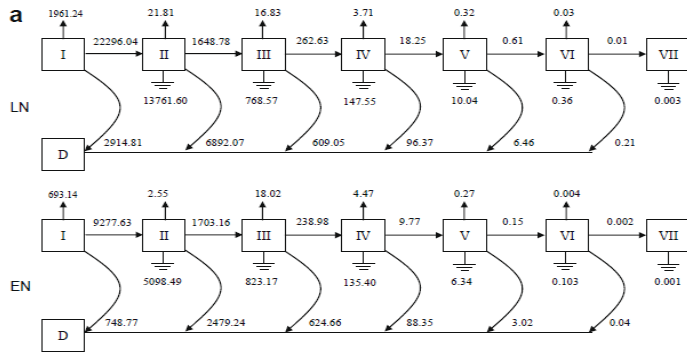
Carr (2003)



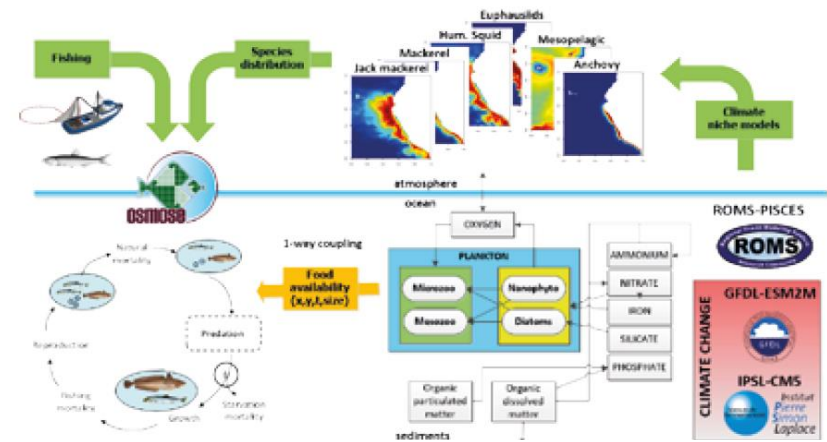
Jahncke *et al.* (2004)



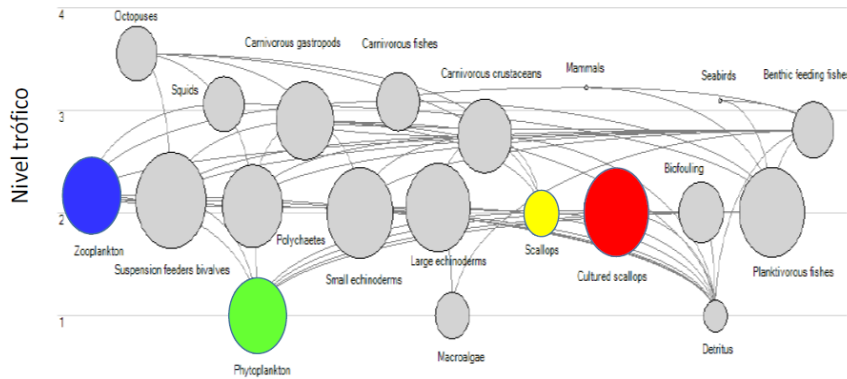
# Modelado ecosistémico



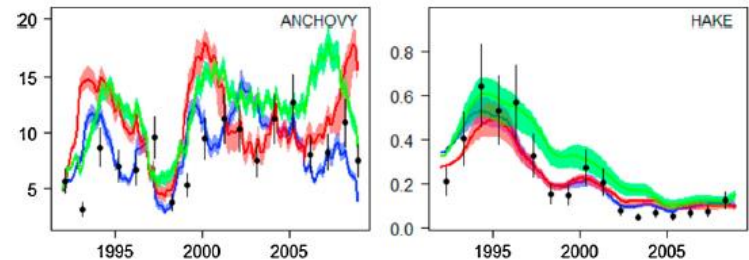
Modelo ecotrófico EwE  
(Tam *et al.* 2008, Taylor *et al.* 2008)



Modelo IBM OSMOSE  
(Oliveros *et al.* 2018)

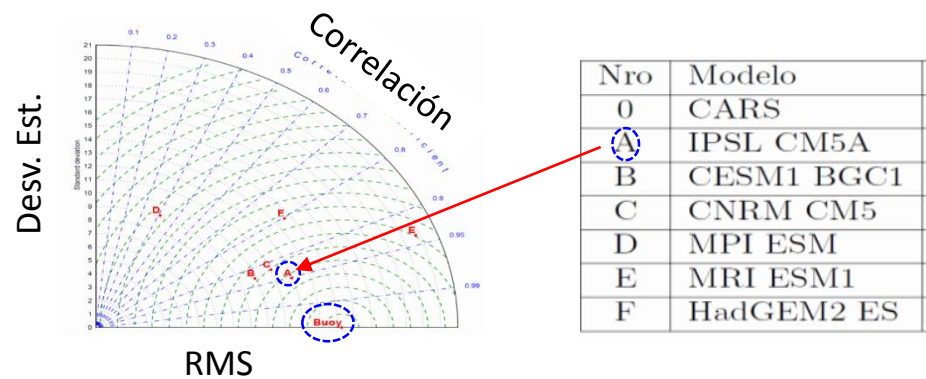
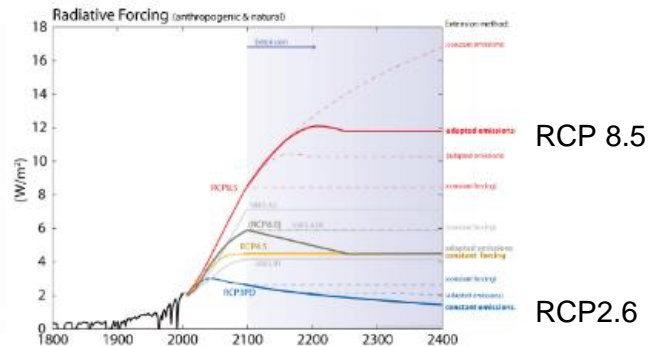


Capacidad de carga de concha de abanico  
(Tam *et al.* 2014)



Calibración con biomásas  
(Oliveros *et al.* 2017)

# Modelado de efectos del cambio climático

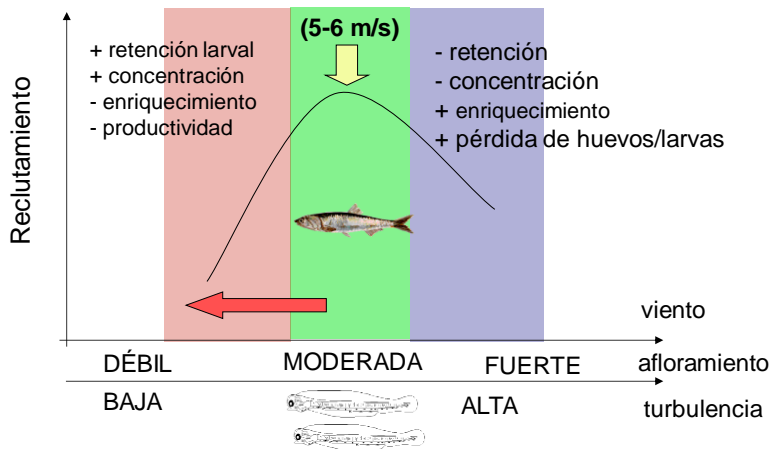


Escenarios globales del IPCC

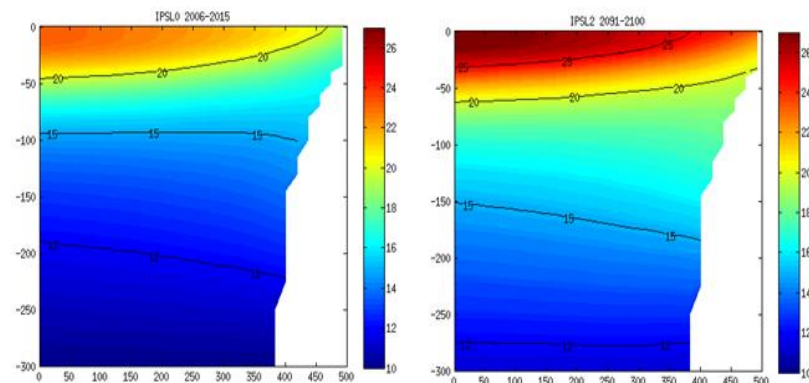
Diagrama de Taylor de modelos del IPCC (Soto 2016)



ADAPTATION FUND



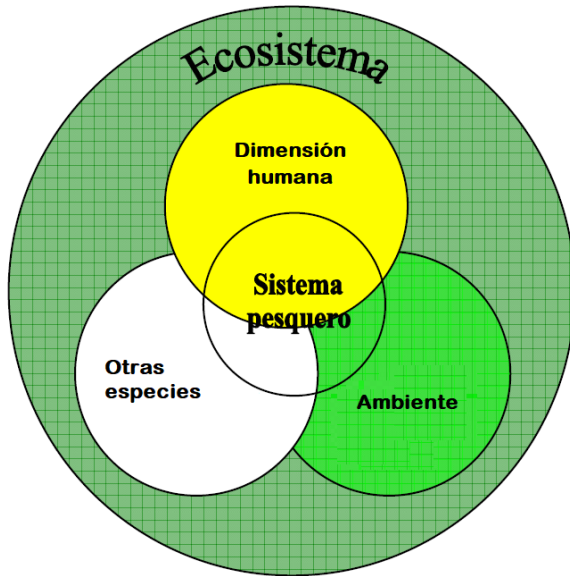
Cury *et al.* (1989)



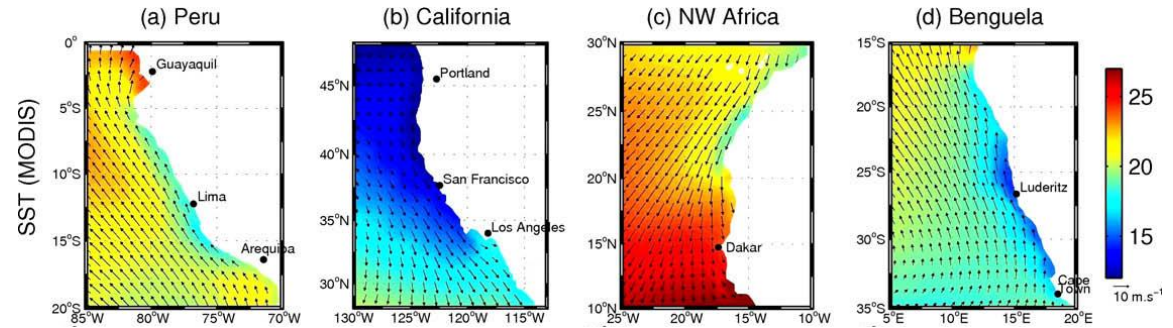
Echevin *et al.* (in prep.),  
Chamorro *et al.* (in prep.)

# Comparando sistemas de afloramiento: indicadores ecosistémicos

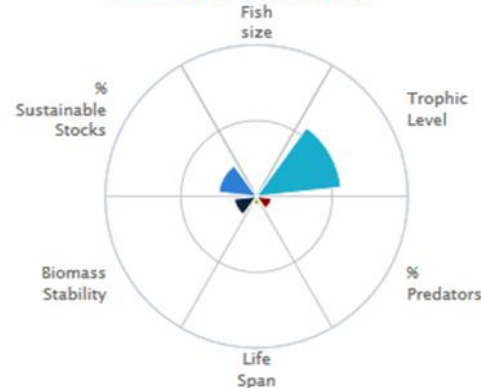
## Componentes del EEP



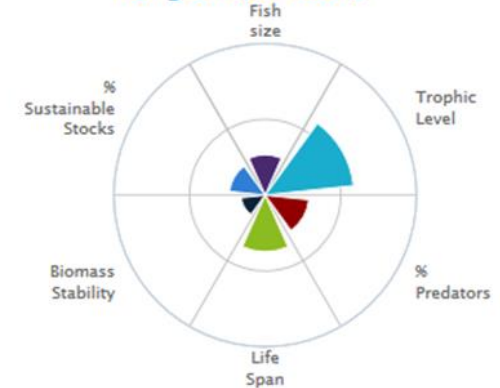
Enfoque ecosistémico  
de la pesca (EEP)  
(FAO 2010)



### Humboldt (Northern)



### Benguela (Southern)



Indicadores ecosistémicos (Shin *et al.* 2010)  
[www.indiseas.org](http://www.indiseas.org)

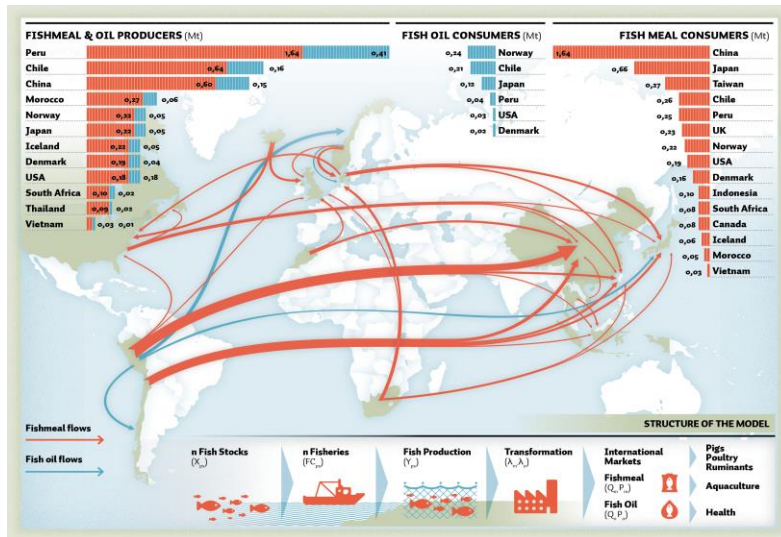


# Perspectivas: recomendaciones de expertos internacionales

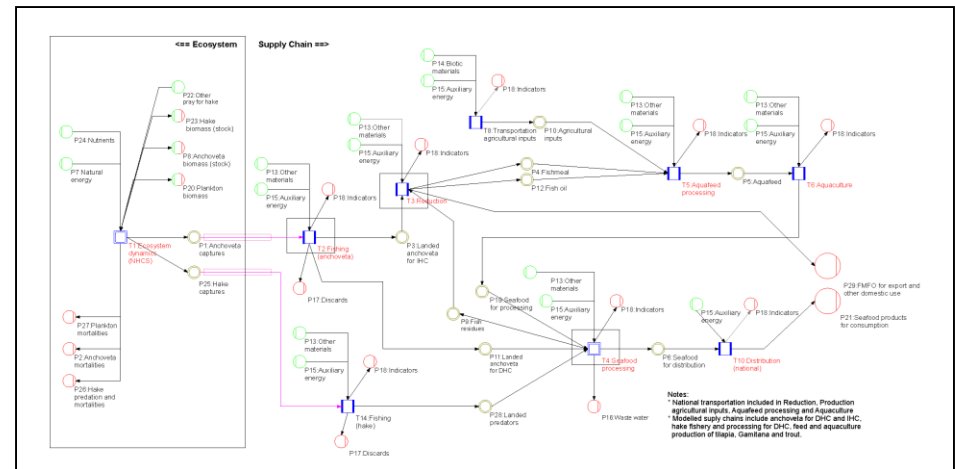


- Modelado E2E con interacción océano-atmósfera acoplado (two-way).
- Incluir más especies y sus características bioenergéticas (DEB).
- Efecto de variación de mortalidad por pesca, adaptativa al contexto futuro.
- Explorar especies alternativas, con mejor capacidad adaptativa a las nuevas condiciones futuras, que puedan ocupar nuevos nichos.
- Incorporar la dimensión humana en el modelado para implementar el enfoque ecosistémico a las pesquerías (**EEP**).

# Perspectivas: modelado bioeconómico y socio-ecológico

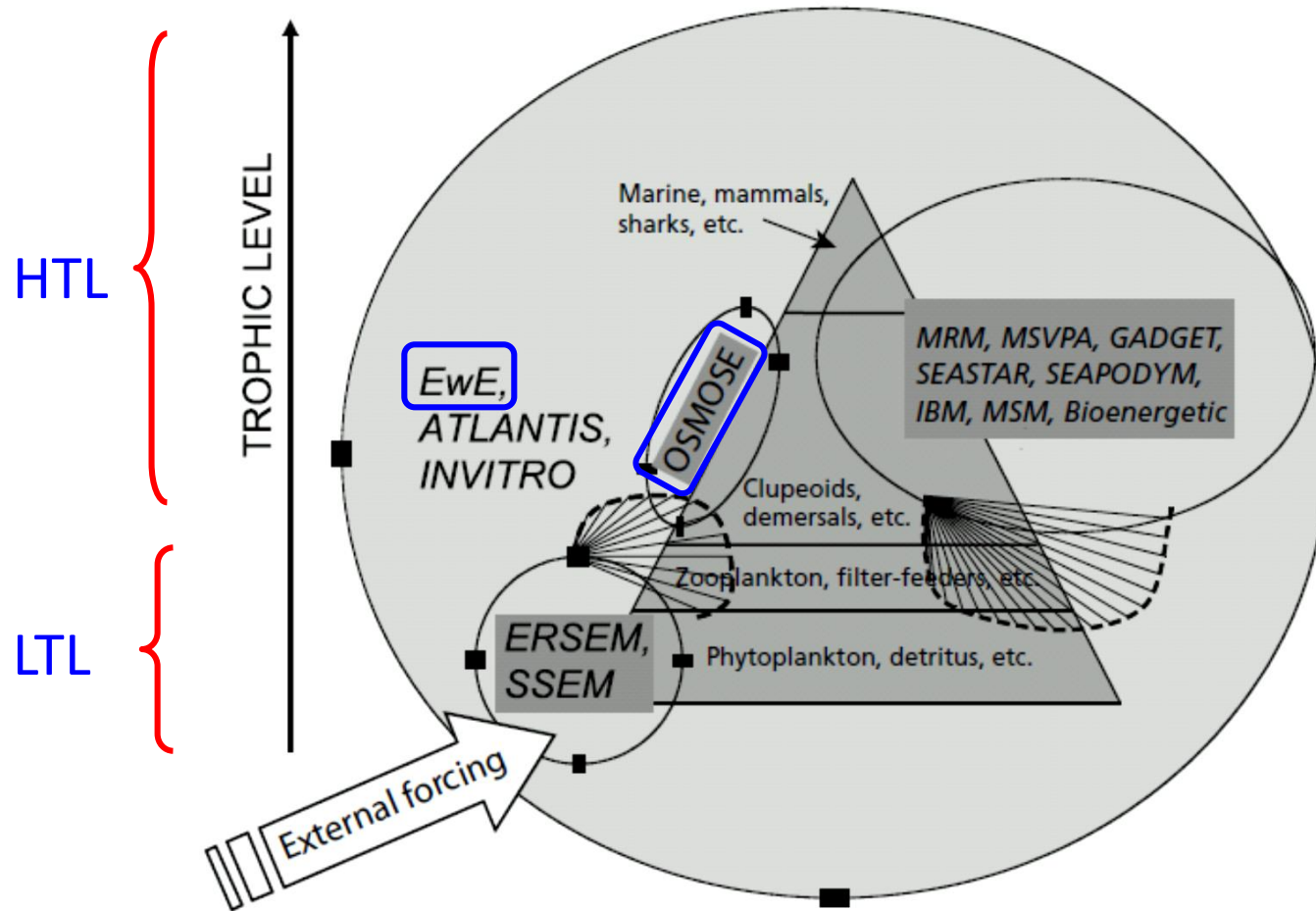


(Merino *et al.* 2012)



(Avadi *et al.* 2016)

# Perspectivas: modelos para el EEP en un contexto de cambio climático



(Plaganyi 2007)

# Conclusiones

- Los modelos son útiles para: entender procesos, realizar experimentos virtuales, pronosticar y optimizar el Norte del Ecosistema de la Corriente de Humboldt.
- El modelado del NECH ha permitido entender efectos de El Niño y del cambio climático con la complejidad de procesos atmosféricos, oceánicos físicos, biogeoquímicos y biológicos, para contrastar hipótesis y paradigmas.
- Para la adaptación al cambio climático, se requerirán modelos ecosistémicos, no sólo multiespecíficos, sino también bioeconómicos y socio-ecológicos con un enfoque transdisciplinario.





**! Gracias !**

**( [jtam@imarpe.pe](mailto:jtam@imarpe.pe) )**