

¿Cómo se pueden mejorar las proyecciones del cambio climático y las mediciones ambientales en el Caribe?

Christopher L. Castro
Departamento de Ciencias Atmosféricas
Universidad de Arizona
Tucson, Arizona, EE.UU.

Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Representante de la Comisión de Geofísica
Sección Nacional de los EE.UU.



Resumen de la presentación

Información profesional y personal

Una revisión de algunas de las conclusiones principales del Grupo Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)

Las preocupaciones específicas del cambio climático y cuales son lo más importante para el Caribe y sus causas físicas

Se puede mejorar las proyecciones del cambio climático con el uso de modelos atmosféricos regionales

El mejoramiento de las mediciones ambientales actuales

Agradecimientos: S. Raucher, D. Enfield, A. Douglas, C. Wang, y J. Braun. Me ayudaron recoger la mayoría de la información para esta presentación. El departamento del estado del EE.UU. apoyó este viaje al Caribe.



Información personal

Profesor asistente, Departamento de Ciencias Atmosféricas, Universidad de Arizona, Tucson

El representante nuevo de la Comisión de Geofísica, Sección nacional de los EE.UU. del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)

Me matriculé de la Universidad Estatal de Colorado, Departamento de Ciencia Atmosférica, y de la Universidad Estatal de Pennsylvania

Mis áreas de investigación incluyen: la variabilidad y el cambio del clima, la interacción entre la tierra y la atmósfera, los modelos atmosféricos regionales, y el monzón norteamericano.



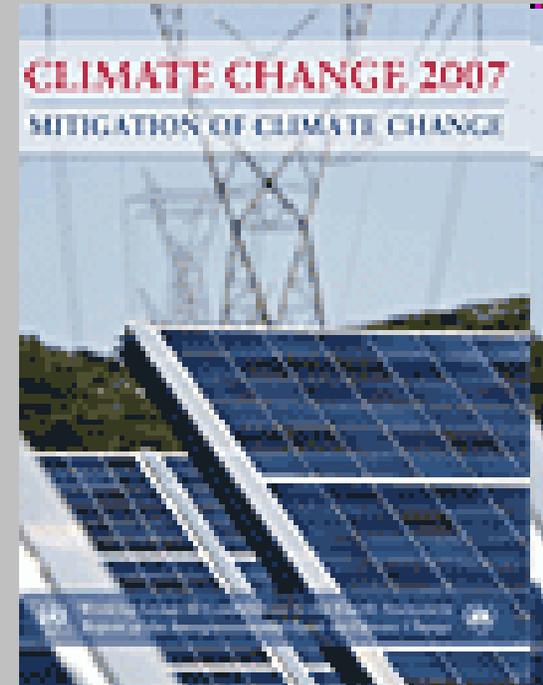
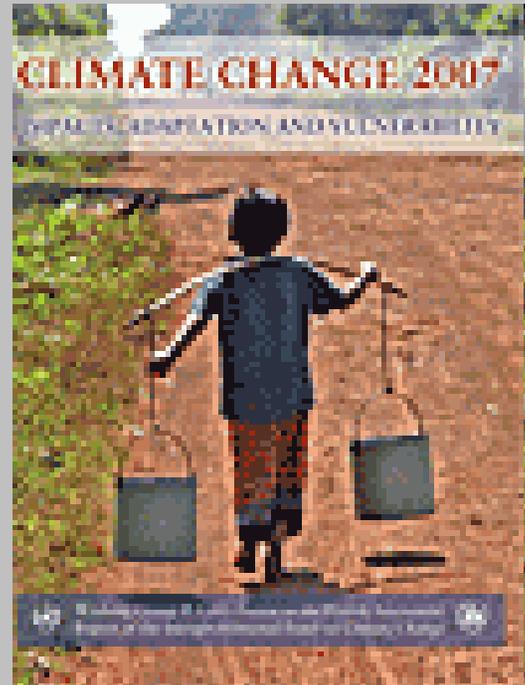
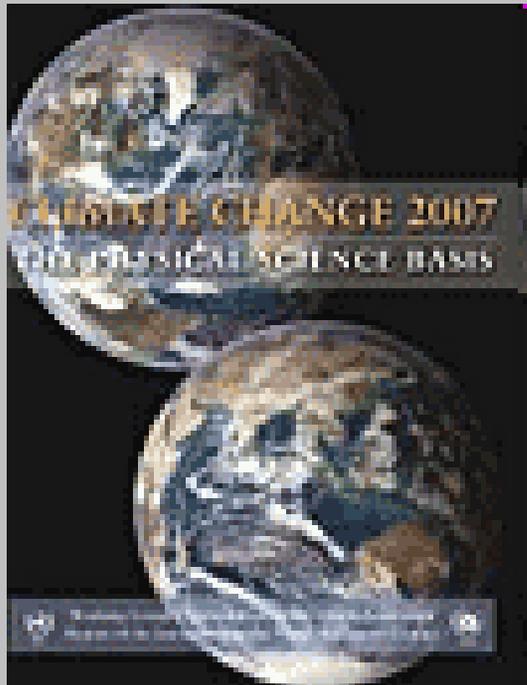
Las raíces de mi familia vienen de esta parte del mundo, así me importa mucho el Caribe...



JUNCOS, PUERTO RICO
Donde nacieron mis abuelos y donde se entierran

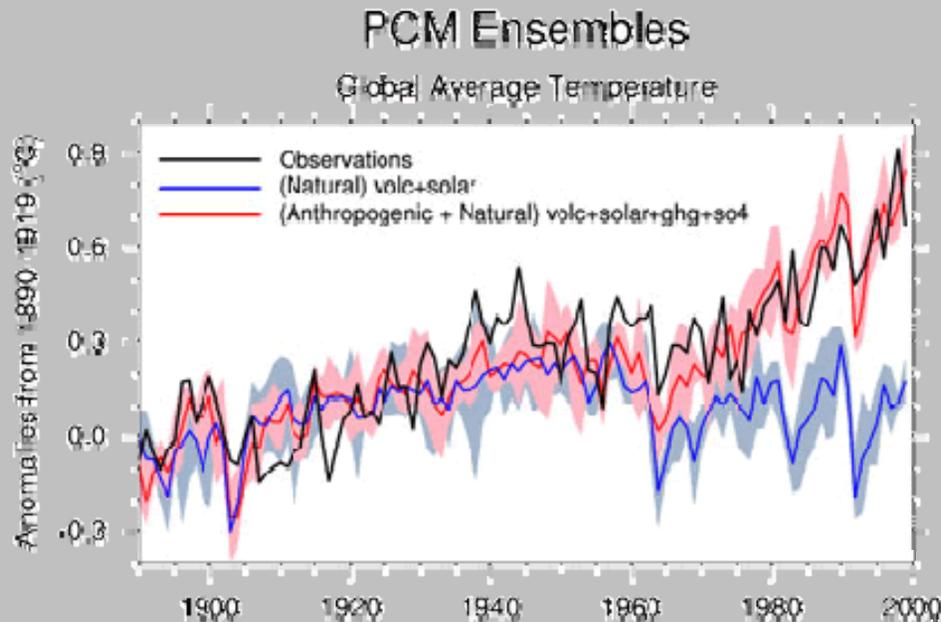


**Grupo Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)
(Todavía) la mejor evaluación comprensiva que refleja el
consenso de la comunidad científica**



A pesar del consenso científico, la realidad del cambio climático en los Estados Unidos es un sujeto polémico en el área político. Esta presentación no representa ninguna posición oficial del gobierno del los Estados Unidos en este asunto.

El mensaje de los estudios de atribución usando los modelos atmosféricos globales: el cambio climático es la realidad que ya estamos enfrentando



Los experimentos con los modelos globales separan los factores naturales de los factores humanos, principalmente las gases de efecto invernadero y los aerosoles atmosféricos.

La señal del cambio climático aparece después del año 1980.

Encontramos muchas transiciones en los datos climáticos que comienzan en este punto.

Debemos pensar en esta pregunta: ¿Necesitamos cambiar el paradigma de cómo podemos mejorar las proyecciones al mejoramiento del las mediciones ambientales para la mitigación de los impactos?

CAMBIO DE LA TEMPERATURA CONTINENTAL Y MUNDIAL

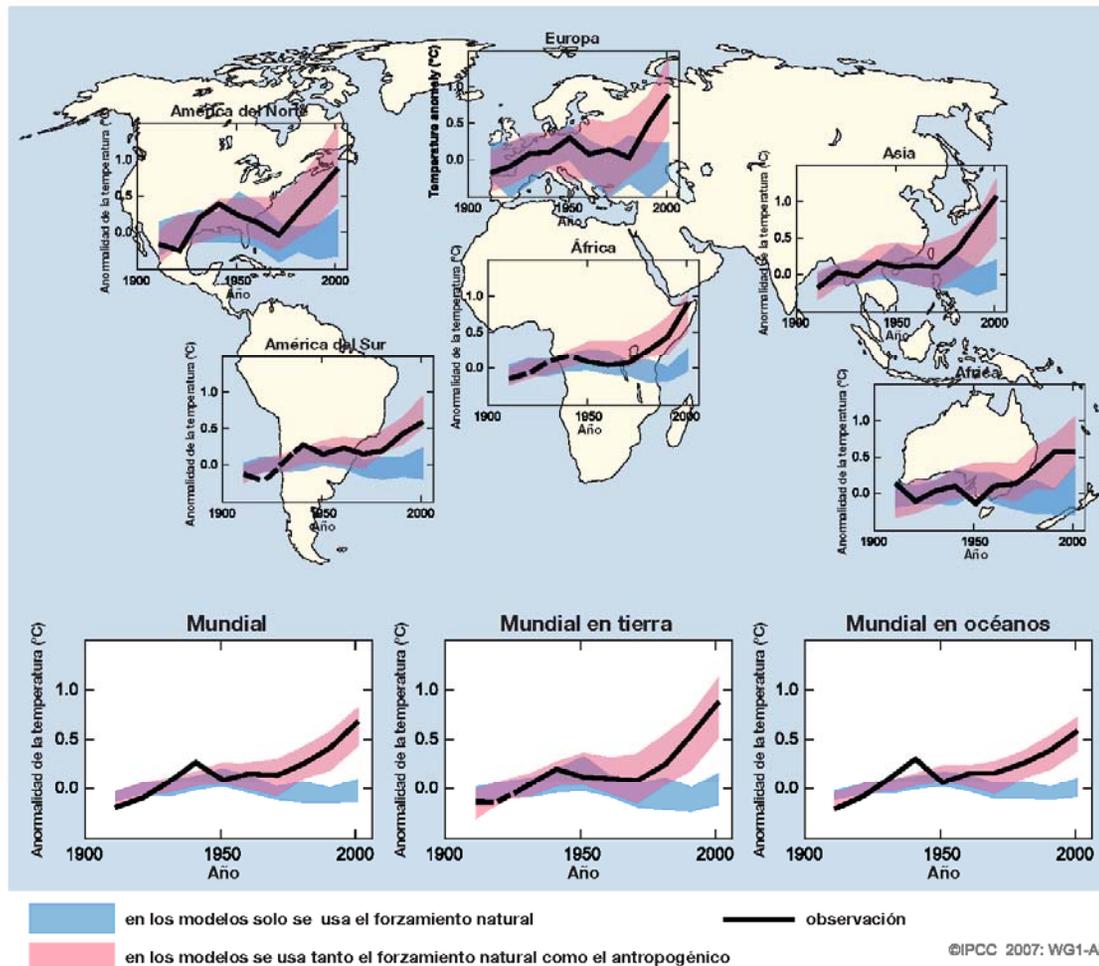


Figura RRP.4. Comparación de los cambios observados a escala continental y mundial en la temperatura de la superficie con resultados simulados por modelos climáticos mediante forzamientos naturales y antropogénicos. Se muestran los promedios por década de las observaciones del periodo 1906–2005 (línea negra) trazados en función del centro de la década y con respecto al promedio correspondiente a 1901–1950. Las líneas discontinuas denotan una cobertura espacial menor de 50%. Las bandas sombreadas en azul muestran un intervalo de 5–95% de 19 simulaciones de cinco modelos climáticos utilizando solamente los forzamientos naturales debidos a la actividad solar y los volcanes. Las bandas sombreadas en rosado muestran el intervalo de 5–95% para 58 simulaciones de 14 modelos climáticos en los que se emplearon forzamientos naturales y antropogénicos. (PF 9.2, Figura 1)

También esta transición en el clima desde el año 1980 es igual en todas partes del mundo.

Los escenarios de los modelos de IPCC del promedio de la temperatura global

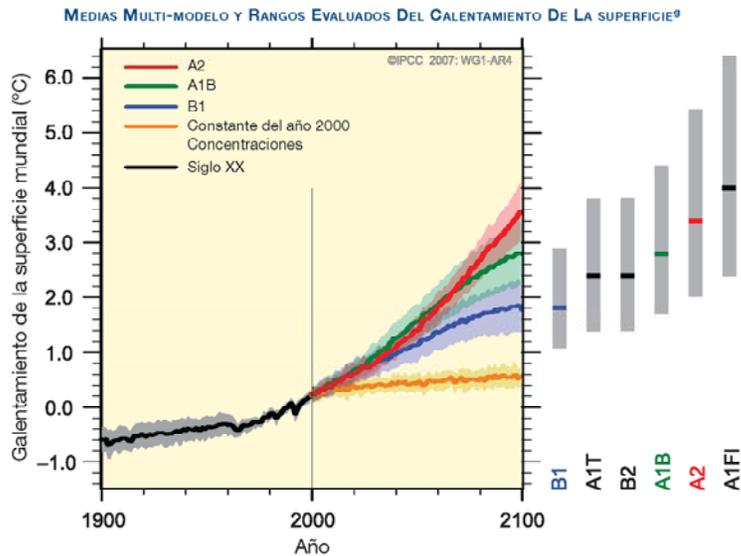


Figura RRP.5. Las líneas sólidas denotan las medias del calentamiento mundial obtenidas con múltiples modelos (con respecto a 1980-1999) para los escenarios A2, A1B y B1, mostrados como continuación de las simulaciones del siglo XX. El sombreado denota el intervalo de la desviación estándar+1 de las medias anuales de los modelos individuales. La línea color naranja representa el experimento donde las concentraciones se mantuvieron constantes en los valores del año 2000. Las barras grises de la derecha indican la mejor estimación (línea sólida en cada barra) y el rango probable evaluado de los seis escenarios de referencia del IE-EE. La evaluación de la mejor estimación y de los rangos probables en las barras grises incluyen MCGAOs en la parte izquierda de la figura y los resultados de una jerarquía de modelos independientes y las limitaciones de la observación. (Figuras 10.4 y 10.29)

Los modelos globales dicen que será un aumento de 1.5 a 4 °C en el promedio de la temperatura global durante este siglo.

Los escenarios dependen de las decisiones sociales y políticas con respecto a las emisiones de los gases invernaderos.

El calentamiento global va a pasar de alguna forma y NO PODEMOS CAMBIARLO.

El escenario peor A2, que mantiene las tendencias actuales de emisión de los gases invernaderos, es lo más probable en este momento.

El mensaje general y breve sobre las proyecciones de precipitación del IPCC...

El clima actual se pone más extremo.

Las regiones y las estaciones húmedas tienen más lluvias.

Las regiones y las estaciones secas tienen menos lluvias y se aumentan las temperaturas.

PAUTAS PROYECTADAS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIONES

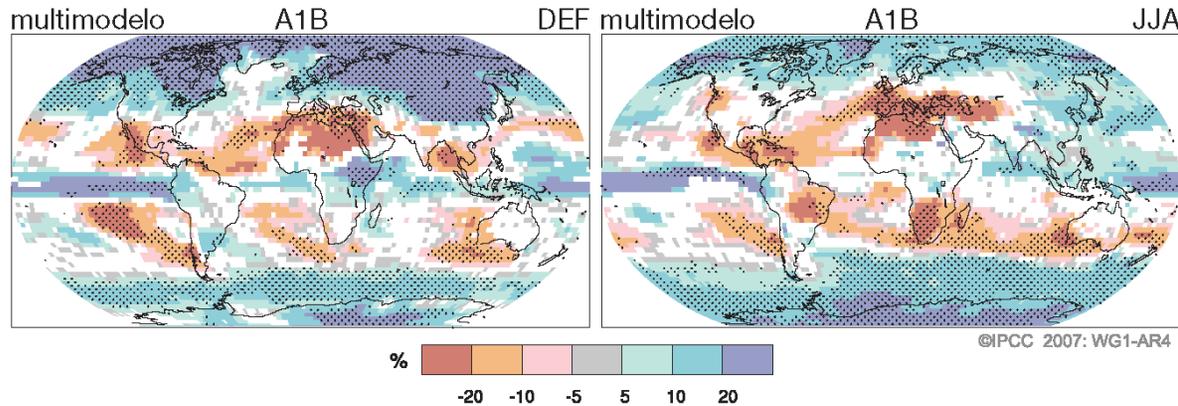


Figura RRP.7. Cambios relativos en la precipitación (en porcentaje) para el periodo 2090–2099, respecto a 1980–1999. Los valores son promedios de multimodelos basados en el escenario IE-A1B para diciembre-febrero (izquierda) y junio-agosto (derecha). En las áreas en blanco se indica que menos del 66% de los modelos coincide con el signo del cambio y en las zonas punteada, más del 90% de los modelos concuerda con el signo del cambio (Figura 10.9)

Las proyecciones sugieren que las zonas subtropicales del mundo serán más secas y se incluye el área del Caribe. El periodo de las sequías más intensas pasará durante la estación de las lluvias (JJA).

Refleja los cambios la circulación general de la atmósfera:

Los ciclones extratropicales avanza hacia los polos

Las áreas de alta presión en los subtrópicos crecen

Lluvias más intensas en la zona de convergencia en los trópicos

Lo que estas pautas no reflejan: ¿Cómo cambian la frecuencia y la intensidad de los ciclones tropicales?

Preguntas del cambio climático que hacemos sobre la región del Caribe

- 1. ¿Creemos que los modelos climáticos globales capturan bastante bien los mecanismos físicos de las lluvias convectivas en las regiones tropicales y subtropicales?**
- 2. ¿Si aceptamos que el clima global ya ha cambiado debido a los seres humanos durante los últimos treinta años, qué se observa en este momento con respecto a las proyecciones?**
- 3. ¿Qué se puede hacer para mejorar las proyecciones del cambio climático? ¿Ya tenemos bastante información por tomar decisiones y cambios sociales?**
- 4. ¿Cuál es la respuesta más efectiva de las naciones del Caribe para enfrentar a este fenómeno con recursos económicos limitados: cambian sus economías de una manera dramática para reducir las emisiones de los gases invernaderos o invierten en las mediciones ambientales y las adaptaciones socioeconómicas?**

Los efectos más importantes en el Caribe

Intensidad de lluvia

Intensidad de la sequía

Intensidad de ciclones tropicales

Aumento del nivel del mar

Tabla RRP.2. Tendencias recientes, evaluación de la influencia humana en la tendencia y proyecciones de fenómenos climáticos de las cuales existe una tendencia observada a finales del siglo XX. {Tablas 3.7, 3.8, 9.4; Secciones 3.8, 5.5, 9.7, 11.2–11.9}

Fenómeno ^a y dirección de la tendencia	Probabilidad de ocurrencia de la tendencia a finales del siglo XX (típicamente después de 1960)	Probabilidad de contribución humana a la tendencia observada ^b	Likelihood of future trends based on projections for 21st century using SRES scenarios
Días y noches más cálidos y menos fríos en la mayoría de las áreas terrestres	<i>Muy probable^c</i>	<i>Probable^d</i>	<i>Prácticamente cierto^d</i>
Mayor frecuencia de días y noches más cálidos en la mayoría de las áreas terrestres	<i>Muy probable^e</i>	<i>Probable (noches)^d</i>	<i>Prácticamente cierto^d</i>
Periodos de calor/olas de calor. Aumento de la frecuencia en la mayoría de áreas terrestres	<i>Probable</i>	<i>Prácticamente cierto^f</i>	<i>Muy probable</i>
Fenómenos de intensas lluvias. Incremento de la frecuencia (o proporción total de pluviosidad de intensas lluvias) en la mayoría de las áreas	<i>Probable</i>	<i>Más Probable que improbable^f</i>	<i>Muy probable</i>
Incremento de las áreas afectadas por más sequías	<i>Probable en muchas regiones desde 1970</i>	<i>Más Probable que improbable</i>	<i>Probable</i>
Incremento de la actividad de ciclones tropicales intensos	<i>Probable en algunas regiones desde 1970</i>	<i>Más Probable que improbable^f</i>	<i>Probable</i>
Mayor incidencia de niveles del mar altos extremos (se excluye los tsunamis) ^g	<i>Probable</i>	<i>Más Probable que improbable^{f,h}</i>	<i>Probableⁱ</i>

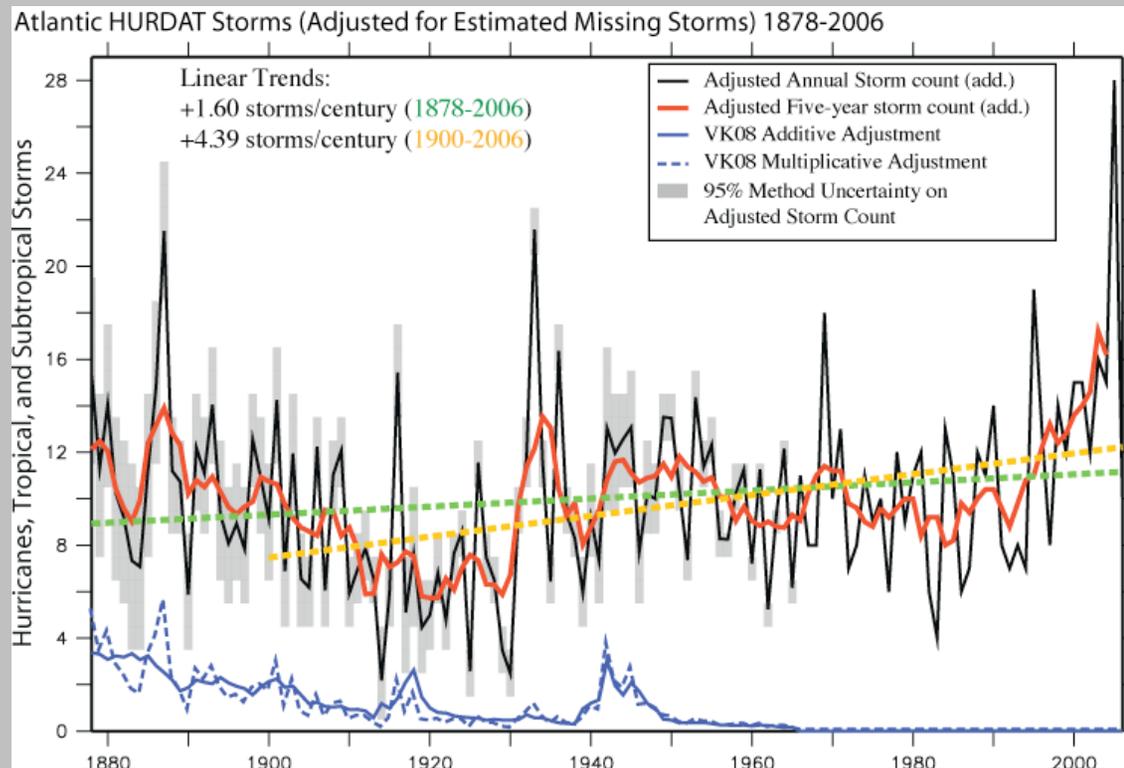
El aumento del nivel del mar en Puerto Rico que corresponde a las proyecciones del IPCC



Un aumento en el nivel del mar de un metro inundará la mayoría de los áreas urbanos en la isla.

La topografía y la pauta de las zonas urbanas en todas las islas mayores del Caribe son casi iguales.

¿Aumentó la frecuencia de los huracanes en el Atlántico durante el siglo pasado?



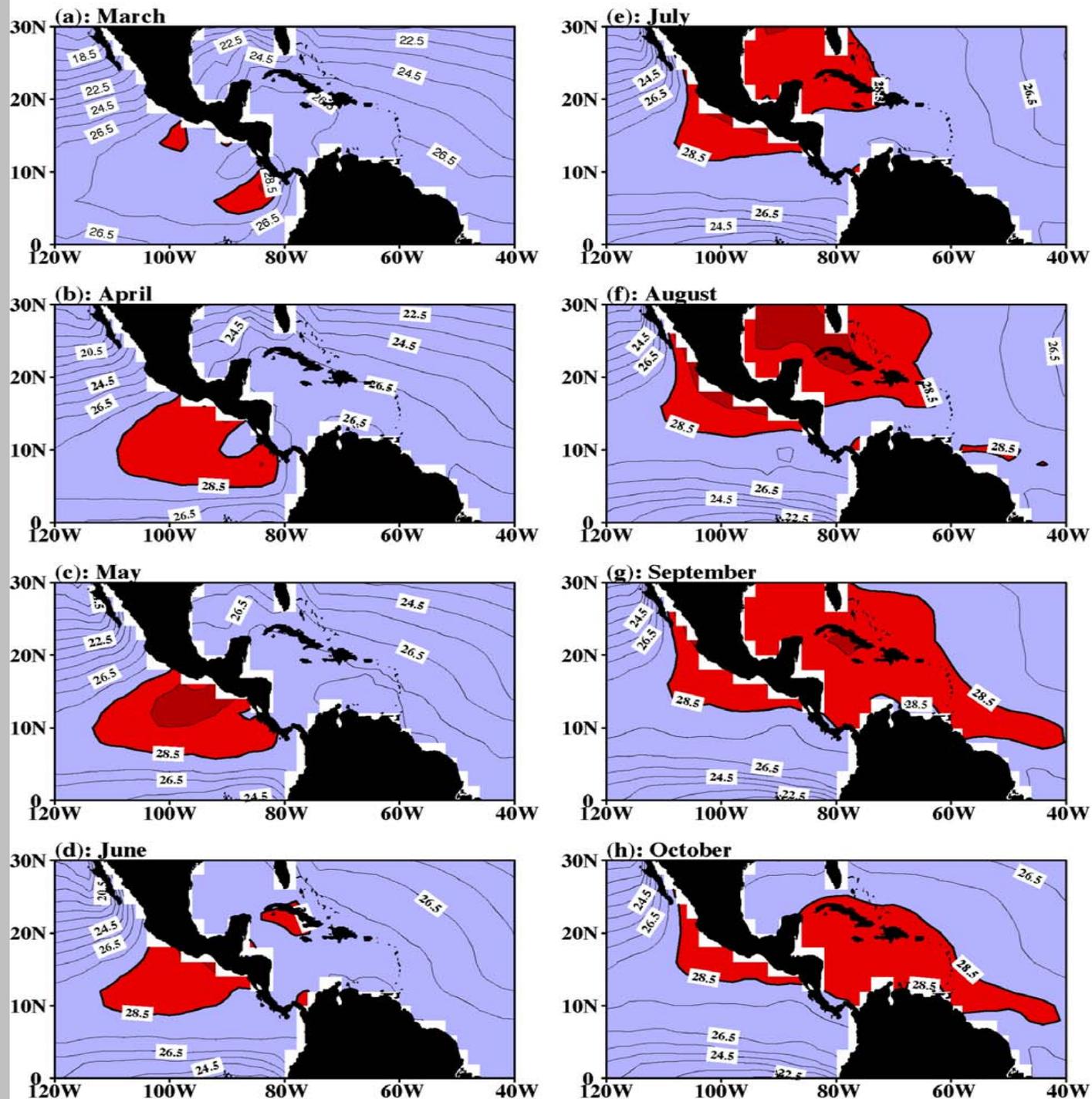
Vecchi and Knutson (2008)

Tomando en cuenta las incertidumbres en las observaciones, el aumento en la frecuencia de ciclones tropicales no es significativo estadísticamente.

Los ciclones
tropicales
generalmente
requieren las
temperaturas
superficiales del
mar (TSM)
más de
 28.5°C .

Esta región se
llama el pozo
caliente del
Atlántico

Wang & Enfield
(2001, *GRL*)



54 años de huracanes (1950-2003)

23 Busy-year hurricanes for small warm pools



18 años con pozas pequeñas
3 años fuertes, 23 ciclones

82 Busy-year hurricanes for large warm pools



18 años con pozas grandes
11 años fuertes, 82 ciclones

Cortesía de Art Douglas

Los factores meteorológicos que se requieren para un huracán intenso

TSM caliente

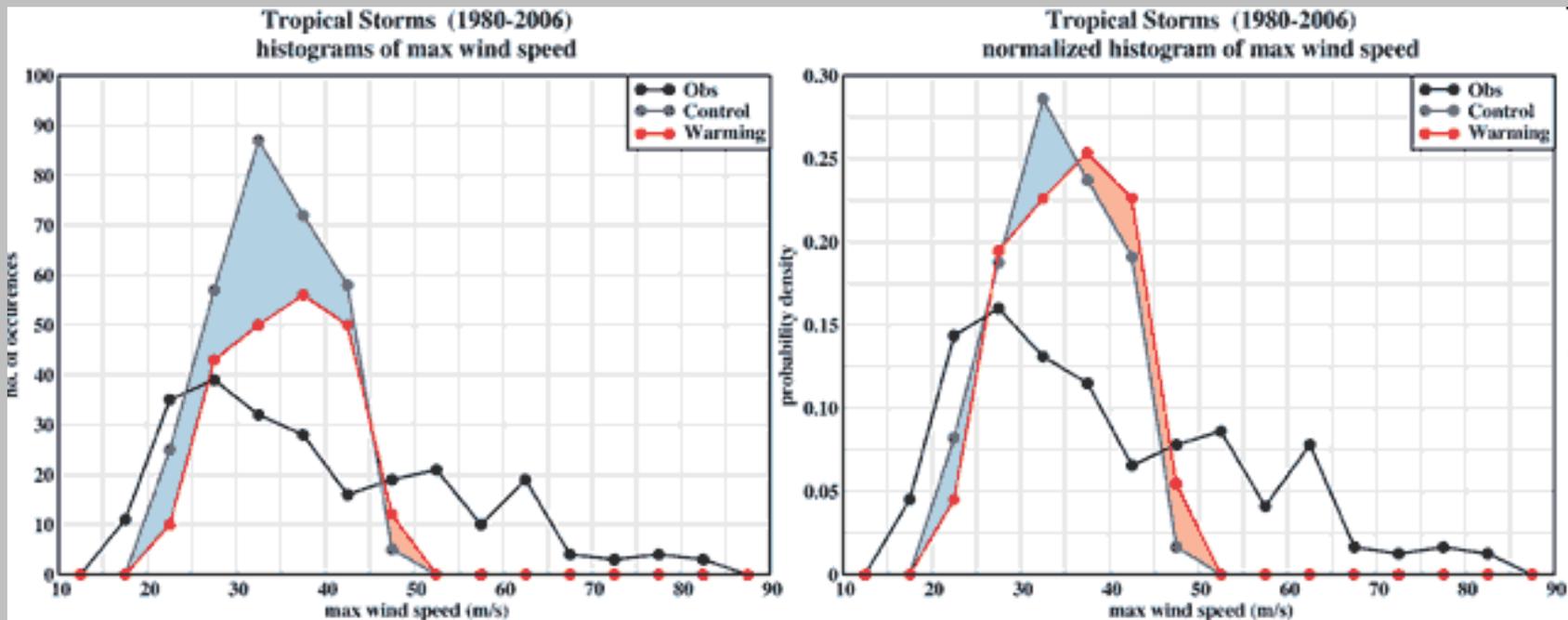
Vientos débiles a los niveles altos

Instabilidad condicional

Perturbación en la atmósfera

*No sabemos bien
como cambiarán los
factores atmosféricos
en el futuro.*

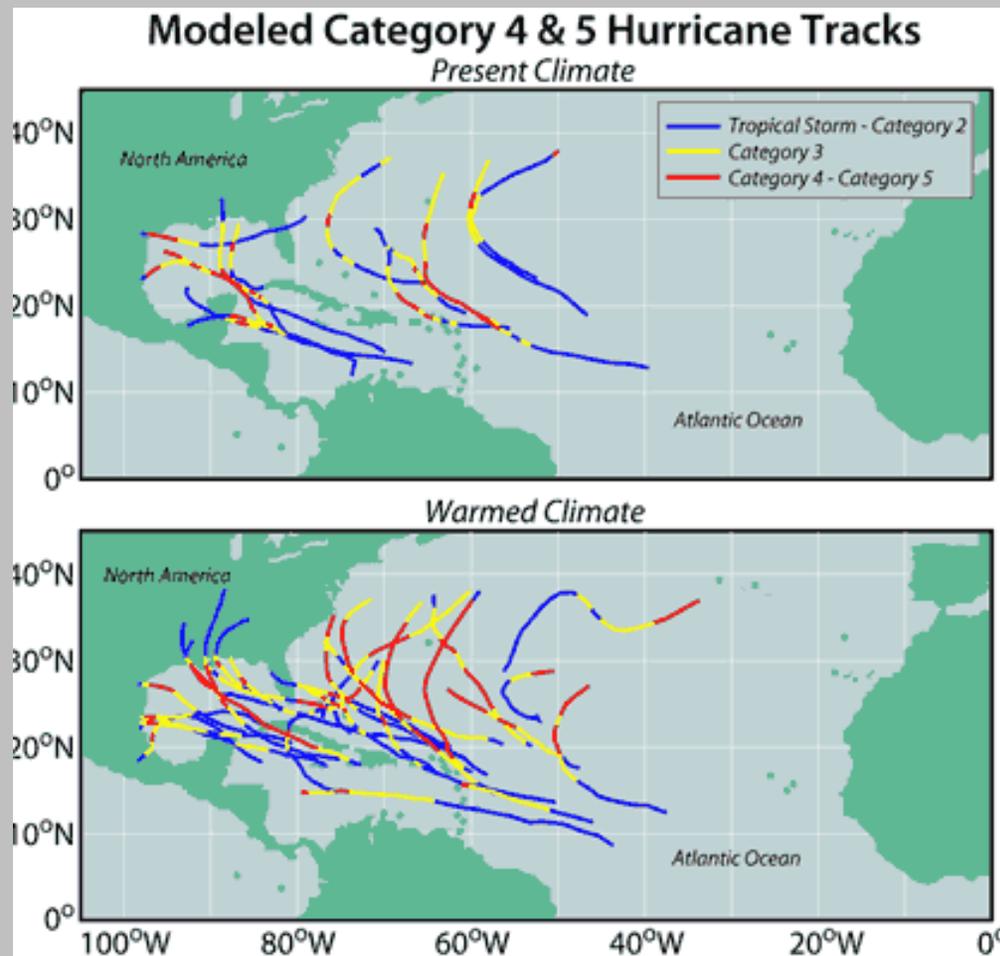
Los resultados de simulaciones utilizando un modelo atmosférico regional de alta resolución en el Atlántico: periodo histórico (1980-2006) y el futuro (escenario A1B)



Knutson et al. (2008)

El número de tormentas simuladas en el escenario de calentamiento global disminuye, pero las tormentas que ocurren son más intensas con más lluvia y un aumento en los vientos máximos.

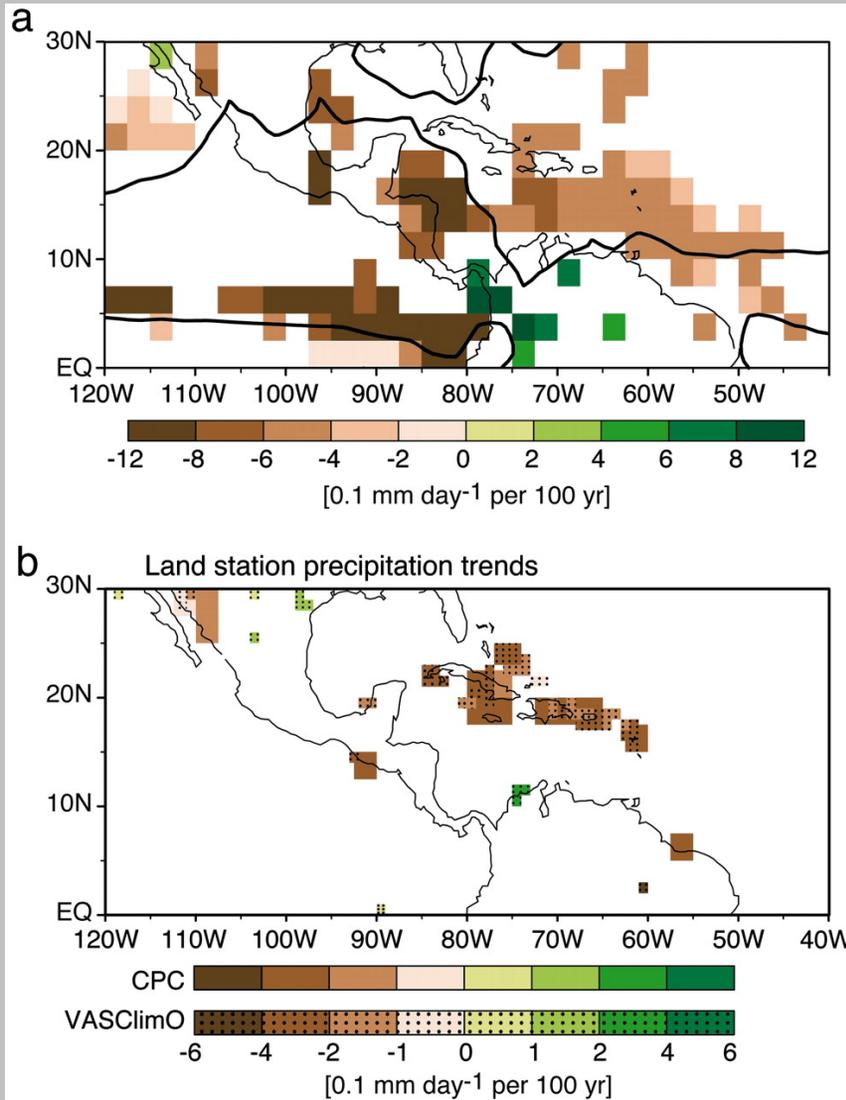
El cambio en las trayectorias de los huracanes intensos de las simulaciones con modelos regionales



Futuro: Más ciclones tropicales intensos en el Atlántico con trayectorias en el Caribe.

Bender et al. (2010)

Hay una tendencia observada de menos precipitación en el Caribe durante los meses de JJA



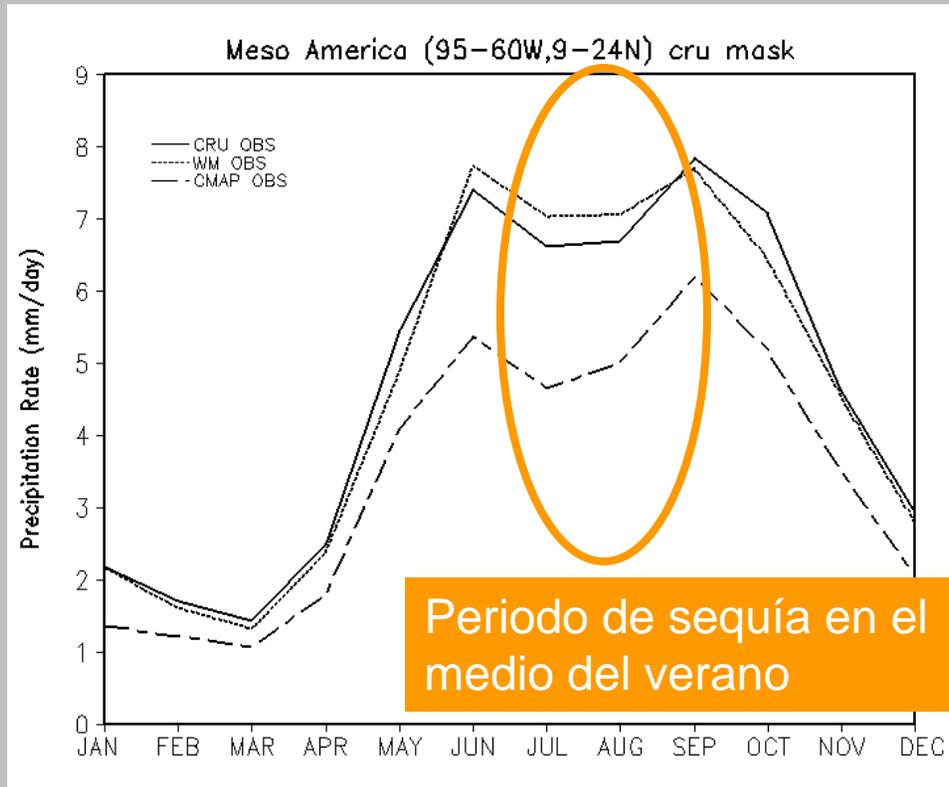
Precipitación de CMAP (1979 a 2003)
(se base en los datos de los satélites)

Centro de Predicción del Clima (EE.UU.)
El análisis de observaciones pluviométricas
(1951 a 2000)

Neelin et al. (2006)

Cortesía de S. Raucher

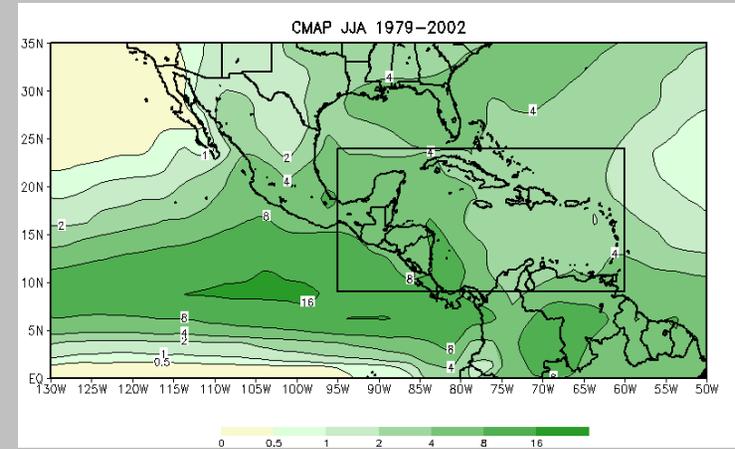
Precipitación observada del siglo pasado (mm/día)



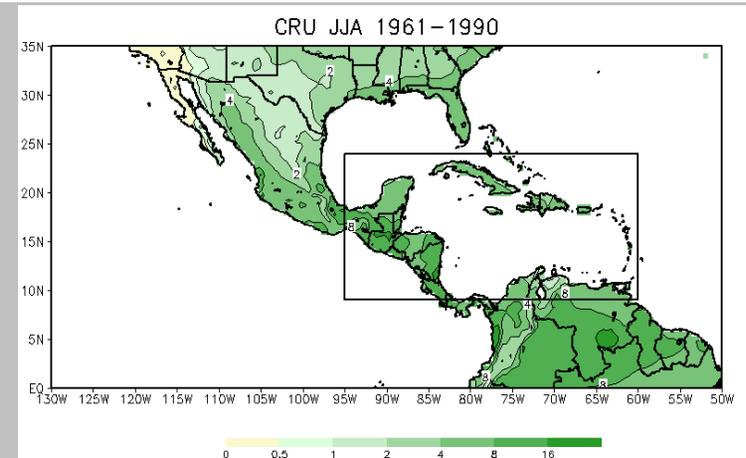
Month

— CRU OBS. DE ESTACIONES
 WM OBS. DE ESTACIONES
 - - - CMAP OBS. DE SATELITES

OBS - Satélites JJA 1979 a 2002

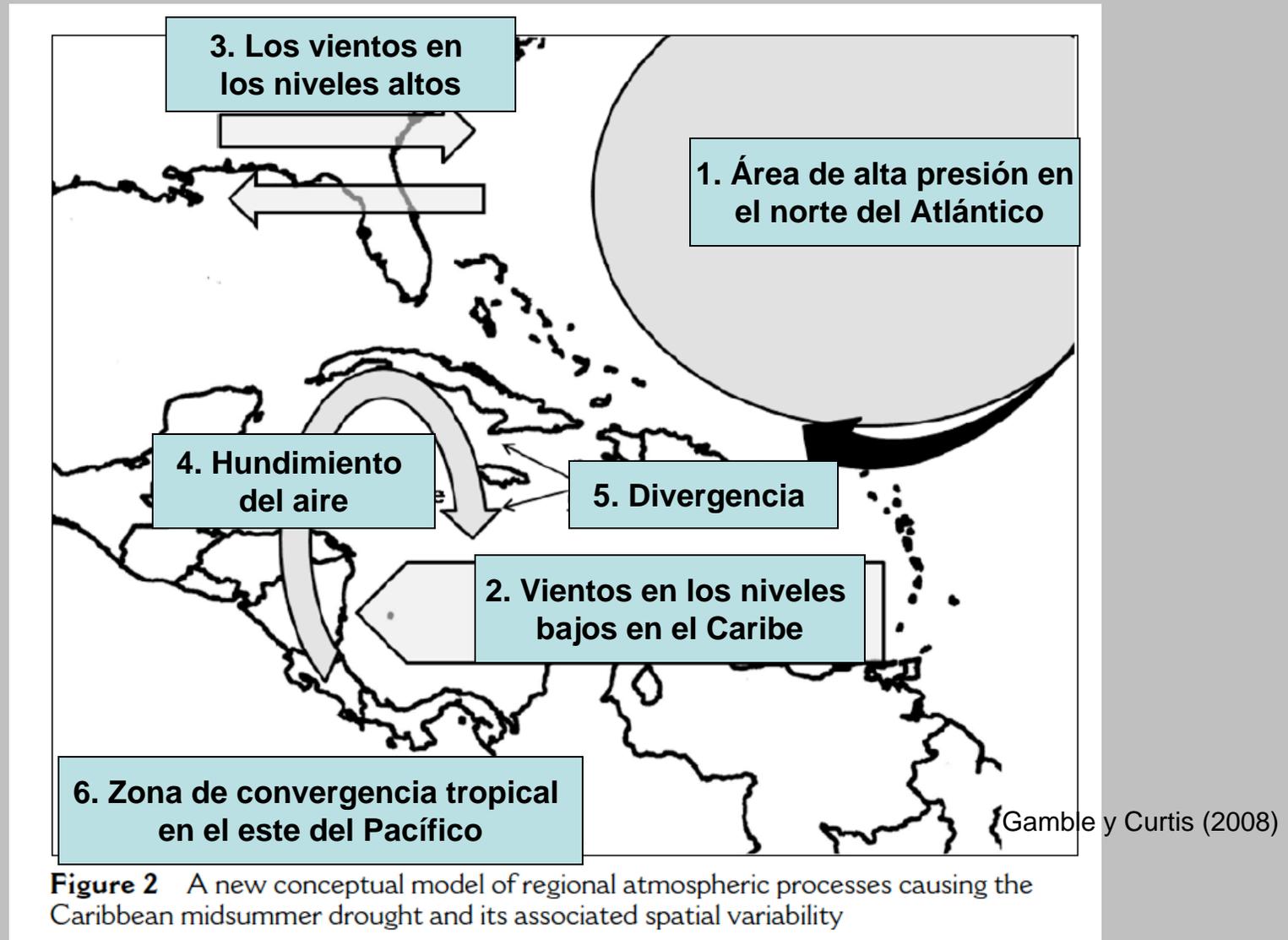


OBS - Pluviométricas JJA 1961 a 1990

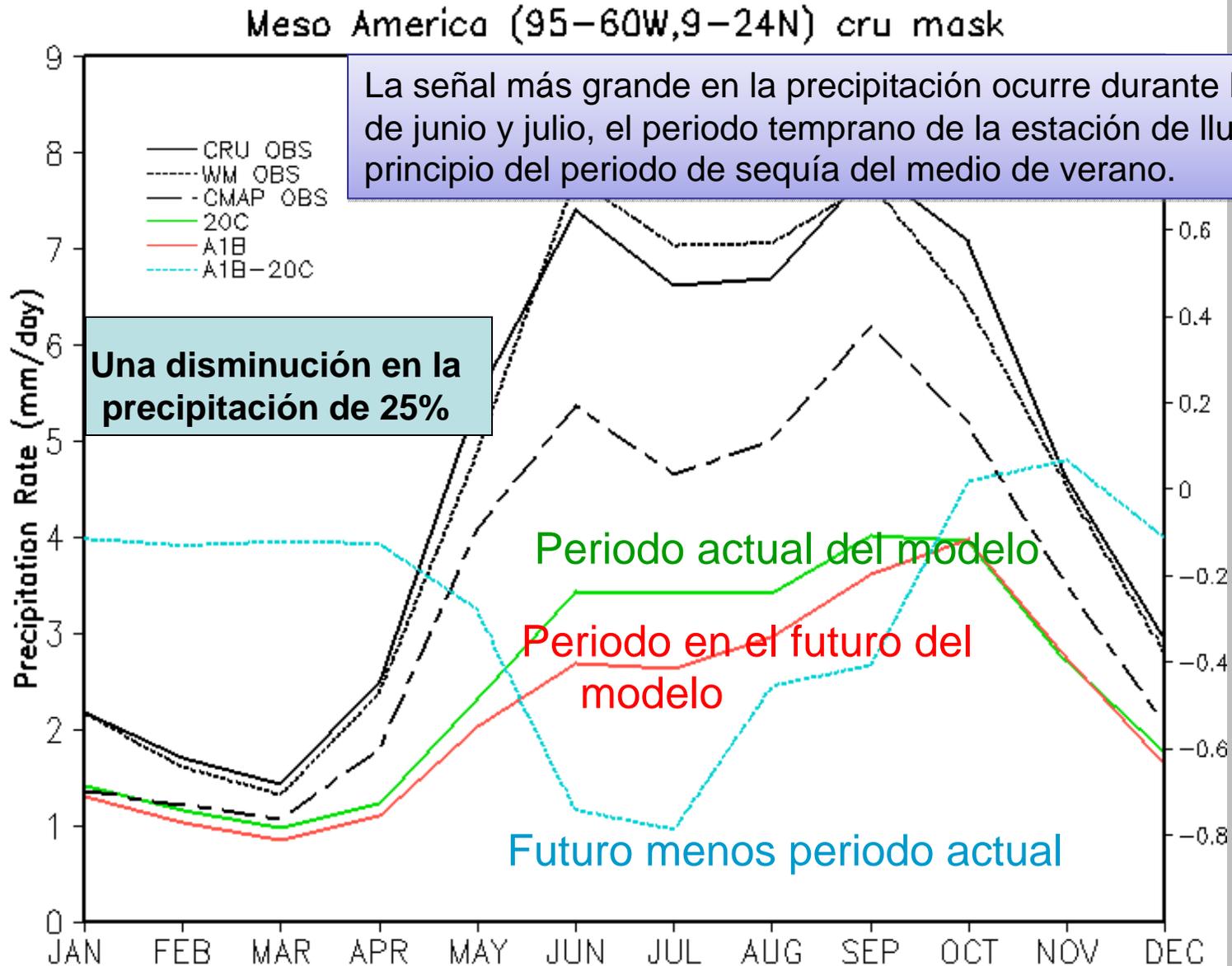


Cortesía de S. Raucher

Procesos y factores importantes del clima en la región del Centroamérica y el Caribe



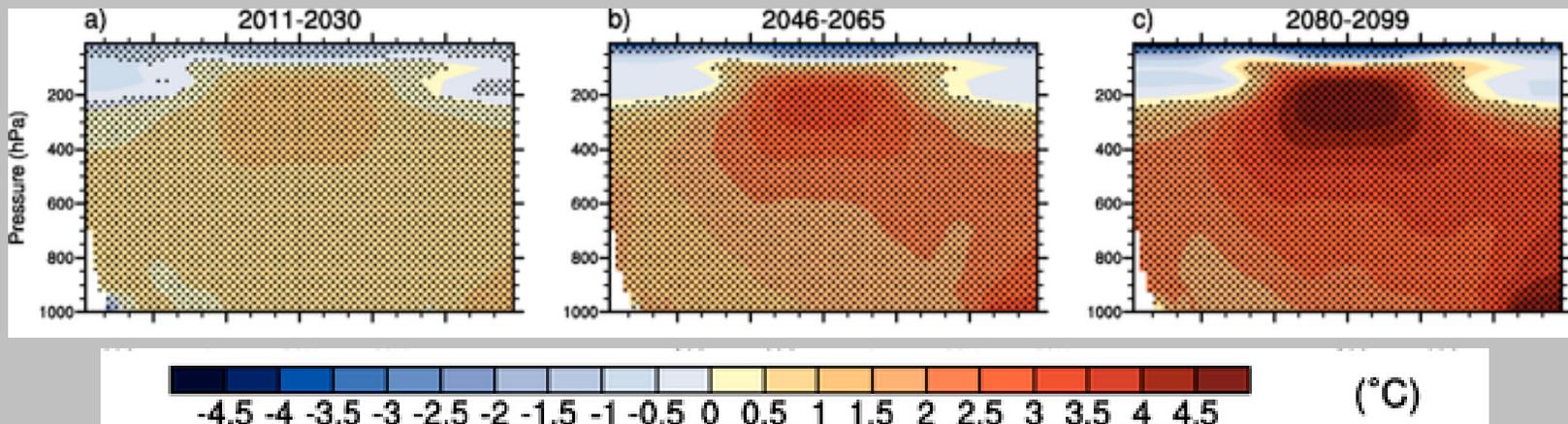
El cambio de precipitación en el ciclo anual



Cortesía de S. Raucher

Los cambios en la circulación general de la atmósfera y sus efectos en el Caribe según las simulaciones del IPCC

- *Un área más fuerte de alta presión en los subtrópicos y vientos más fuertes en el Caribe a los niveles bajos: una expansión e intensificación de los áreas de alta presión hacia los polos que corresponde a la expansión de la circulación Hadley.*
- *Un clima más seco y un cambio en la posición de la zona de convergencia en los trópicos hacia el sur: Harán cambios en la convección tropical en el mundo más caliente con más estabilidad en la atmósfera de los trópicos.*



El cambio en las temperaturas promedio en la atmósfera con respecto a la latitud en las simulaciones del IPCC (A1B). Las temperaturas promedio se calcularon con respecto al periodo 1980 a 1999.

Cortesía de S. Raucher

Patrones regionales de TSM también son importantes para aumentar el secado del clima en el Caribe

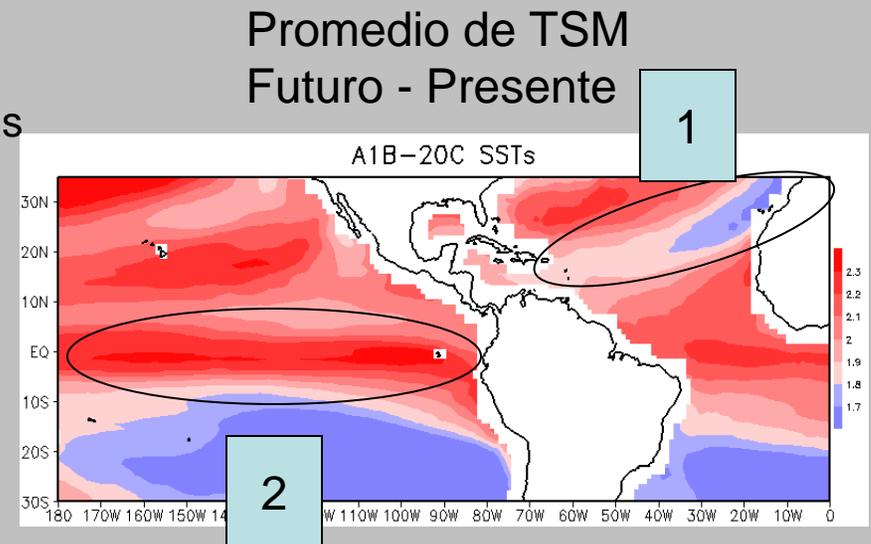
1) El mínimo en el calentamiento de TSM en el Atlántico del norte.

(Vecchi and Soden, 2007, Leloup and Clement, 2008)

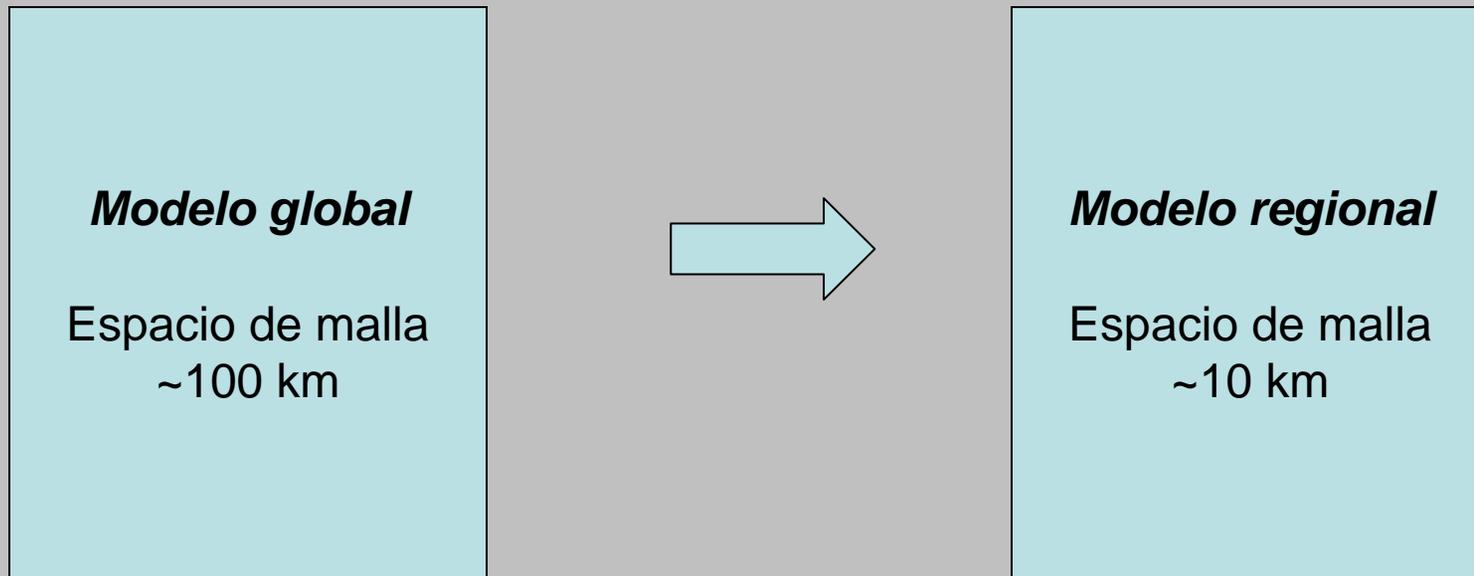
Contribuye a la estabilidad de la atmósfera, un área de alta presión más intensa, y vientos más fuertes en los niveles bajos en el Caribe.

2) Más frecuencia de El Niño en el Pacífico: (e.g., Held and Vecchi 2007a,b)

Contribuye a la posición de la zona de convergencia en los trópicos hacia el sur y vientos más intensos a los niveles altos en el Caribe.



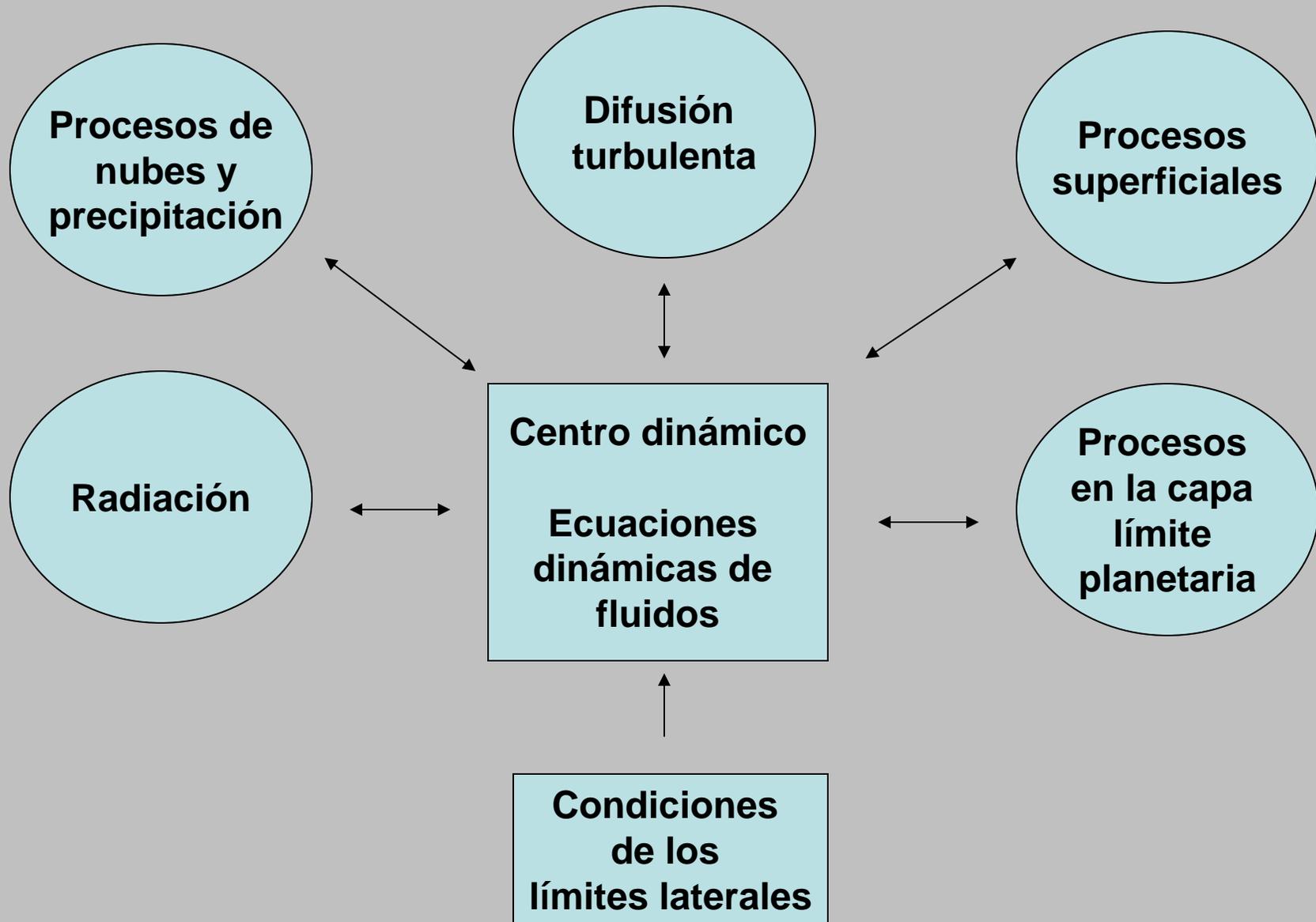
¿Se puede utilizar un modelo atmosférico regional para mejorar las proyecciones del cambio climático?



Como se puede aumentar el valor de las simulaciones:

- Una representación mejor del superficie de la tierra y la circulación de la atmósfera.
- Una representación mejor de los procesos en la atmósfera, como las lluvias convectivas

Componentes del modelo atmosférico regional



Los resultados de un estudio utilizando el modelo regional PRECIS por investigadores in Jamaica (Campbell et al. 2010)

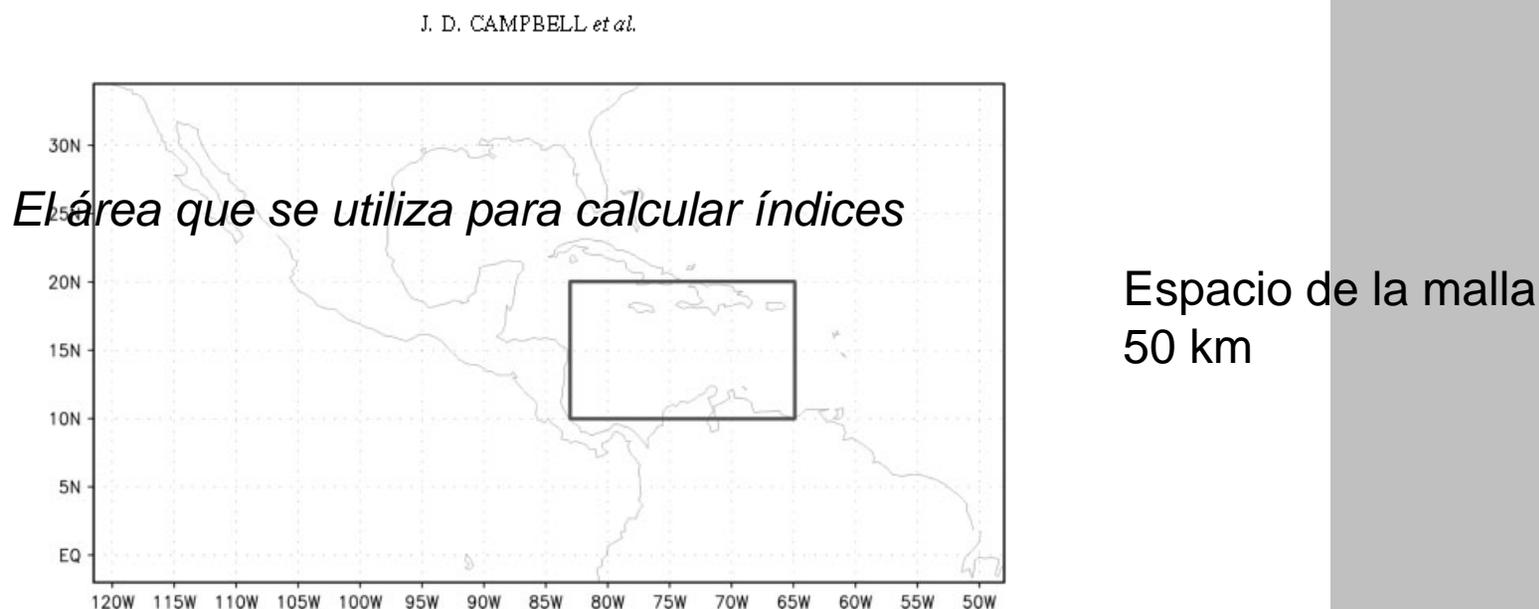
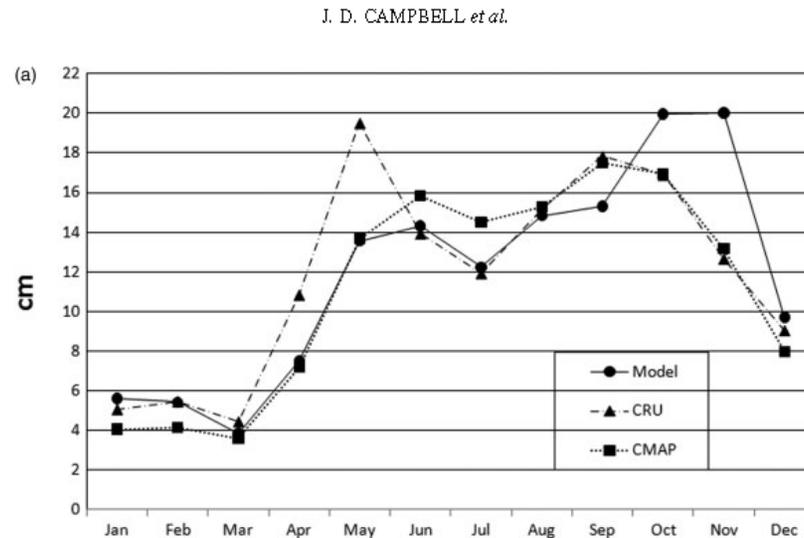


Figure 1. Map showing PRECIS domain over the Caribbean and adjacent Caribbean region. The box shows the Caribbean rainfall index domain as defined by Chen and Taylor (2002).

Se utiliza una de las tres modelos del IPCC (HadCM3) como el forzamiento al modelo regional para algunos escenarios de emisión. Consideran el periodo histórico (la parte posterior del siglo veinte) y el periodo del cambio climático (la parte posterior del siglo actual)

La simulación del clima del siglo veinte en comparación a las observaciones

Precipitación



Temperaturas

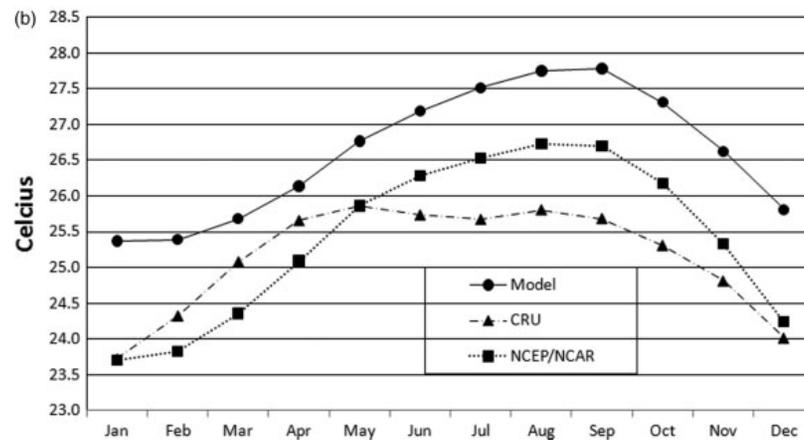


Figure 3. (a) Caribbean rainfall climatological time series, averaged over the area 10°N–20°N and 65°W–83°W, obtained from CMAP (dashed line with squares), CRU observations (dashed line with triangles) and PRECIS simulation (solid line with circles) for the period 1979–1990. Units are in cm. (b) Caribbean temperature climatological time series, averaged over the entire domain, obtained from NCEP–NCAR reanalysis (dashed line with squares), CRU observations (dashed line with triangles) and PRECIS simulation (solid line with circles) for the period 1979–1990. Units are in °C.

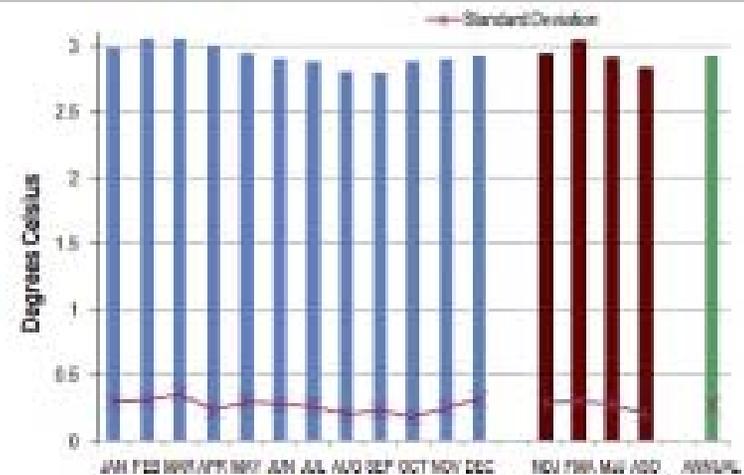
Los cambios simulados por el modelo regional en el Caribe utilizando el escenario de emisión A2 del IPCC

Precipitación



El máximo del secado se centra el verano. Más mojado al norte durante el invierno.

Temperatura



Un aumento en la temperatura de 3°C por todo el año

Los resultados son muy parecidos a los modelos globales que vimos antes.

¿Ya estamos enfrentando al fenómeno del cambio climático en las regiones agrícolas del Caribe? Un ejemplo de Jamaica

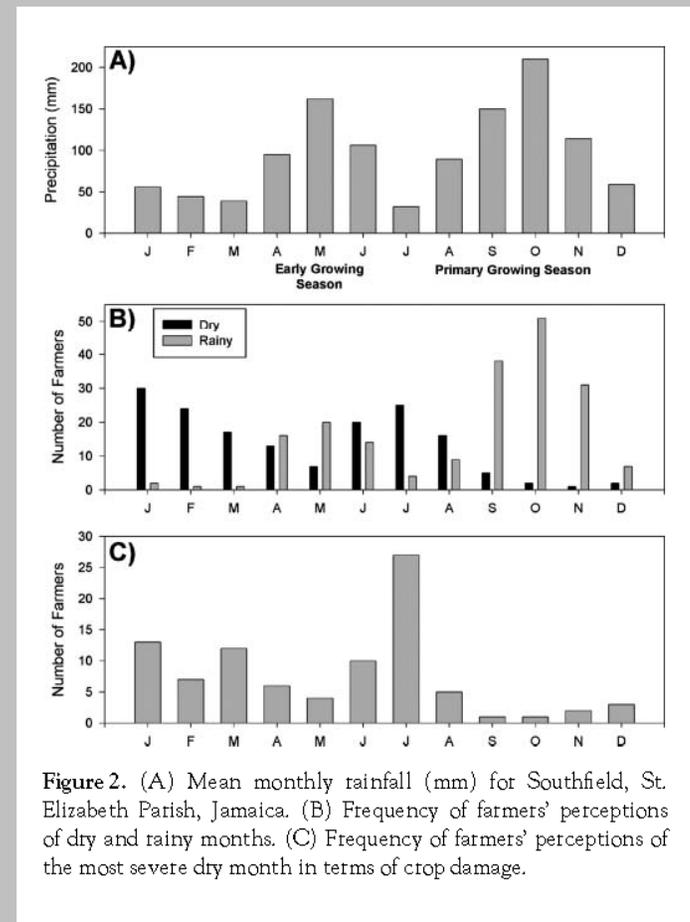
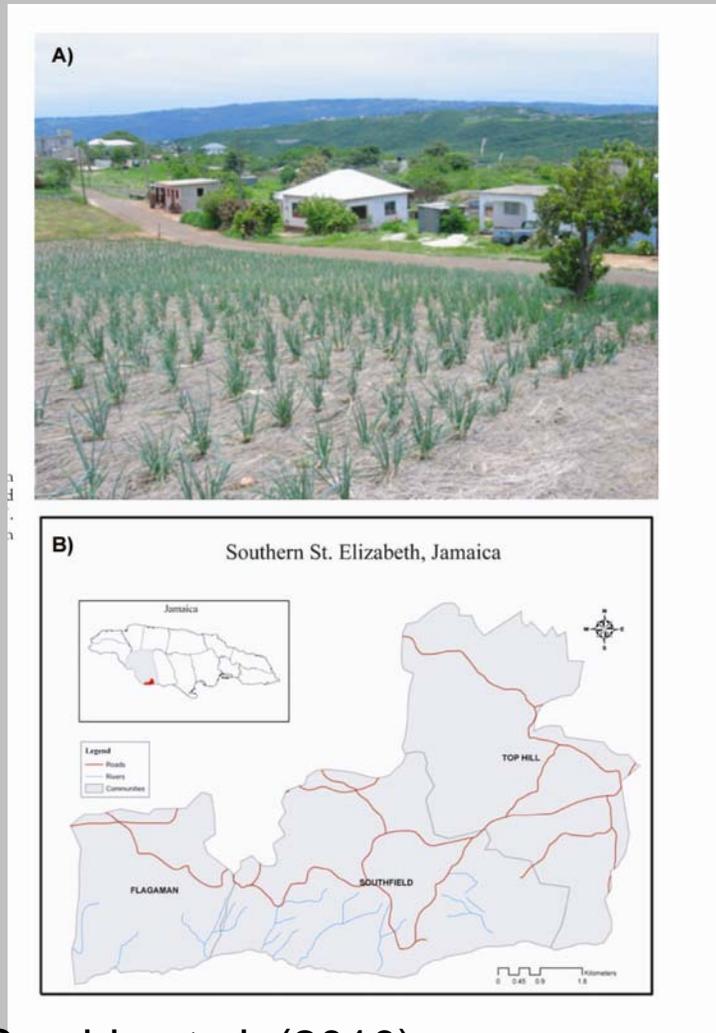
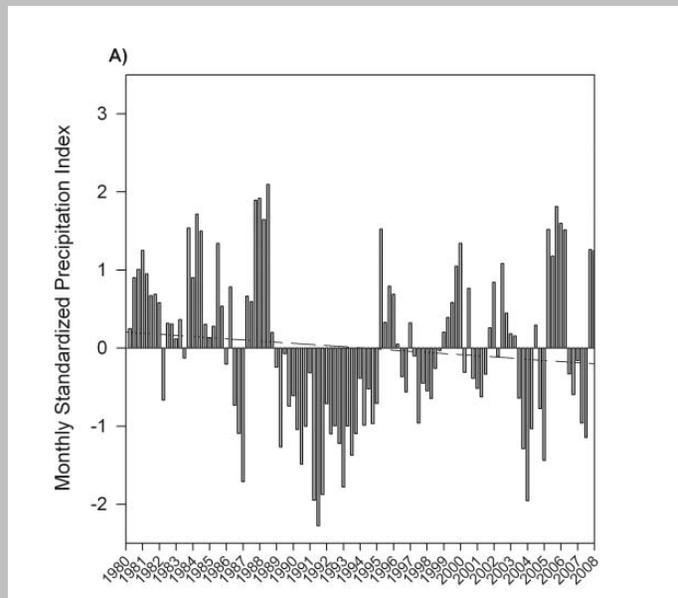


Figure 2. (A) Mean monthly rainfall (mm) for Southfield, St. Elizabeth Parish, Jamaica. (B) Frequency of farmers' perceptions of dry and rainy months. (C) Frequency of farmers' perceptions of the most severe dry month in terms of crop damage.

Gamble et al. (2010)

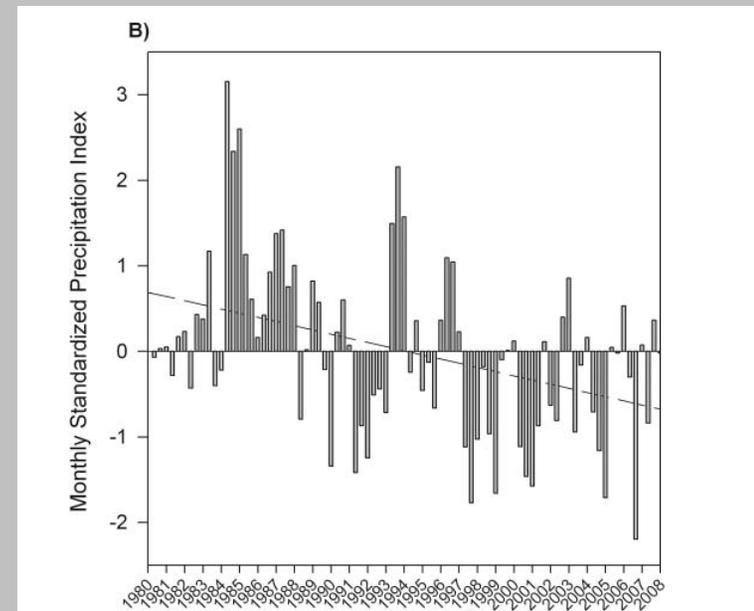
El cambio en la precipitación durante las estaciones de crecimiento de los cultivos Condado de St. Elizabeth, Jamaica (1980 a 2007)

*Estación principal de crecimiento
(agosto a noviembre)*



Una disminución
pequeña

*Estación temprano de crecimiento
(abril a julio)*



Una disminución estadística
significativa. Se afectan los
cultivos que crecen rápido y, por
eso, el sueldo de los agricultores

Las observaciones de las agricultores en Jamaica ya confirman las proyecciones de los modelos

Percepciones de las agricultores en el condado de St. Elizabeth, Jamaica de Gamble et al. (2010). Mi traducción del texto en inglés:

“Las percepciones de un aumento en la sequía tal vez reflejan los cambios relativos en las estaciones de crecimiento (de los cultivos): temprano (abril a junio) y principal (agosto a noviembre). Específicamente, muchos agricultores comentaron que la sequía está ocurriendo con más frecuencia durante la parte temprana de la estación de crecimiento en comparación a la estación principal. Particularmente, los agricultores dicen que la estación seca antes de la estación temprana de crecimiento se pone más larga y el periodo seco del medio del verano comienza más temprano. Por lo tanto, la estación temprana de crecimiento ahora se reduce a solo el mes de mayo.”

Si aceptamos que el cambio climático ya está pasado y afectando al Caribe, ¿qué se puede hacer?

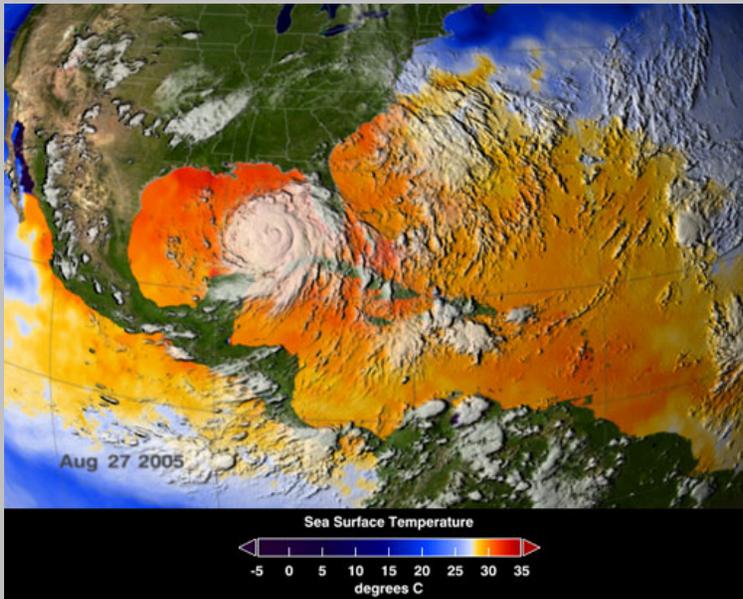
El cambio climático está ocurriendo y no se puede evitarlo.

Tal vez podemos mitigarlo por las reducciones de los gases del efecto invernadero, pero se requieren cambios socioeconómicos masivos y coordinados en la escala global. Esto depende mucho de las políticas de los países más grandes y más responsables por el cambio climático (EE.UU., China, y India). Los países más pequeñas y pobres casi no tienen ninguna influencia en estos procesos y sus propias reducciones de emisiones no son significativos.

La preparación y la adaptación es la mejor estrategia para enfrentarlo:

La Republica Dominicana necesita adaptar la infraestructura y las políticas económicas y agriculturas para mitigar los efectos negativos del cambio climático. El país necesita mejorar sus sistemas de mediciones ambientales para predecir los eventos extremos (principalmente los huracanes) y hacer proyecciones estacionales del clima.

The Continuously Operation Caribbean Observational Network: COCONet



Meghan Miller⁽¹⁾, Eric Calais⁽²⁾, Mike Jackson⁽¹⁾, GuoquanWang⁽³⁾, John Braun⁽⁴⁾

(1) UNAVCO

(2) Purdue University

(3) University of Puerto Rico at Mayaguez

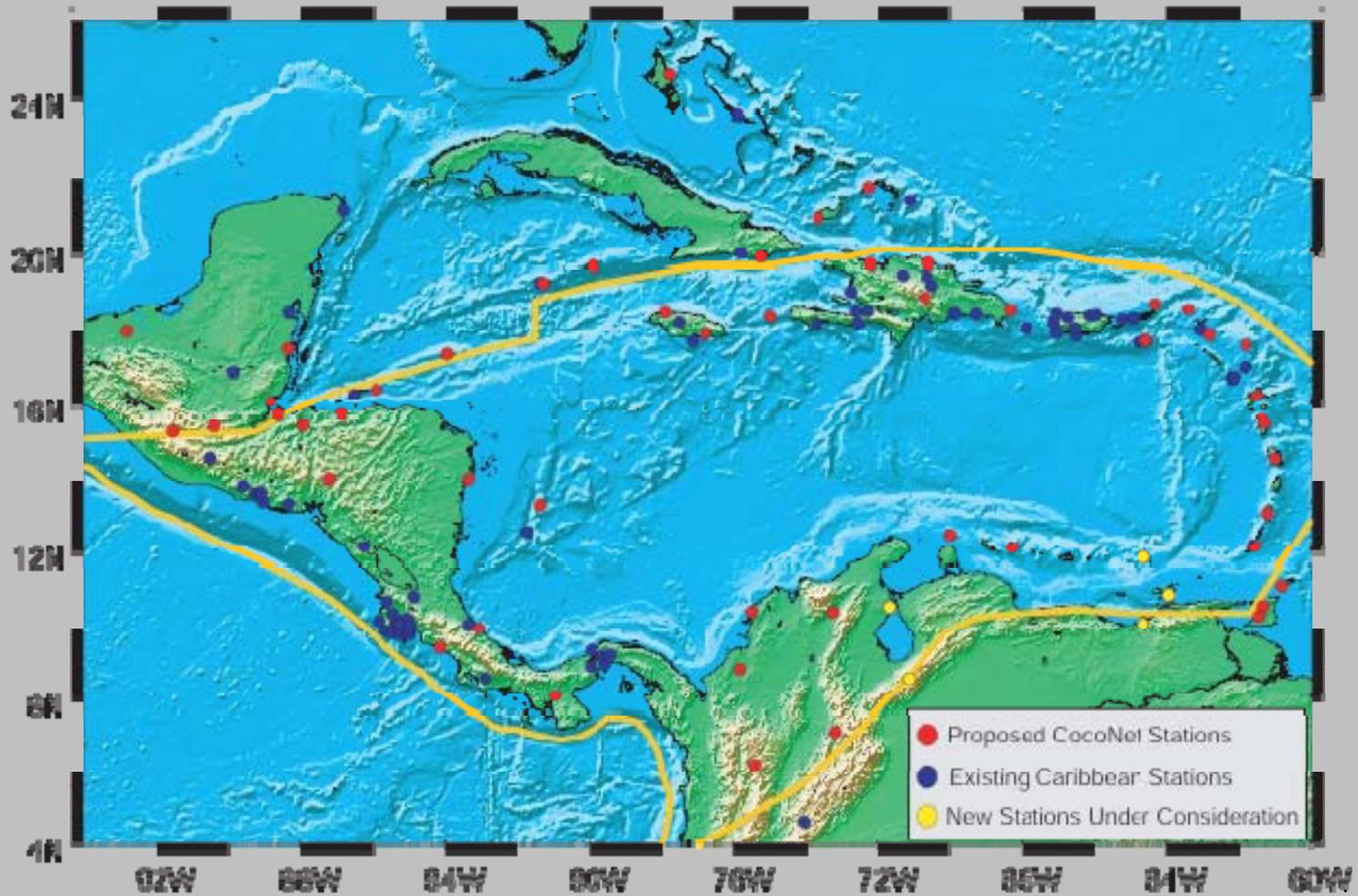
(4) COSMIC/UCAR

Instalaciones del GPS en el Caribe

Se pueden utilizar para medir la humedad de la atmósfera

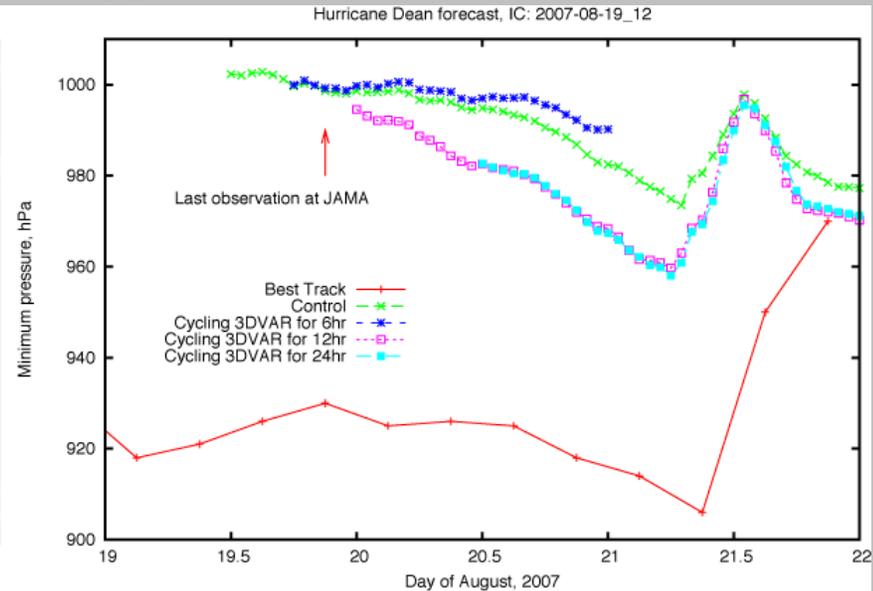
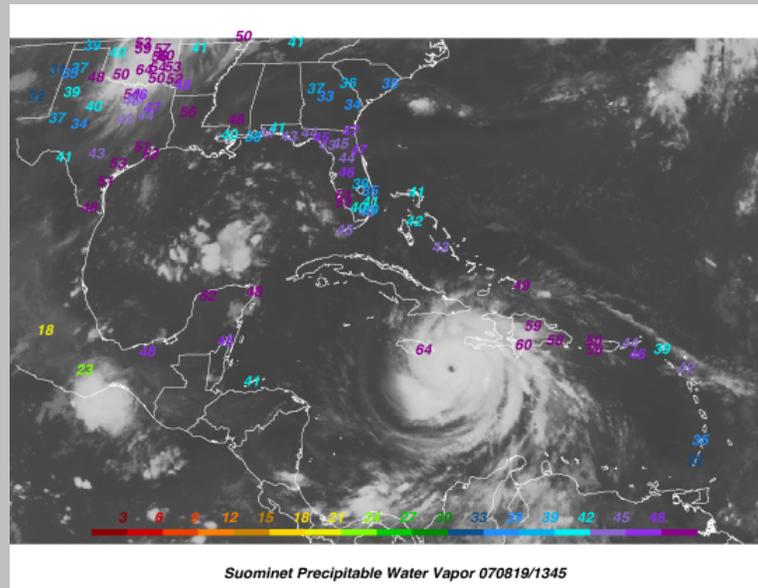


Estaciones propuestas de GPS en COCONet



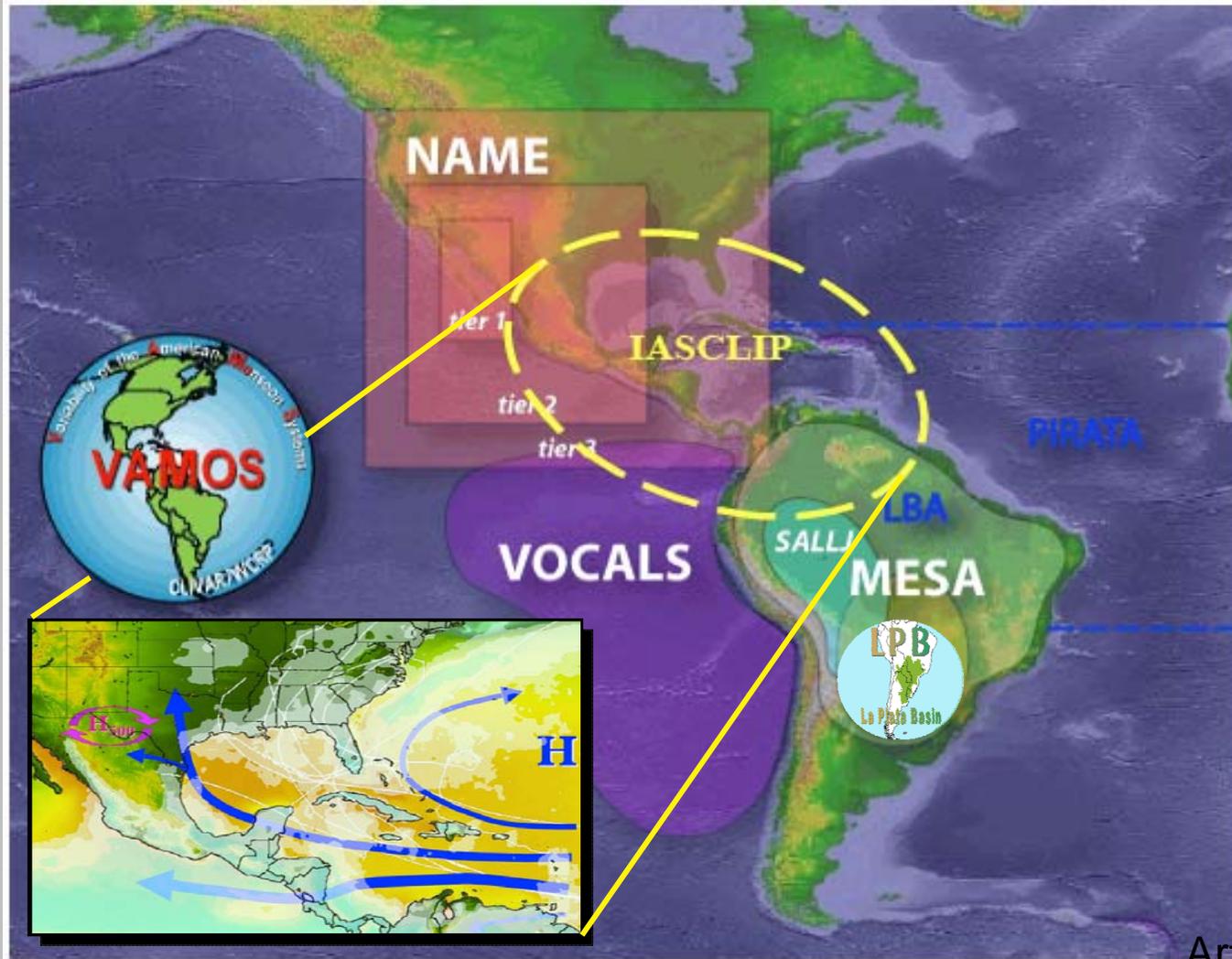
Las medidas de humedad atmosférica de los instrumentos de GPS puede mejorar los pronósticos de intensidad de los huracanes.

Dean - 2007



La asimilación de los datos de la humedad atmosférica de GPS en un modelo regional de alta resolución causa el desarrollo de un huracán más intenso en el pronóstico.

IASCLIP = Intra Americas Study of Climate Processes CLIVAR-VAMOS Monsoon Program (FY09 - FY14)



Art Douglas

¿Qué es IASCLIP?

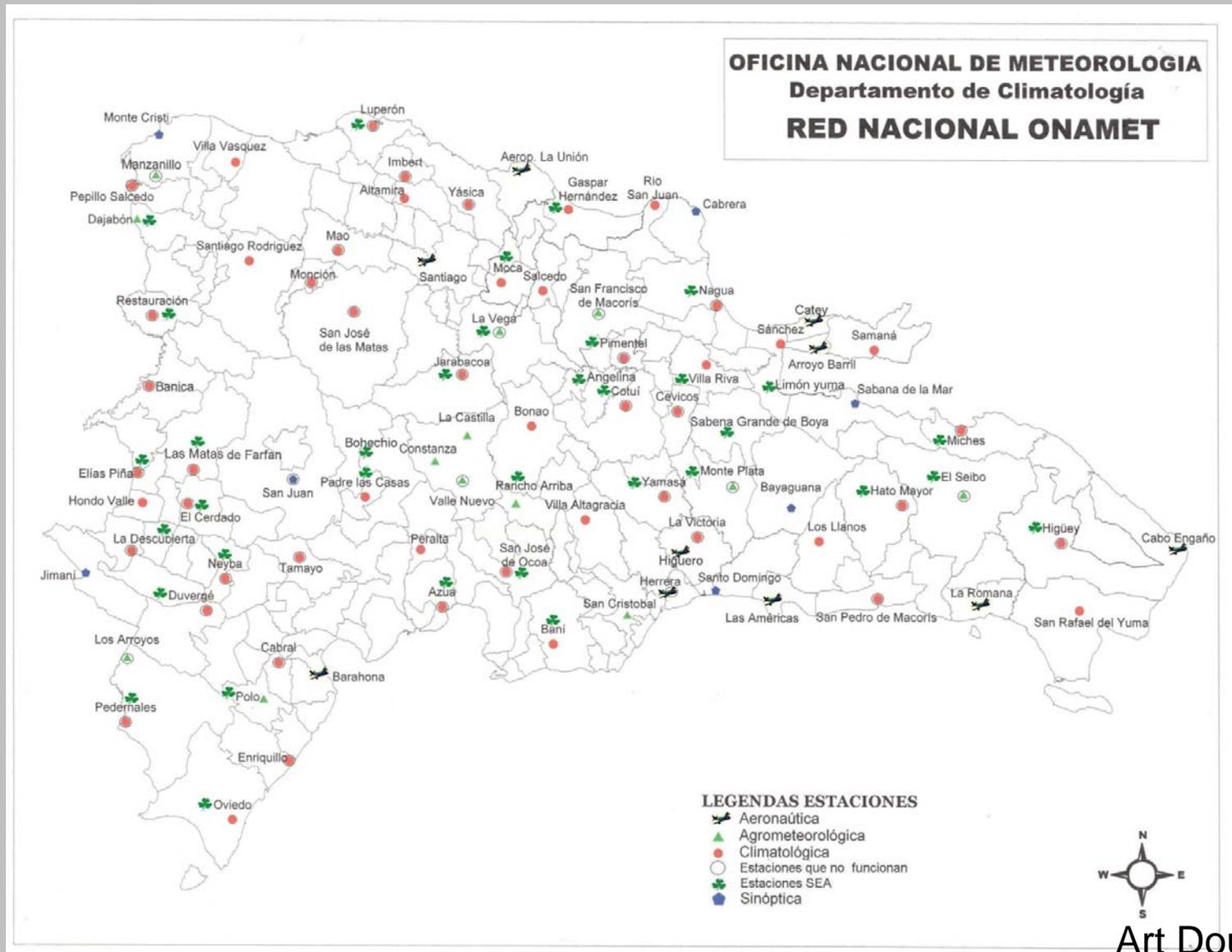
Un programa integrado de investigaciones de la atmósfera y el oceano que se enfoca en los impactos del tiempo y del clima en la región del pozo de agua caliente (Caribe y Pacífico del este). IASCLIP busca la participación de los gobiernos regionales y investigadores.

Objetivos

- El aumento de la red de las observaciones en el Caribe.
- El mejoramiento de la capacidad de modelación para hacer pronósticos del tiempo.
- El mejoramiento de la comprensión física del clima del Caribe.
- La respuesta social al clima

Art Douglas

La red propuesta en la Republica Dominicana para la medición de la precipitación y la detección de la sequía



Resumen y Conclusiones

La conclusión del IPCC es que el cambio climático es una realidad y está ocurriendo. Los sectores más vulnerables de la sociedad en el Caribe ya sienten sus efectos negativos, por ejemplo los agricultores en Jamaica.

Las proyecciones específicas para el Caribe incluyen:

Un aumento en el nivel del mar

Condiciones más secas, especialmente durante el verano

Menos huracanes, pero serán más intensas

Podemos explicar estos impactos por un área de alta presión más intensa en el Atlántico, cambios del TSM en el Caribe, y un aumento en la intensidad de los vientos a niveles bajos en el Caribe. El uso de un modelo atmosférico regional no cambia mucho estas proyecciones.

La Republica Dominicana necesita enfrentar el cambio climático por el mejoramiento de las mediciones ambientales y la adaptación de la infraestructura y las políticas socioeconómicas.