

# Arrecifes de coral en transición: Oportunidades y retos de manejo colaborativo



**Edwin A. Hernández-Delgado**

Universidad de Puerto Rico  
Centro para la Ecología Tropical Aplicada y la Conservación  
Grupo de Investigación en Arrecifes de Coral

[coral\\_giac@yahoo.com](mailto:coral_giac@yahoo.com)

Segunda Reunión de la Alianza Regional Oceánica del Caribe  
DRNA/PMZC, San Juan, PR  
19 de septiembre de 2013



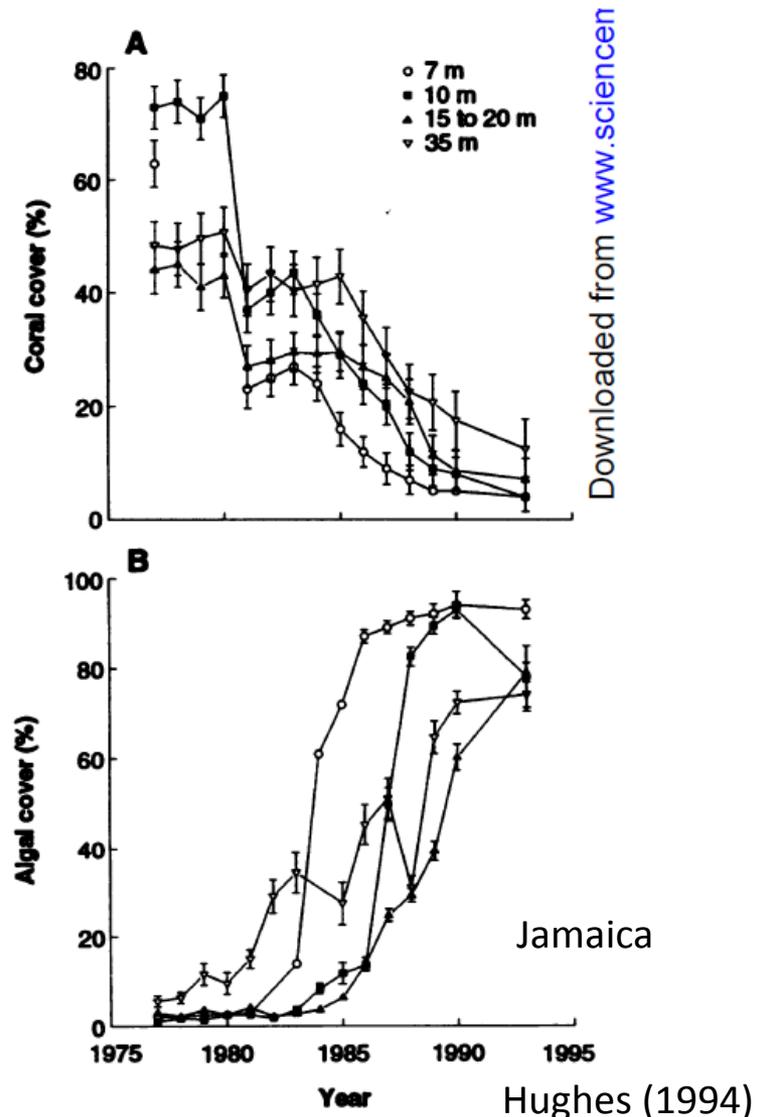
# Objetivos

- Cambios ecológicos graduales en los ecosistemas en transición.
- Implicaciones de una gobernanza débil en el manejo de los ecosistemas en transición.
- Discutir algunos casos de estudio en Puerto Rico sobre arrecifes de coral en transición.
- Ejemplos de estrategias alternativas de manejo participativo y colaborativo para la rehabilitación de los ecosistemas en transición.
- Prioridades apremiantes para el manejo de ecosistemas en transición.



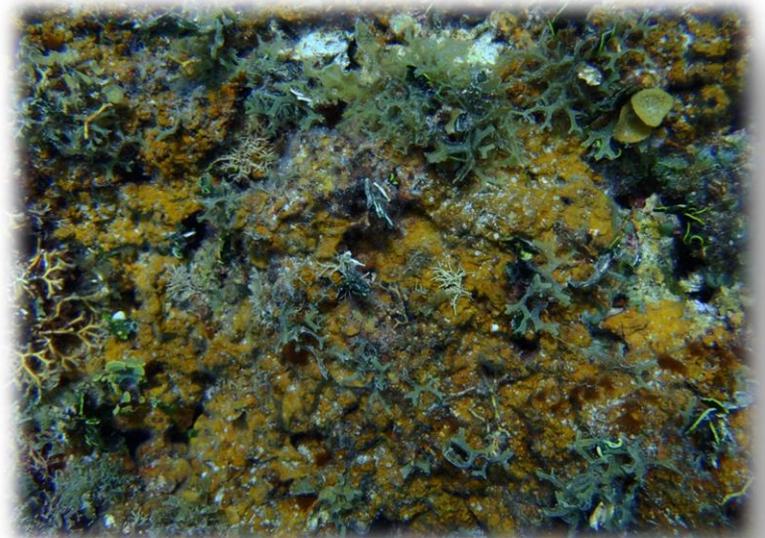
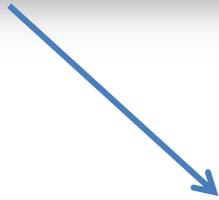
# Cambios de fase muy lentos en los ecosistemas

- Cambios de fase en los ecosistemas de un estadio ecológico a otro usualmente se describen como abruptos, dramáticos y difíciles de revertir.
  - Ej. Dominancia de corales a macroalgas
- Sin embargo, la mayoría de las veces los cambios después de un punto umbral son muy lentos y peligrosamente imperceptibles.





**Transiciones en la cobertura  
de corales vivos**



# Procesos involucrados

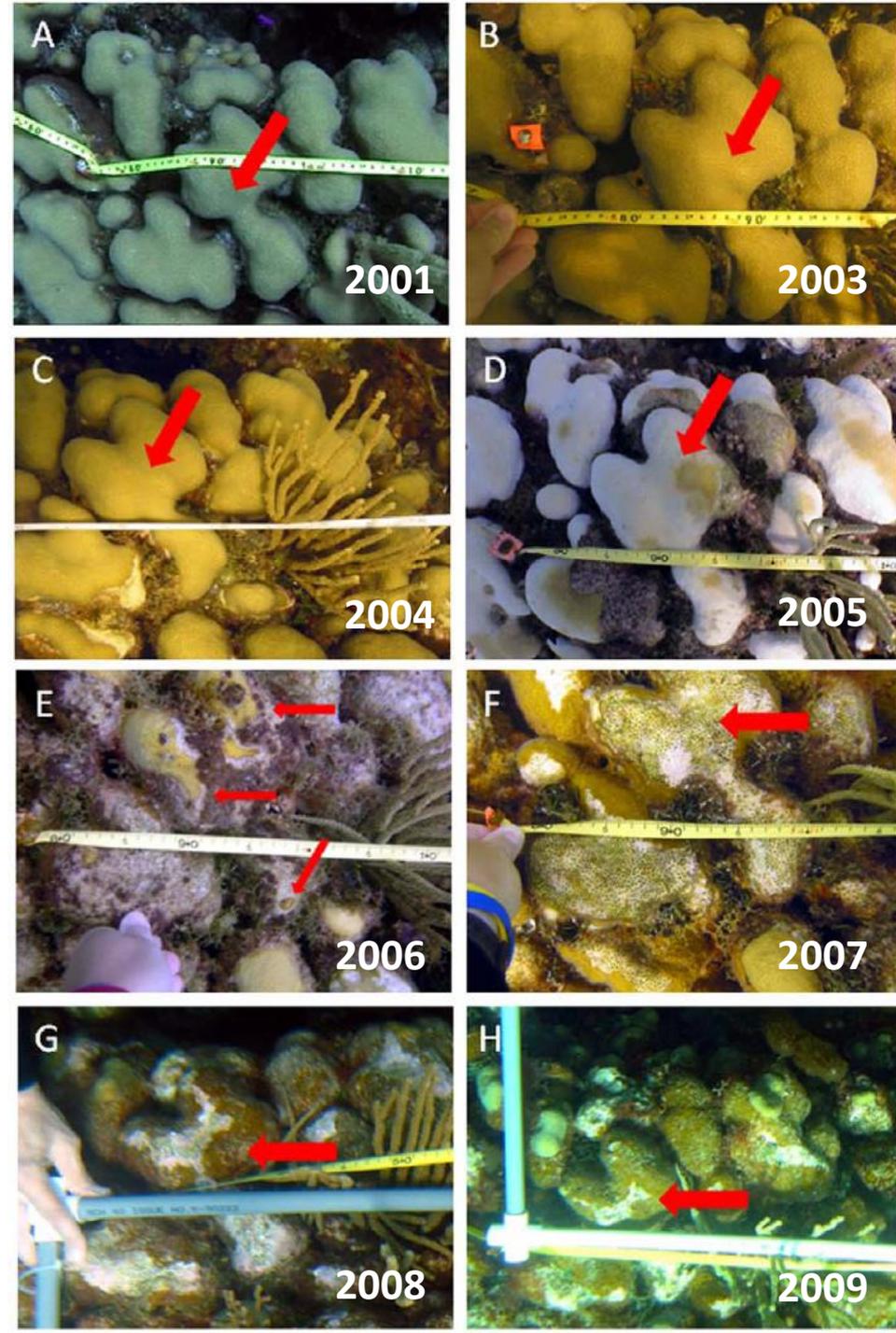
- Cambios graduales:
  - Pesca en serie.
  - Deterioro en calidad del agua.
  - Contaminación.
  - Impactos del cambio climático.
  - Especies invasivas.
  - Reducción en tasas de reclutamiento de corales.
- Eventos abruptos:
  - Huracanes recurrentes.
  - Mortandad masiva de erizos (1983).
  - Enfermedades emergentes.
  - Blanqueamiento de corales (1987, 1998, 2005).



# El caso del coral *Estrella Montastraea (=Orbicella) annularis*

- Reducción gradual en % cobertura.
- Acelerada por eventos estocásticos (ej. mortandad masiva post-blanqueamiento).
- Estadío transicional dominado por macroalgas, luego por algas marrones incrustantes.

Hernández-Pacheco et al. (2011)



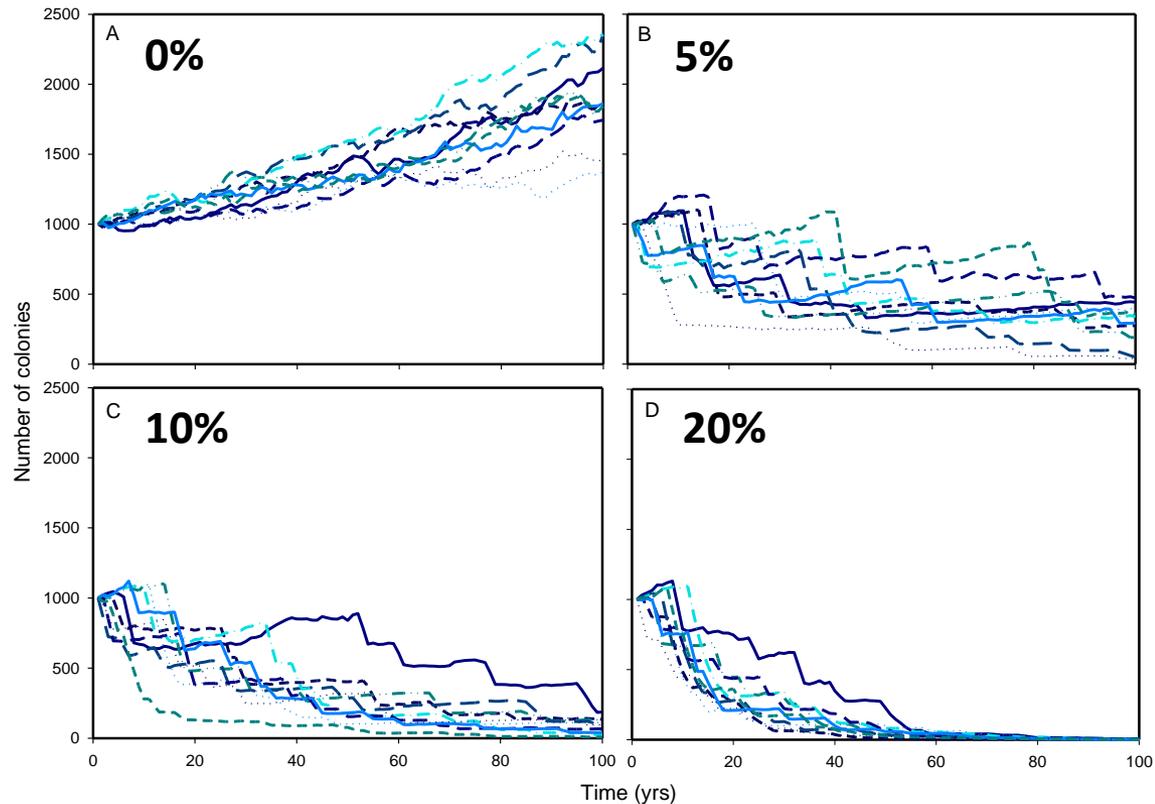
# Trayectorias estocásticas de una población de *M. annularis* a través de diversas probabilidades de blanqueamiento masivo y de mortalidad.

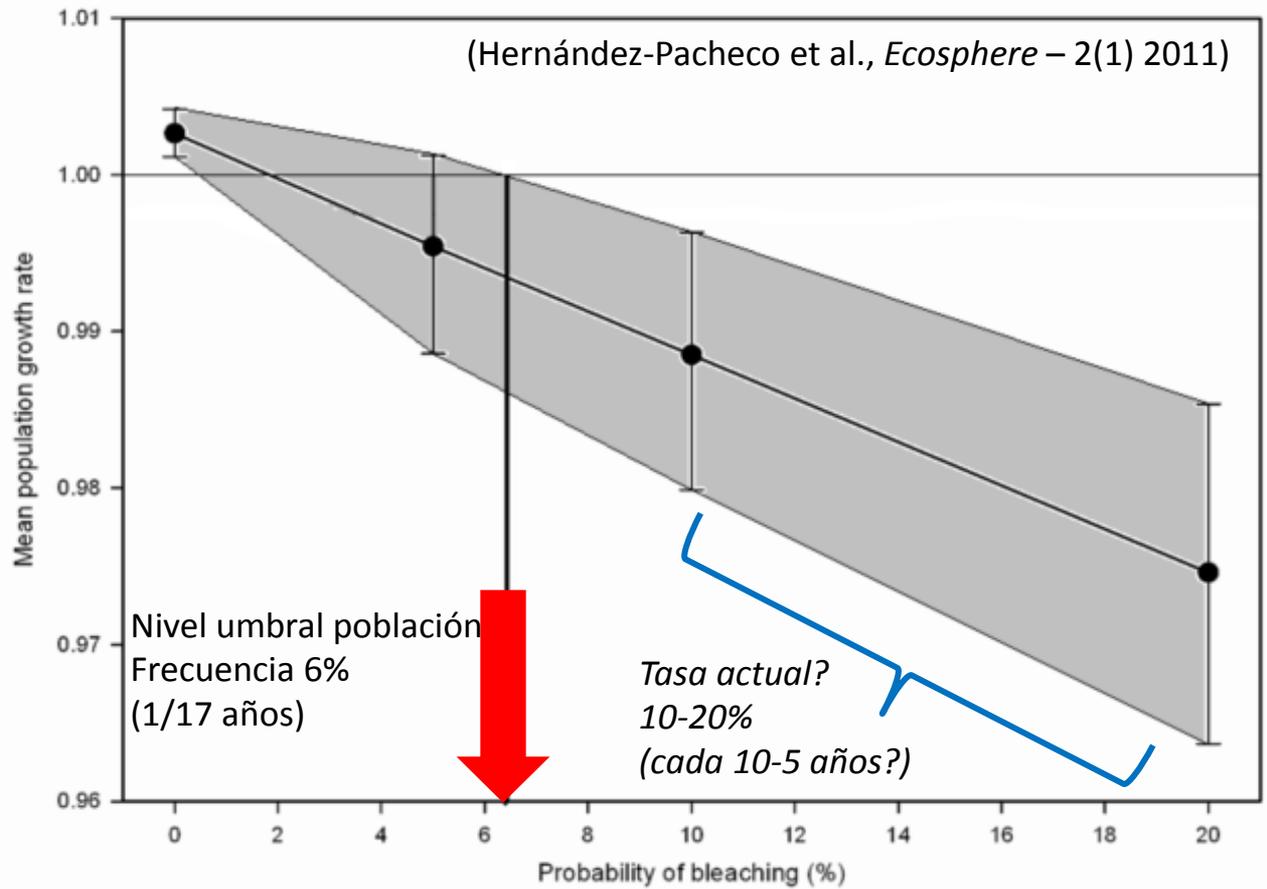
Crecimiento poblacional en la ausencia de blanqueamiento.

Estabilidad poblacional aun a largo plazo con 5% de frecuencia (1/20 años).

Reducción poblacional significativa con 10% de frecuencia (1/10 años).

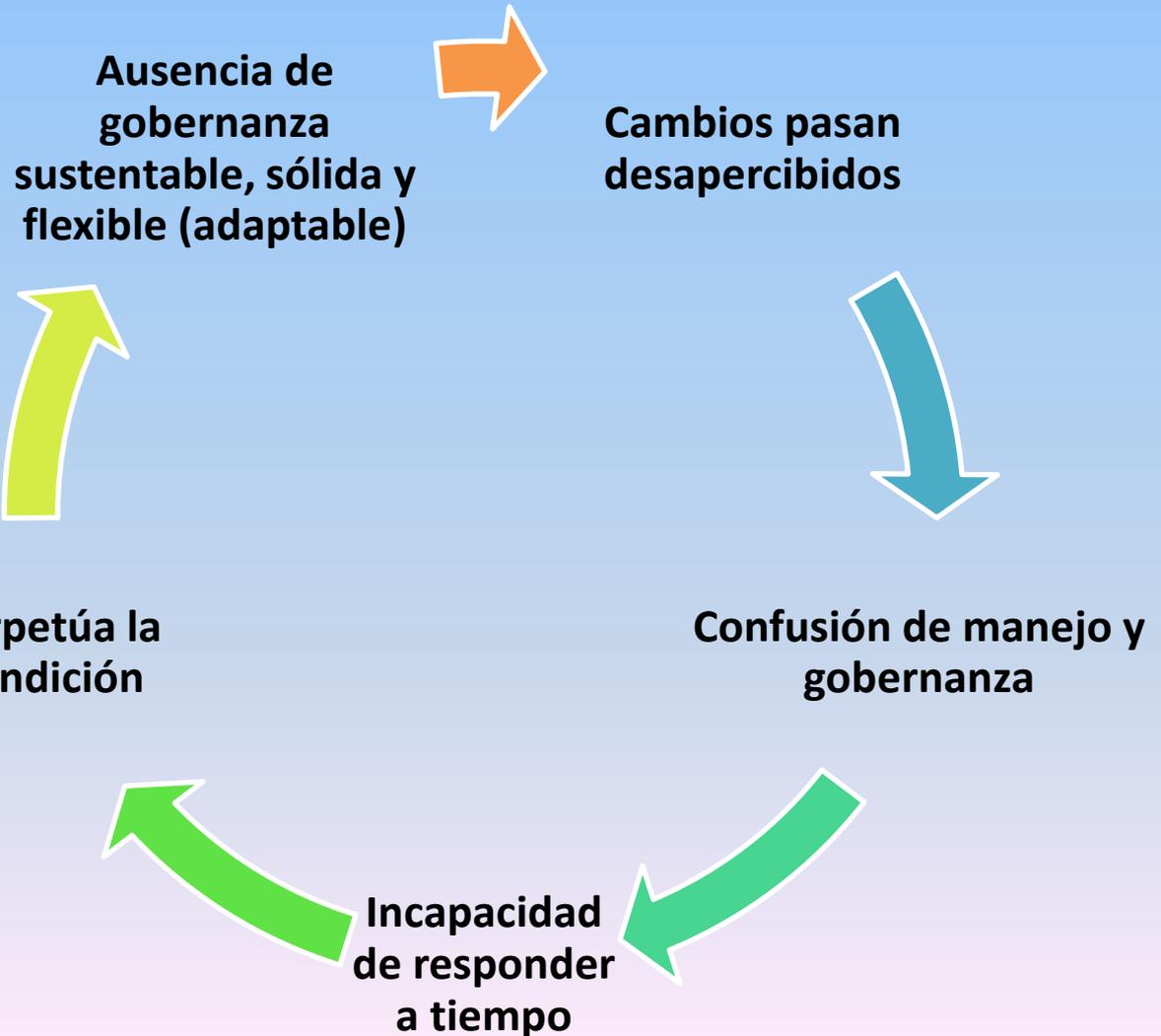
Colapso poblacional rápido con 20% de frecuencia (1/5 años).





# Cambios graduales representan un reto de manejo y gobernanza

*Retos sin precedentes*



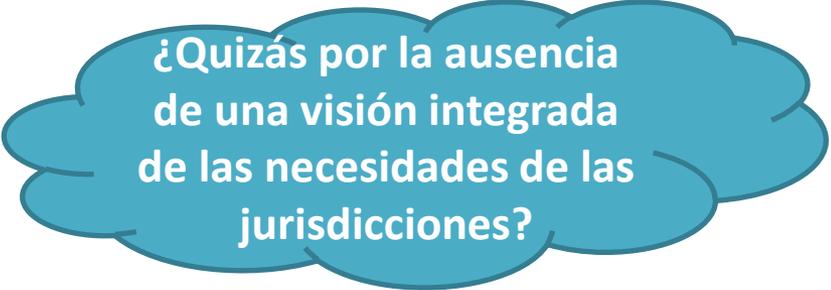
# Retos de gobernanza en el manejo de los ecosistemas marinos en transición

- **Enfoque reduccionista**

- No existe una visión claramente integrada de los problemas y necesidades de manejo.
- Enfoque de soluciones continua siendo de proyecto a proyecto, muchas veces desconectados entre sí.



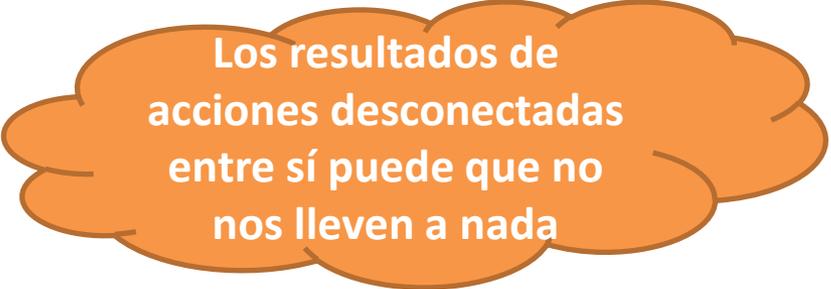
¿Quizás por la carencia de procesos participativos eficaces?



¿Quizás por la ausencia de una visión integrada de las necesidades de las jurisdicciones?

- **Visión fragmentada**

- Enfoque por temas o áreas prioritarias deja fuera de la posibilidad de financiamiento de proyectos áreas muy críticas (ej. LAS).
- Integración inter-jurisdiccional ha sido muy limitada.



Los resultados de acciones desconectadas entre sí puede que no nos lleven a nada

# Retos de gobernanza en el manejo de los ecosistemas marinos en transición

- **Agendas poco flexibles**

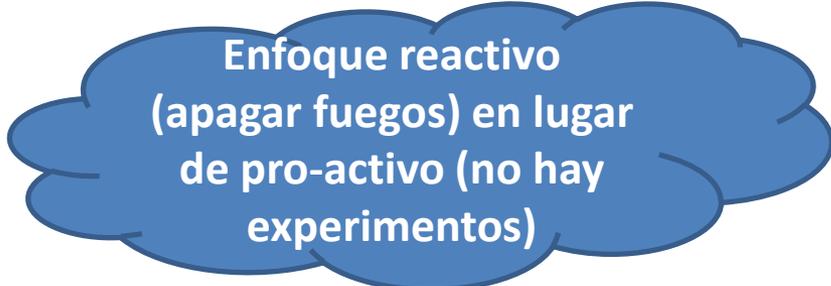
- Planes a escalas de tiempo muy inflexibles (ej. 5, 10 años).
- Acercamiento adaptativo ausente.
- Agendas para satisfacer presiones políticas del USCRTF, NOAA y ahora TNC.
- Naturaleza gradual de muchos de los cambios no se puede incorporar en las agendas inflexibles.



Pérdida en la habilidad de responder a tiempo a sorpresas ecológicas



Pérdida en la habilidad de responder a tiempo a cambios graduales

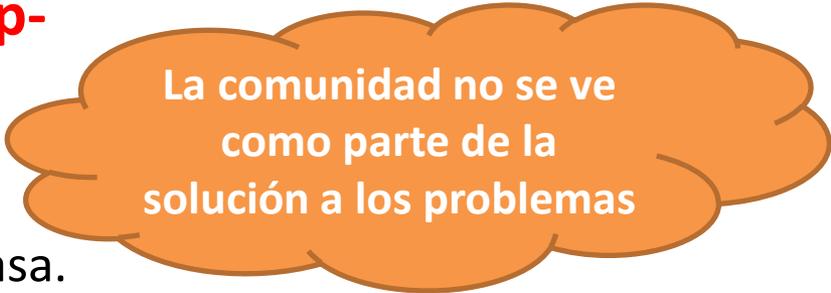


Enfoque reactivo (apagar fuegos) en lugar de pro-activo (no hay experimentos)

# Retos de gobernanza en el manejo de los ecosistemas marinos en transición

- **Mecanismos de gobernanza “top-down” obsoletos**

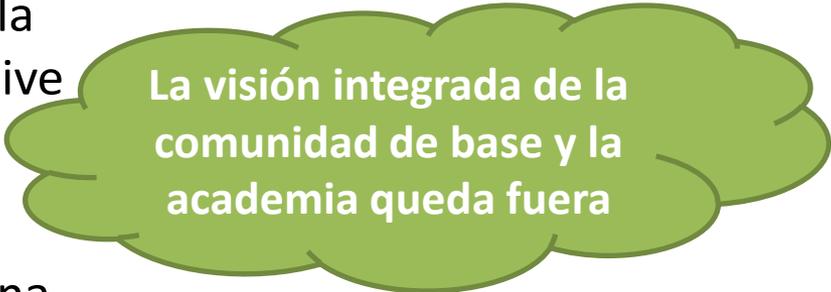
- Participación comunitaria muy escasa.
- Empoderamiento de la academia y comunidades mínimo.
- Preferencia para consultores, muchas veces extranjeros y ex-militares, sobre la academia o especialistas locales, inclusive del propio gobierno.
- Decisiones por grupos de interés con una comprensión limitada del problema.



La comunidad no se ve como parte de la solución a los problemas



No se fomenta el desarrollo óptimo de talento local, ni se aprovecha el existente



La visión integrada de la comunidad de base y la academia queda fuera

# Retos de gobernanza en el manejo de los ecosistemas marinos en transición

- **Carencia de suficientes datos a largo plazo y en escalas espaciales amplias**

- Inconsistencia en los programas de monitoreo de cambios ecológicos.
- No es una prioridad presupuestaria.
- Algunos esfuerzos no tienen una hipótesis definida.
- No existe integración multidisciplinaria (ej. Calidad de agua).
- NOAA ha decidido que su enfoque es “el manejo” y no los “experimentos”.

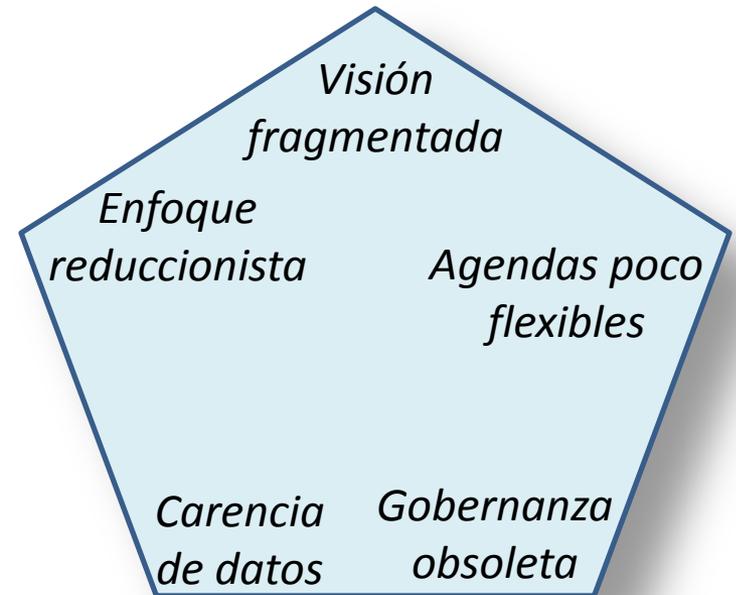
Inconsistencias son el reflejo de la debilidad en la gobernanza a todos los niveles

Inconsistencias limitan marcadamente la habilidad de detectar cambios a tiempo

El negar el valor de la experimentación para el manejo adaptativo es una negligencia

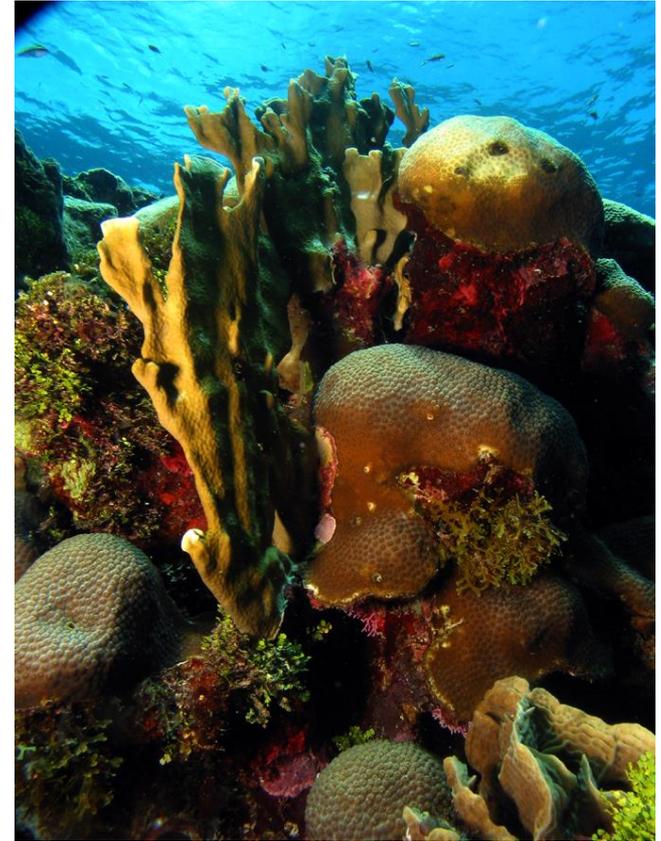
# Cambios abruptos vs. Cambios graduales

- Algún impacto abrupto (ej. encallamiento, mortandad masiva de corales, blanqueamiento) puede manejarse de formar efectiva.
- Sin embargo, las transiciones que ocurren gradualmente en escalas de tiempo de décadas o más podrían no detectarse.



# Impactos aditivos y sinergias

- *Impactos aditivos y/o sinérgicos:*
  - Cambio climático.
  - Degradación crónica de la calidad del agua.
  - Impactos de la pesca
    - Reducción en la complejidad de la red trófica.
    - Reducción en la redundancia funcional.
- Impactos adversos en los grupos principales constructores de arrecifes (ej. *Montastraea annularis* spp).
- Impactos adversos en la capacidad de *producción alimentaria* y en la *sustentabilidad* de las pesquerías arrecifales.
- *Redundancia funcional baja* de los arrecifes de coral del Caribe fomentan una reducción en la resistencia y la resiliencia del ecosistema.
- *Trayectorias de degradación* de la primera línea de defensa contra el cambio en el nivel del mar y marejadas.



# ¡Oportunidad de manejo!

- Pero dicha respuesta lenta del ecosistema permite una ventana de oportunidad para retornar a una condición más segura antes de que un estado nuevo pueda establecerse en equilibrio.
- Eso nos enfrenta a una serie de retos de manejo muy complejos.



# Múltiples retos emergentes de manejo

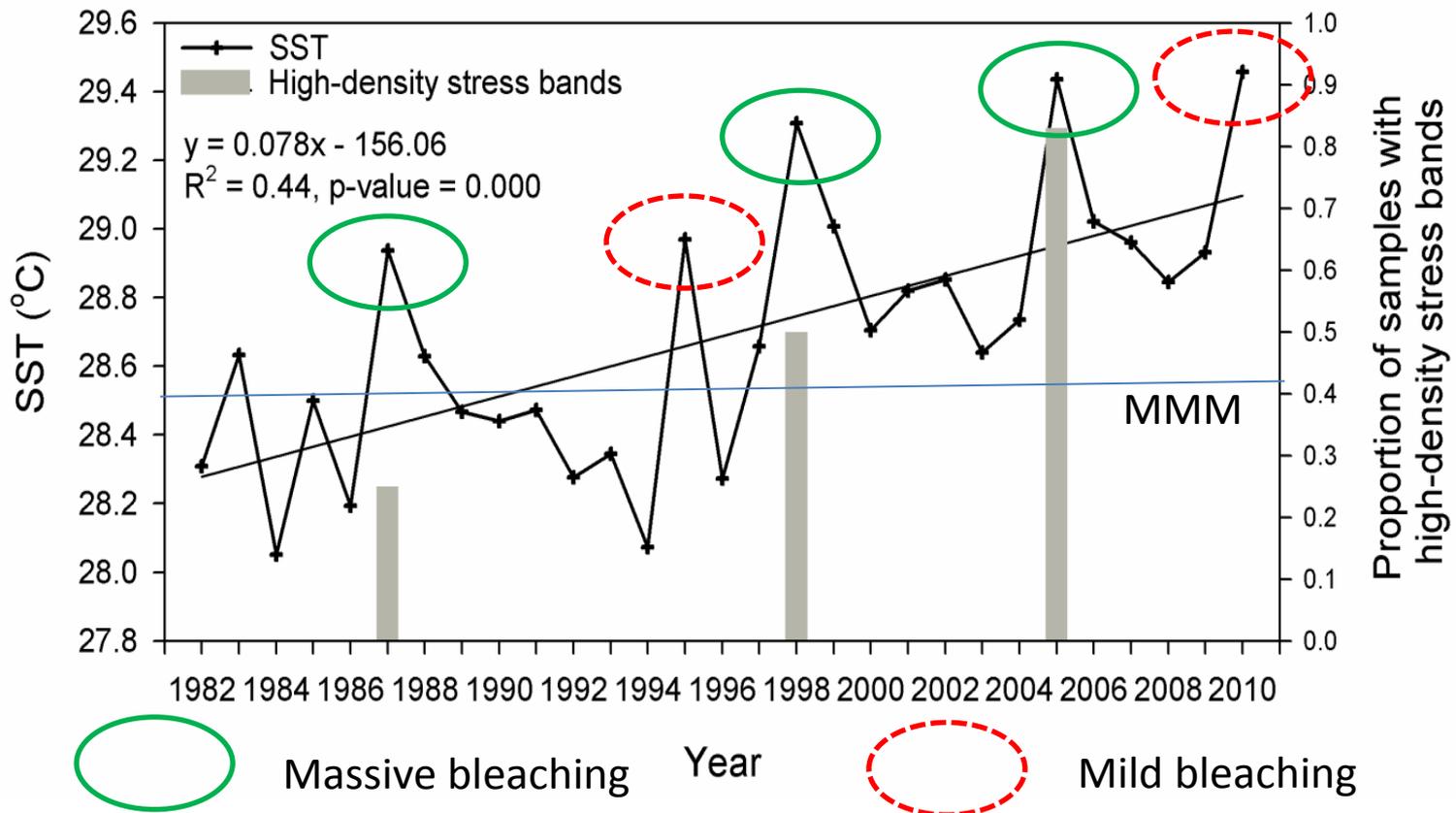
- Densidad poblacional alta.
- Deterioro ambiental crónico.
- Sobre-explotación de los recursos naturales.
- Ausencia de concienciación de tomadores de decisiones.
- Debacle económica.
- Consecuencias a largo plazo de la pérdida de recursos humanos (ej. Ley 7).
- Pérdida de gobernanza.
- Impactos del cambio climático.



# Múltiples retos emergentes de manejo

- ***El reto más importante es uno social***
- Convencer a suficientes personas para confrontar el escenario de siempre (“business as usual”) y el del síndrome de “eso-es-lo-que-siempre-se-ha-hecho” (“that’s-what-they-have-always-done syndrome”).
- Antes de que sea muy tarde y los cambios ecológicos adversos se hagan permanentes.





## Temperatura del mar y la ocurrencia de bandas de alta densidad y de estrés en *Montastraea (=Orbicella) annularis*

Temperatura promedio para JUL, AGO, SEP (JAS SST) de 1982-2010 en Puerto Rico (66.5 W, 17.5 N)

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v3b climatology.

# Gobernanza débil reflejada en las prácticas pobres de manejo del suelo y de las cuencas hidrográficas

Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 July 2008  
Session number 1.8

## Impacts of non-point source sewage pollution on Elkhorn coral, *Acropora palmata* (Lamarck), assemblages of the southwestern Puerto Rico shelf

E.A. Hernández-Delgado<sup>1</sup>, B. Sandoz<sup>2</sup>, M. Bonkosky<sup>3</sup>, J. Norat-Ramírez<sup>4</sup>, H. Mattei<sup>5</sup>  
<sup>1</sup> University of Puerto Rico, Department of Biology, Center for Applied Tropical Ecology and Conservation, Coral Reef Research Group, P.O. Box 23360, San Juan, Puerto Rico 00931-3360  
<sup>2</sup> University of Puerto Rico, Medical Sciences Campus, Graduate School of Public Health, Department of Environmental Health, P.O. Box 365067, San Juan, Puerto Rico 00936-5067



### Detection of spatial fluctuations of non-point source fecal pollution in coral reef surrounding waters in southwestern Puerto Rico using PCR-based assays

M. Bonkosky<sup>3</sup>, E.A. Hernández-Delgado<sup>1\*</sup>, B. Sandoz<sup>2</sup>, I.E. Robledo<sup>6</sup>, J. Norat-Ramírez<sup>4</sup>, H. Mattei<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>Department of Environmental Health, University of Puerto Rico, Medical Sciences Campus, Graduate School of Public Health, P.O. Box 365067, San Juan, Puerto Rico 00936-5067  
<sup>2</sup>Department of Biology, Center for Applied Tropical Ecology and Conservation, Coral Reef Research Group, P.O. Box 23360, San Juan, Puerto Rico 00931-3360  
<sup>3</sup>USFWS, Monitoring and Material Ecology Department, P.O. Box 38307, San Juan, Puerto Rico 00935-3703  
<sup>4</sup>USFWS, Monitoring and Material Ecology Department, P.O. Box 38307, San Juan, Puerto Rico 00935-3703  
<sup>5</sup>USFWS, Monitoring and Material Ecology Department, P.O. Box 38307, San Juan, Puerto Rico 00935-3703  
<sup>6</sup>USFWS, Monitoring and Material Ecology Department, P.O. Box 38307, San Juan, Puerto Rico 00935-3703

### Sediment Stress, Water Turbidity, and Sewage Impacts on Threatened Elkhorn Coral (*Acropora palmata*) Stands at Vega Baja, Puerto Rico

EDWIN A. HERNÁNDEZ-DELGADO<sup>1\*</sup>, YASAIRA M. HUTCHINSON-DELGADO<sup>1</sup>, RICARDO LAUREANO<sup>1</sup>, RAISA HERNÁNDEZ-PACHECO<sup>1</sup>, TAGRID M. RUIZ-MALDONADO<sup>1</sup>, JULIO OMÍ<sup>1</sup>, and PEDRO L. DÍAZ<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>University of Puerto Rico, Center for Applied Tropical Ecology and Conservation, Coral Reef Research Group, P.O. Box 23360, San Juan, Puerto Rico 00931-3360  
<sup>2</sup>University of Puerto Rico, Department of Marine Sciences, Call Box 9000, Mayaguez, Puerto Rico 00681-9000  
<sup>3</sup>Proyecto Impulsando Desarrollo Ambiental Sustentable (PIDAS), Vega Baja, Puerto Rico  
<sup>4</sup>U.S. Geological Survey, GSA Center #11 Federal Drive, Suite 400-11, Guaynabo, Puerto Rico 00955-3703  
<sup>5</sup>email: rnc@uao.edu

### An Interdisciplinary Erosion Mitigation Approach for Coral Reef Protection – A Case Study from the Eastern Caribbean

Carlos E. Ramos-Scharrón<sup>1,2</sup>, Juan M. Amador<sup>3</sup> and Edwin A. Hernández-Delgado<sup>4,5</sup>  
<sup>1</sup>Island Resources Foundation, University of Texas at Austin  
<sup>2</sup>Greg I. Morris Engineering COOP, University of Texas at Austin  
<sup>3</sup>Center for Applied Tropical Ecology and Conservation, University of Puerto Rico-Río Piedras  
<sup>4</sup>Department of Geography & the Environment, the University of Texas-Austin  
<sup>5</sup>Center for Applied Tropical Ecology and Conservation, University of Puerto Rico-Río Piedras

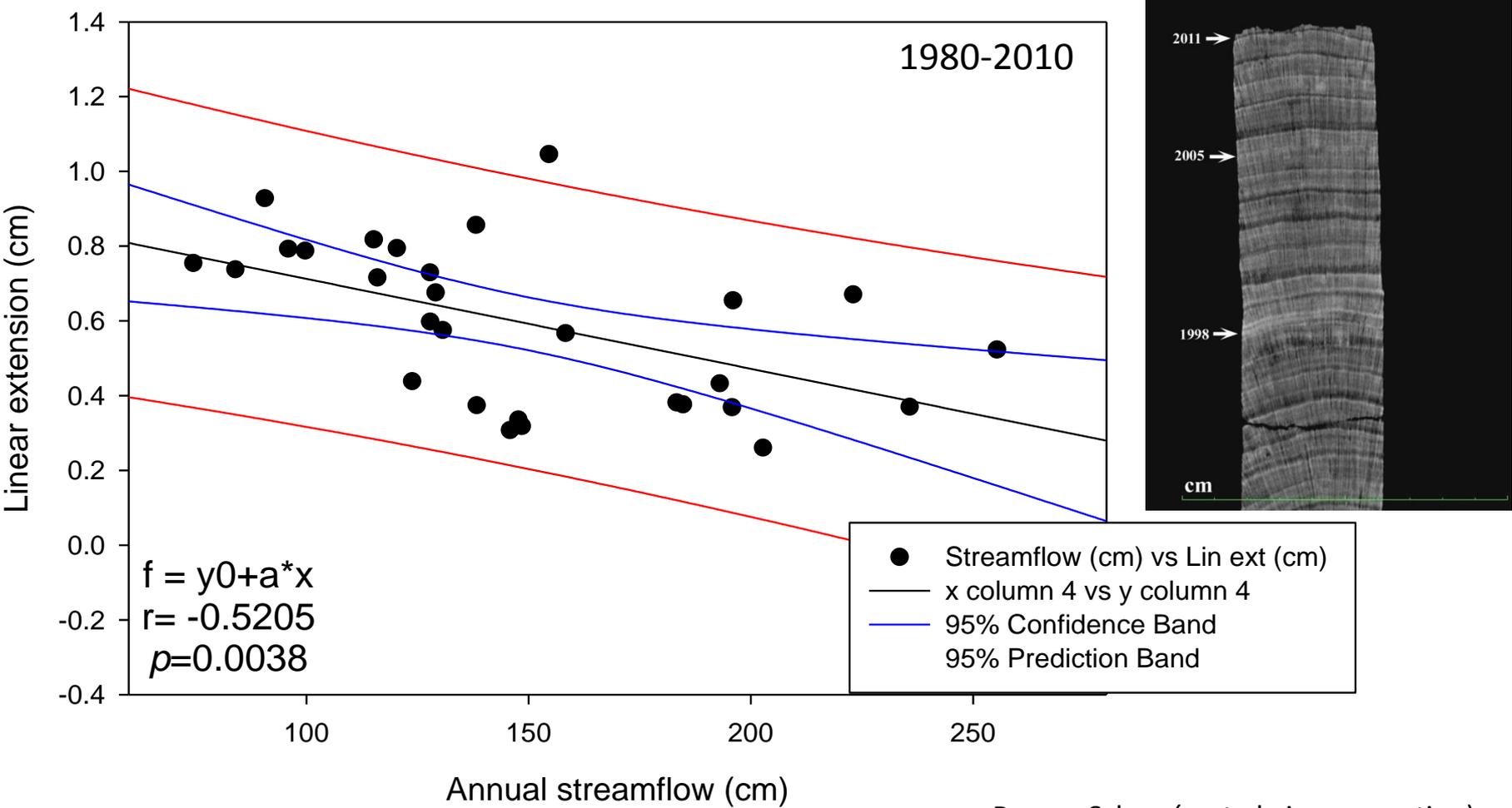
### Long-Term Impacts of Non-Sustainable Tourism and Urban Development in Small Tropical Islands Coastal Habitats in a Changing Climate: Lessons Learned from Puerto Rico

Edwin A. Hernández-Delgado<sup>1</sup>, Carlos E. Ramos-Scharrón<sup>2</sup>, Carmen R. Guerrero-Pérez<sup>3</sup>, Mary Ann Lucking<sup>4</sup>, Ricardo Laureano<sup>5</sup>, Pablo A. Méndez-Linares<sup>6</sup> and Joel O. Meléndez-Díaz<sup>7</sup>  
<sup>1</sup>Center for Applied Tropical Ecology and Conservation, University of Puerto Rico-Río Piedras  
<sup>2</sup>Island Resources Foundation & Department of Geography and the Environment, University of Texas at Austin  
<sup>3</sup>Instituto para un Desarrollo Sustentable  
<sup>4</sup>Correlations, Inc.  
<sup>5</sup>Vegabajeños Impulsando Desarrollo Ambiental Sustentable, Inc.  
<sup>6</sup>Department of Environmental Health, University of Puerto Rico-Medical Sciences Campus  
<sup>7</sup>Department of Environmental Sciences, University of Puerto Rico-Río Piedras  
<sup>1,3,4,5,6,7</sup> Puerto Rico  
<sup>2</sup>USA

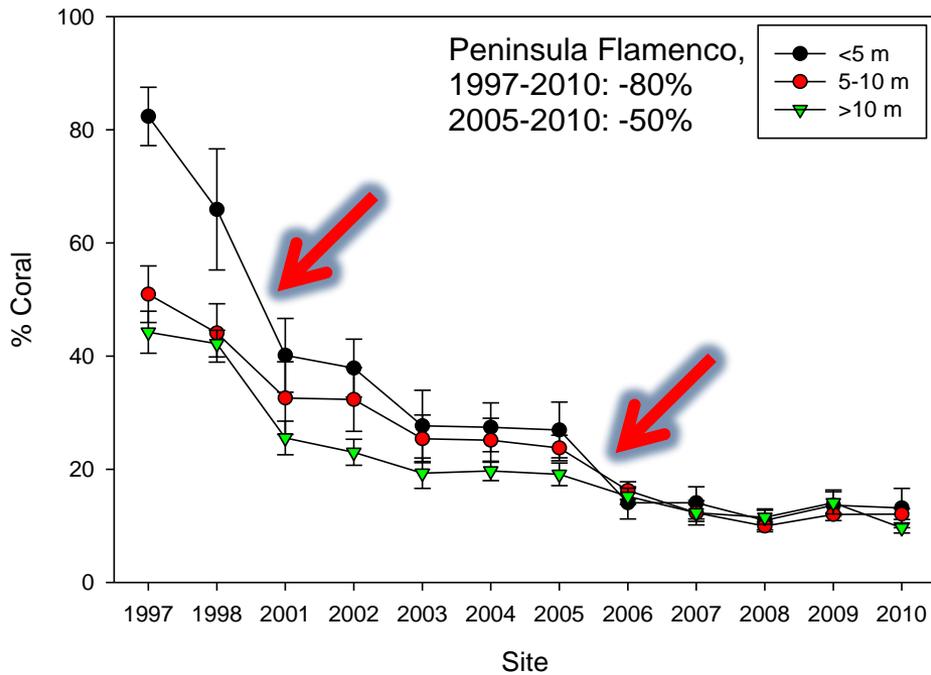


Punta Miquillo, estuario Río Espíritu Santo, Río Grande

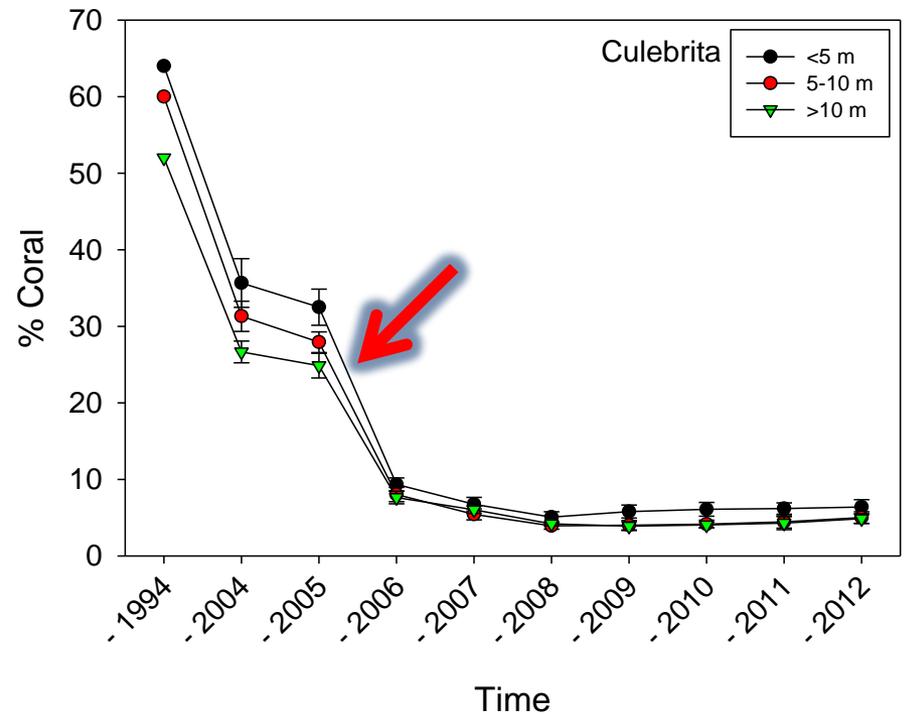
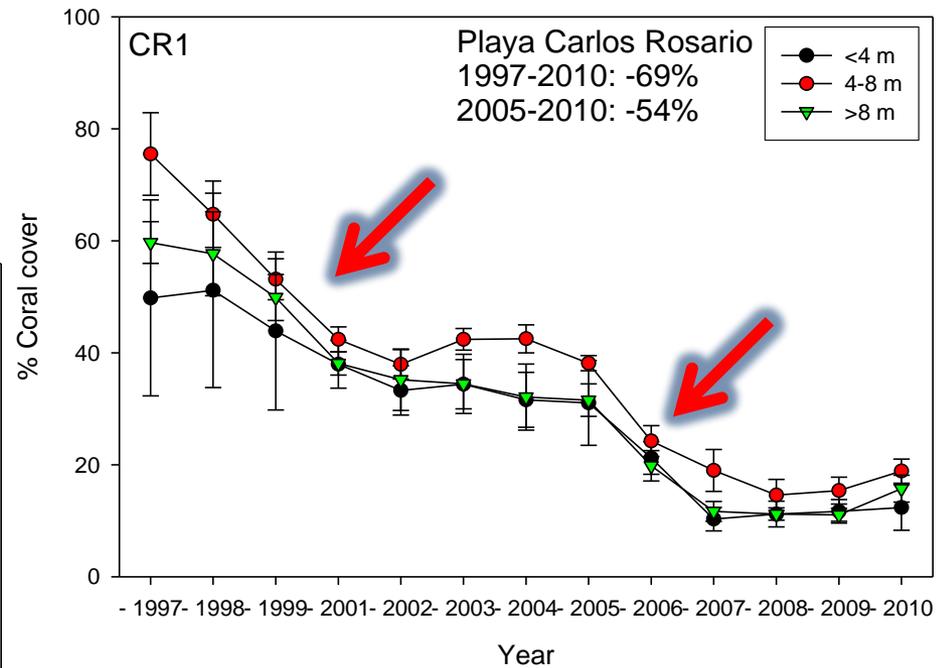
# Turbidez crónica a largo plazo asociada al incremento en el flujo annual del Río Fajardo causó una reducción en la extensión linear esqueletal en *Montastraea annularis*



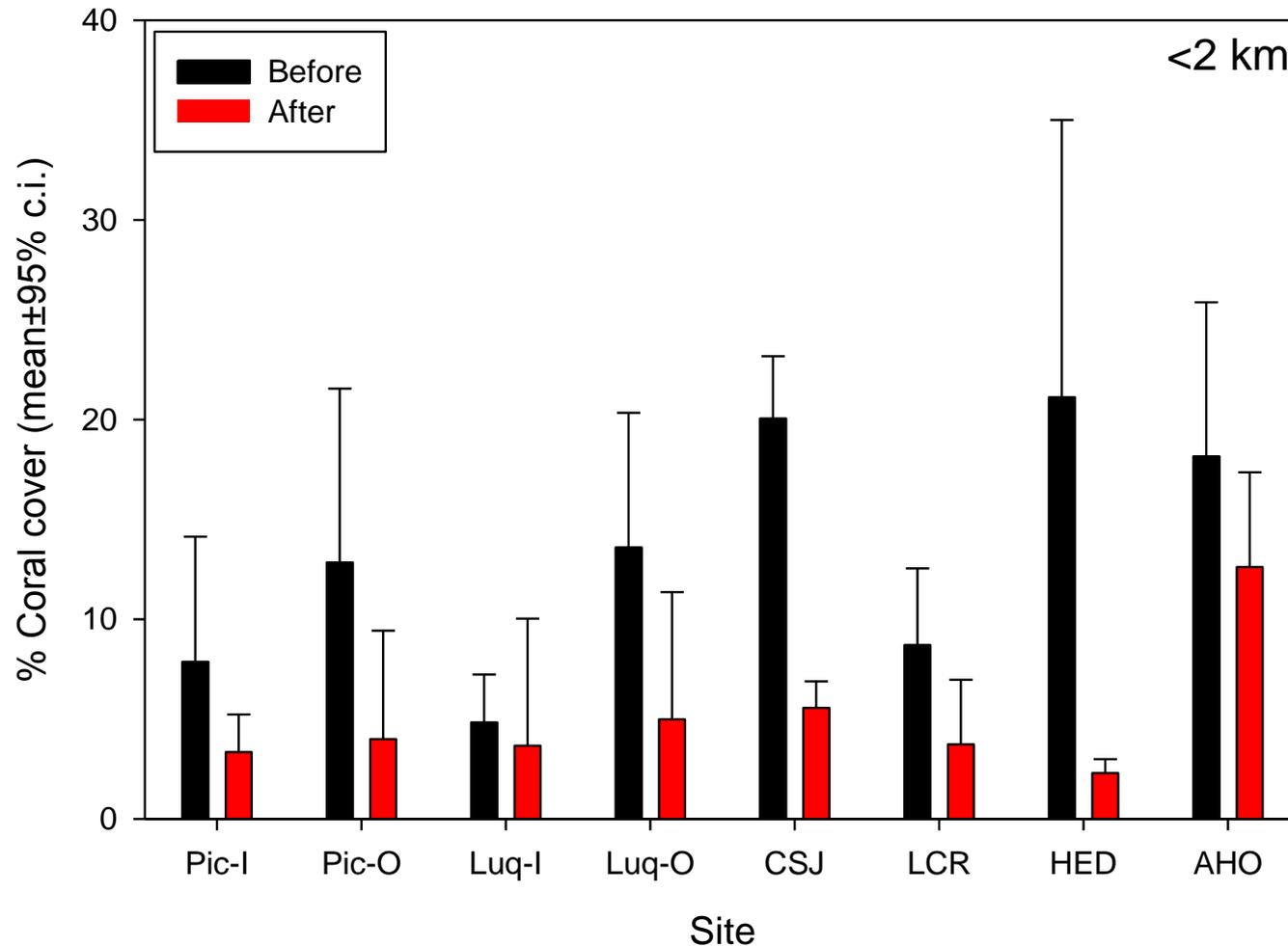
# Cambios graduales: Camino al colapso?



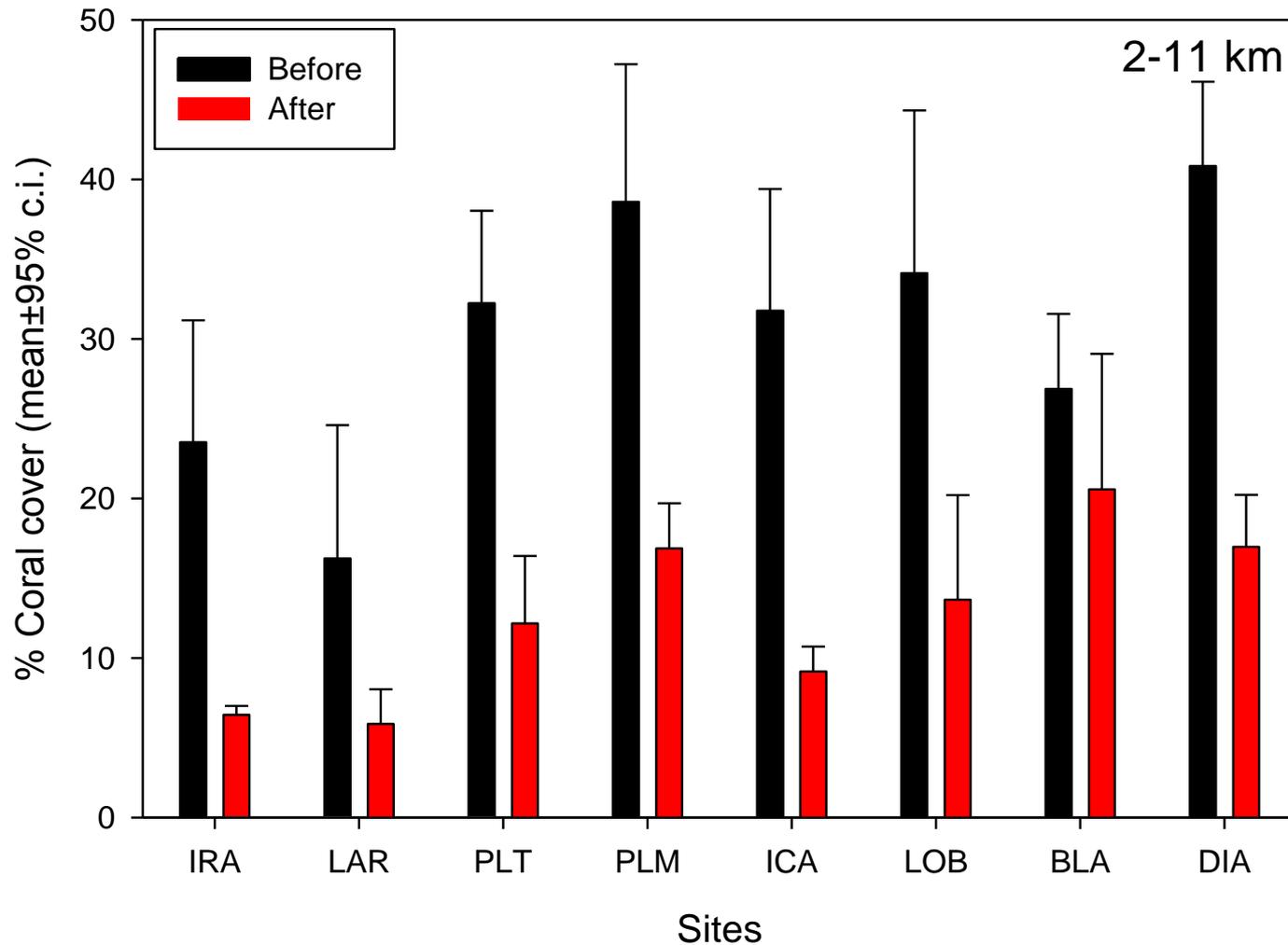
(Hernández-Delgado et al., in preparation)



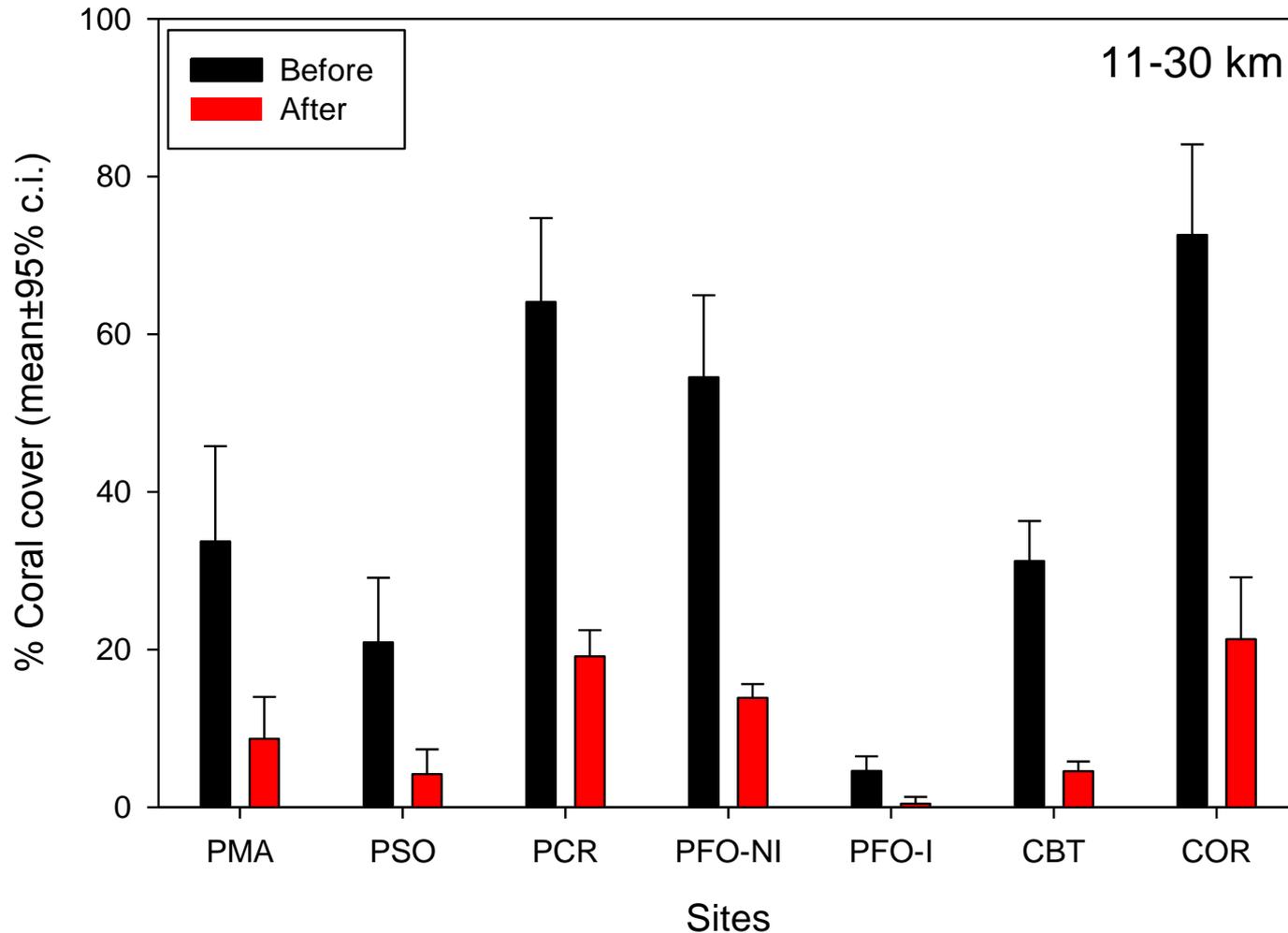
# Massive post-bleaching coral decline Inshore reefs (<2 km)



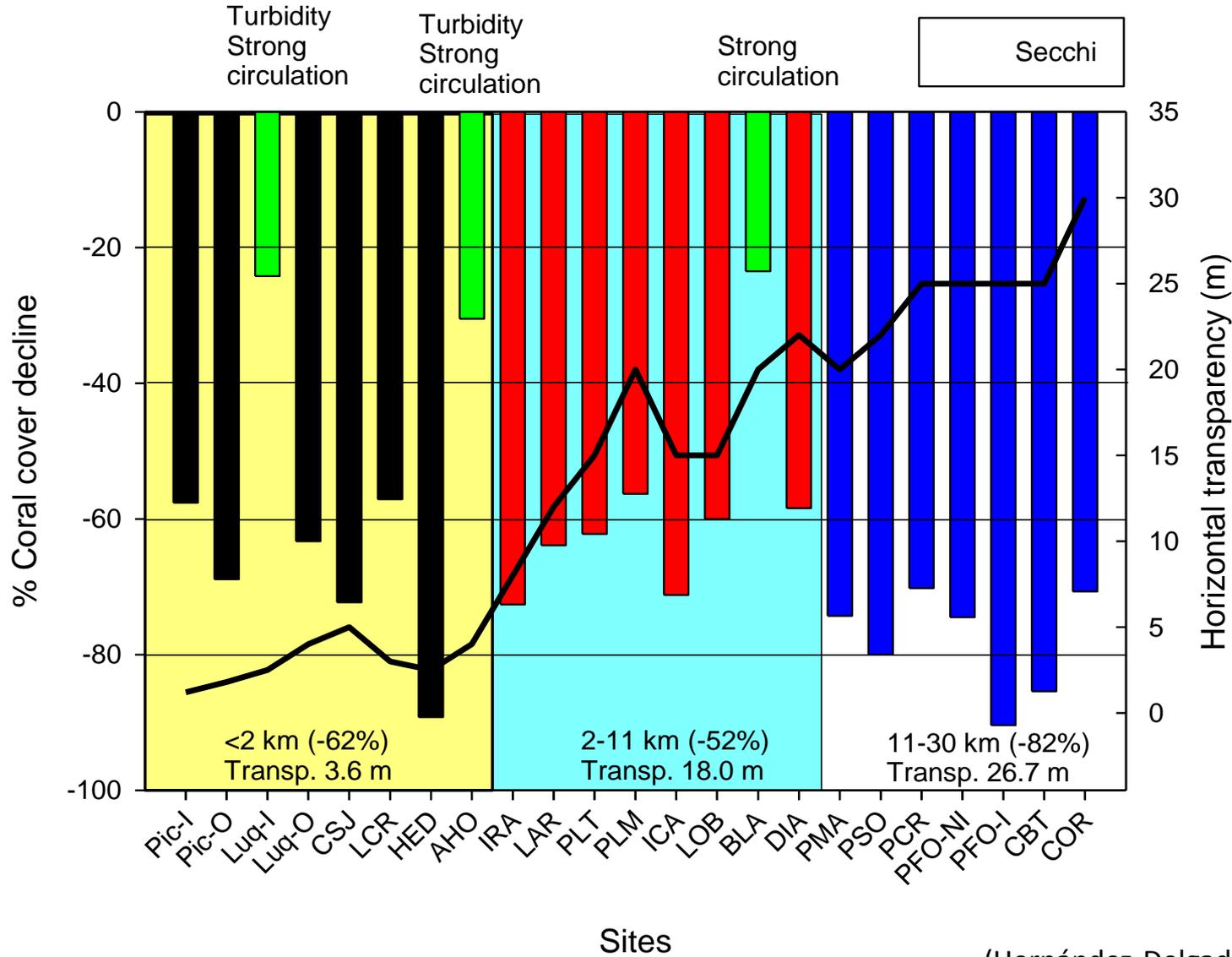
# Massive post-bleaching coral decline Midshelf reefs (2-11 km)



# Massive post-bleaching coral decline Outer shelf reefs (11-30 km)



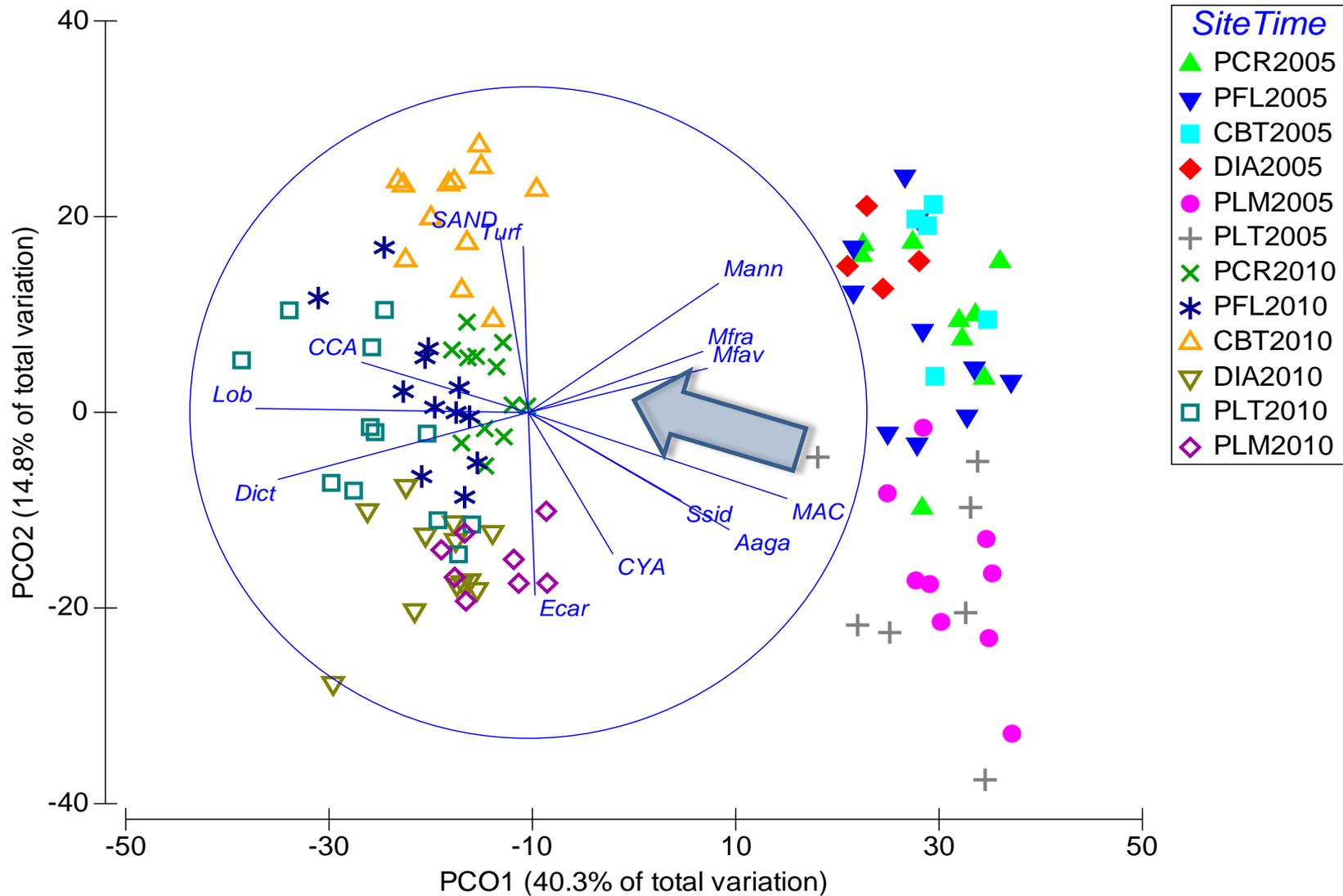
# Trayectoria de la comunidad arrecifal



**X= -64%**

**23-90% pérdida**

# Trayectoria de la comunidad arrecifal



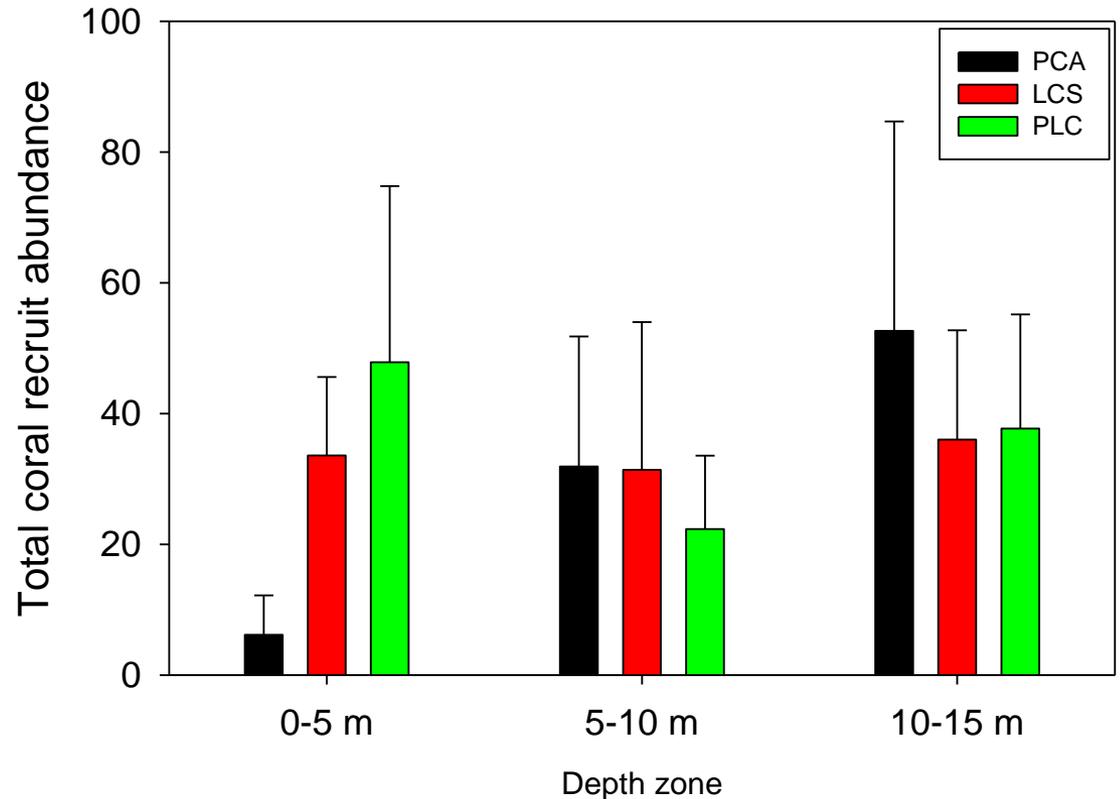
# Cambios graduales reflejados en el reclutamiento de corales

Densidad de reclutas más baja que la documentada en la literatura.

Cambio gradual favoreciendo especies efímeras con poco valor bioconstruccional: ej., *Siderastrea radicans*, *Porites astreoides*

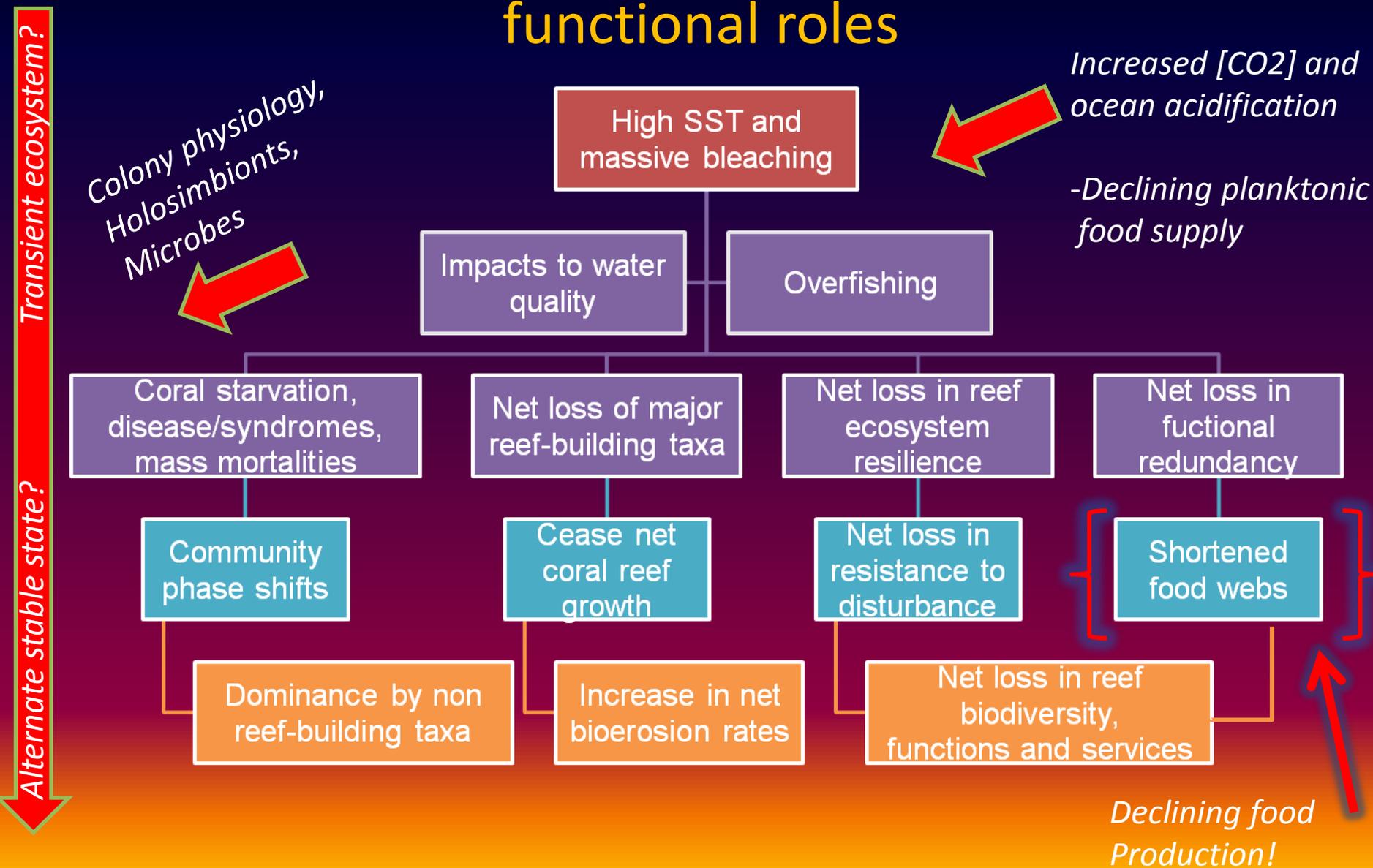
Fallas en el reclutamiento debido a incremento en la cobertura de macroalgals y/o cyanobacterias

Colapso en el reclutamiento de especies bioconstructoras



(Hernández-Delgado, et al., in review)

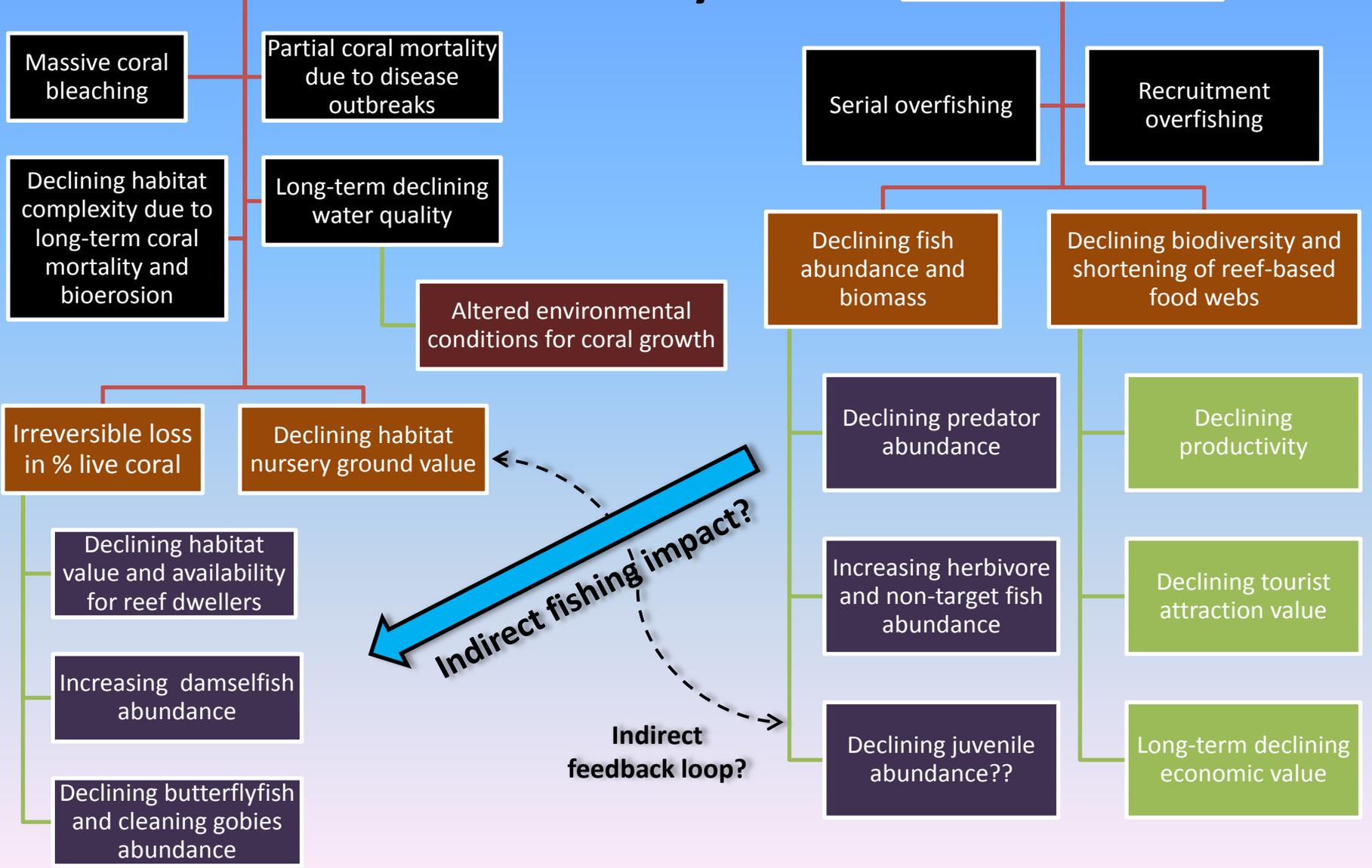
# Combined long-term consequences of climate change and other human insults in coral reef functional roles



# Triggers of faster transient dynamics

Bottom-Up processes

Top-down processes



# Alternativas de manejo

## 1. Integrar comunidades de base al manejo

- Las comunidades son el objeto del manejo, pero rara vez se incluyen en la solución
- La participación debe incluir:
  - Identificación y discusión de problemas
  - Desarrollo de soluciones alternativas
  - Implementación y evaluación de soluciones
- Es el mecanismo más directo para:
  - Educación transformadora



# Impactos a nivel paisajista y redundancia funcional



# Alternativas de manejo

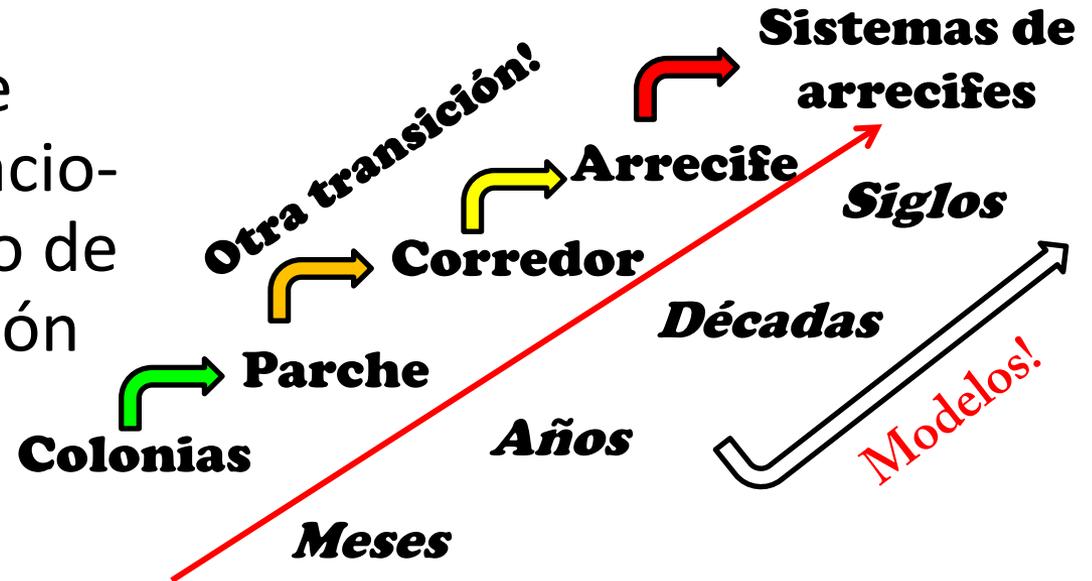
## 2. Manejar factores locales que afectan al arrecife

- **Contaminación terrestre:**
  - Reforestación (control erosión, velocidad/volumen escorrentías, y transporte de sedimentos)
  - Restauración de humedales y manglares
- **Eliminar “waivers” 301-h waivers (USEPA) para descarga aguas usadas de nivel primario:**
  - Reducir sobrecarga de aguas usadas, patógenos y nutrientes
  - Reducir sobrecimiento macroalgas
- **Redes de AMPs:**
  - Integración comunitaria.
  - Reducir presión pesca en zonas estratégicas.
  - Rehabilitar grupos funcionales de peces y la herbivoría (aumentar la resiliencia)
- **Fomentar reclutamiento de langostas y pulpos:**
  - Reabastecer el arrecife
  - Restaurar la depredación sobre invertebrados coralívoros

# Alternativas de manejo

## 3. Estrategias noveles de acuacultura de corales

- Necesidad urgente de expandir escalas espacio-temporales del cultivo de corales y la restauración de arrecifes
- Necesidad urgente de desarrollar métodos de cultivo de especies de corales de crecimiento lento y bajo reclutamiento



# Alternativas de manejo

## 4. Manejo basado en el ecosistema

- Enfocarse en los paradigmas principales
- Mayor comprensión de impactos en el ecosistema de la restauración ecológica
- Identificar clones genéticos de corales resistentes a temperaturas altas y a la contaminación

Mayor  
Hervivoría  
Rehabilitar  
Redundancia Funcional

Impactos por  
macroalgas  
competidoras

Enfermedades  
sensitivas a temperatura  
Impactos de calidad  
del agua



## Individuo

Acuacultura de corales (selección de clonos)  
Fisiología

## Población

Restauración ecológica (clonos resistentes a temperatura alta)

Fomentar el reclutamiento sexual de corales

## Comunidad (Redundancia funcional)

Rehabilitación microhábitats

Fomentar aumento abundancia y biomasa peces

Aumentar % cobertura corales

Microhábitats nuevos

## Ecosistema

Diversidad de peces  
Productividad carbono

Rehabilitación herbivoría y productividad primaria

Reducción % cobertura y biomasa algas

Fomentar aumento en acreción arrecife

# Alternativas de manejo

## 5. Rehabilitación de la herbivoría

- La restauración del arrecife de coral debe enfocarse en la rehabilitación de procesos claves, incluyendo la herbivoría
- Fomentar un incremento en las tasas de reclutamiento de peces.
- Fomentar un aumento en la densidad de *Diadema antillarum*:
  - Vía cultivo de larvas en el laboratorio
  - Reabastecimiento y trasplantes



# Alternativas de manejo

## 6. Regresar a la “Biología de Arrecifes 101”

- Regresar a estudiar la biología básica de las interacciones entre los corales y otros invertebrados, algas, etc.
- Comprender si los impactos del cambio climático han alterado los niveles umbrales de las respuestas de interacciones.



# Alternativas de manejo

## 7. Monitoreo ecológico guiado por preguntas y experimentación

- Adoptar un acercamiento a nivel de ecosistema más amplio para abarcar de forma integrada sistemas someros y mesofóticos.
- Mejorar el monitoreo ecológico para comprender la dinámica de los ecosistemas y los cambios graduales en sistemas lentos.
- Identificar indicadores de la proximidad de un nivel umbral en sistemas lentos.
- Experimentos para probar mecanismos de reversión de las transiciones.



# Mensaje para llevar a casa!!!

- Muchos de los arrecifes de coral en transición en Puerto Rico se encuentran en mal estado y carecen de señales significativas de recuperación natural.
- La naturaleza gradual de muchos de los cambios ecológicos resulta muy difícil de identificar y manejar a tiempo.
- La debilidad en la gobernanza, enfoque reduccionista, visión fragmentada y la carencia de datos consistentes agrava la capacidad de responder a los cambios ecológicos.



# Mensaje para llevar a casa!!!

- Existen múltiples estrategias de manejo que pueden resultar efectivas en un contexto colaborativo.
- El cultivo de corales y la restauración arrecifal ha sido una de las herramientas más efectivas para ayudar a revertir los estadios transicionales en el arrecife de coral y empoderar a las comunidades de base en el manejo de los ecosistemas.
- Pero el manejo de los ecosistemas debe ser participativo e integrativo.



# Edwin A. Hernández-Delgado

Universidad de Puerto Rico

Centro para la Ecología Tropical Aplicada y Conservación

Grupo de Investigación en Arrecifes de Coral

Apt. 23360

San Juan, PR 00931-3360



[coral\\_giac@yahoo.com](mailto:coral_giac@yahoo.com)

<http://upr.academia.edu/EdwinHernandez>

<http://catec.upr.edu>

