

Retana, José
Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la
adaptación al cambio en el clima
Revista de Ciencias Ambientales, vol. 44, núm. 1, julio-diciembre, 2012, pp. 5-16
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070687001>



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima

Extreme Hydrometeorological Events in Costa Rica from the Perspective of Adaptation to Climate Change

José Retana^a

^a El autor, El autor, ingeniero agrónomo, es investigador en climatología aplicada en el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica., Costa Rica, jretana@imn.ac.cr.

Director y Editor:

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

Consejo Editorial:

Enrique Lahmann, UICN , Suiza

Enrique Leff, UNAM, México

Marielos Alfaro, Universidad Nacional, Costa Rica

Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica

Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica

Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima

José Alberto Retana

El autor, ingeniero agrónomo, es investigador en climatología aplicada en el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.

Resumen

Los eventos hidrometeorológicos extremos que provocan mayores impactos por exceso de lluvias en Costa Rica son los huracanes del Caribe (efectos indirectos), los sistemas de bajas presiones y los frentes fríos. Los huracanes son los fenómenos que individualmente generan más precipitación. La mayor frecuencia de aparición es entre septiembre y noviembre y sus impactos normalmente se presentan en la vertiente del Pacífico. Los frentes fríos son los fenómenos más frecuentes. Se concentran entre diciembre y enero e impactan la Región Norte y el Caribe. Los sistemas de bajas presiones se presentan principalmente entre abril y noviembre y sus efectos se pueden sentir tanto en el Caribe como en el Pacífico. Los frentes fríos tienden a disminuir, lo que provocará escenarios más secos en el Caribe y la región Norte entre los meses de noviembre y febrero. Los sistemas de bajas presiones

Summary

The indirect effects from a Caribbean hurricane, low pressure systems and cold fronts, are the Extreme Hydrometeorological Events (EHE) that cause greater impacts due to excessive rains in Costa Rica. Hurricanes are the events that individually generate more precipitation. The highest frequency is between september and november and its impacts are in the Pacific side. Cold fronts are the most common phenomena. Usually, they are concentrated between december and january and impact the northern and the Caribbean regions. The low pressure system occurs between April and November and its effects can be felt in the Caribbean and the Pacific. Cold fronts tend to decrease. That means progressive drier scenarios in the Caribbean and Northern Region between november and february. The low pressure systems

Introducción

El clima debe ser entendido desde una nueva perspectiva con el fin de adecuar su significado al marco del actual calentamiento global y a las acciones de adaptación que se deben emprender. Clásicamente, el clima se ha conceptualizado como el valor medio de los diferentes elementos meteorológicos que caracterizan una región. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha recomendado un registro de por lo menos 20 años para obtener promedios robustos de los valores climáticos. Hasta hace poco tiempo, esta definición monolítica soportaba la idea de un clima poco cambiante, estable y constante en el tiempo. Sin embargo, durante la segunda mitad del siglo XX se produjo una gran cantidad de estudios científicos sobre variabilidad climática que surgieron a partir de la influencia de las fases de El Niño Oscilación Sur. El aumento del conocimiento de El Niño y los diferentes fenómenos de variabilidad climática empezaban a erosionar el mal entendido concepto de un clima estático. A finales del siglo pasado, los pensamientos, teorías y primeros estudios sobre el cambio climático

y huracanes del Caribe también tienden a disminuir, sin embargo la tendencia de los últimos 30 años muestra un leve aumento. Estas características de los eventos hidrometeorológicos extremos debe ser base para estrategias de adaptación sectorial.

Palabras clave: eventos extremos, variabilidad climática, cambio climático, adaptación.

and hurricanes in the Caribbean, also tend to decrease, but the trend of the past 30 years shows a slight increase. These features of the EHE should be the basis for adaptation strategies.

Key words: extremes events, weather variability, climate change, adaptation.

acuñados en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático descubren la verdad de un clima dinámico, evolutivo y altamente sensible a motores de cambios exógenos como la radiación solar, cambios orbitales de la Tierra, y a cambios endógenos como la actividad volcánica y las acciones contaminantes del hombre.

El clima es la expresión final de un conjunto de elementos atmosféricos que varían su magnitud desde valores centrales hasta extremos. Las oscilaciones de estos elementos a lo largo del tiempo han contribuido a modelar paisajes a través de su acción erosiva, de arrastre y sedimentación. Han dado soporte a ecosistemas complejos, donde las interrelaciones de sus miembros han sido construidas a lo largo de cientos de años de coexistencia bajo rangos climáticos específicos. Han definido también el curso de las actividades productivas del hombre, condicionando patrones sociales y culturales, impregnando un aire particular a cada región del planeta. El clima varía,



Río Sixaola Costa Rica. Comisión Nacional de Emergencias

evoluciona y cambia, transformando la vida que de él depende. Las variaciones del clima sostenidas en el tiempo hacen migrar especies, fortalecer y desaparecer otras, transformar y adaptar aquellas de respuestas elásticas. El clima es un modulador de vida.

Una de las características de este clima oscilante y que más influye en los sistemas de vida es los eventos extremos. Algunos autores (IPCC, 2007; Houghton et al., 2001) los definen como fenómenos raros en determinado lugar y época del año con bajas frecuencias de aparición de acuerdo a su curva de distribución estadística. De acuerdo con esta definición, las granizadas en los cerros altos de Costa Rica son eventos extremos. Sin embargo, en la actualidad los eventos extremos están referidos principalmente por la magnitud del impacto y no tanto por la frecuencia con que aparecen (IMN-CRRH, 2008; DPA 2007, citando reportes de la OMM; Salinger and Penehuro, 2005). Dependiendo de la magnitud del fenómeno y la vulnerabilidad del sistema, el impacto final puede ser catastrófico, afectando sensiblemente la estabilidad socioeconómica de los países. Por

tanto, el efecto indirecto de un huracán en Costa Rica puede ser considerado un evento extremo solo si causa un impacto negativo en los sistemas, aun cuando el fenómeno atmosférico sea frecuente durante los meses de junio a noviembre en la cuenca del Caribe.

Los eventos extremos deben ser entendidos en tres direcciones: el fenómeno de variabilidad climática que se presenta, su intensidad y su consecuencia. De esta forma, no todos los fenómenos meteorológicos de variabilidad climática producen un evento extremo. Un frente frío puede solo generar un aumento en la velocidad de los vientos y baja temperatura sin que la precipitación asociada a él cause mayores impactos. Un evento de El Niño no siempre trae como consecuencia una sequía. El paso de un huracán cerca de nuestras costas no representa siempre una inundación. Incluso, fenómenos meteorológicos de moderada intensidad pueden desencadenar desastres en un sistema altamente vulnerable. Por tanto, fenómeno, magnitud y consecuencia hacen en su conjunto un evento extremo.

Ahora bien, los eventos extremos pueden estar referidos a cualquier elemento del clima, desde la precipitación hasta la temperatura o el viento. Los eventos hidrometeorológicos extremos están referidos solo a aquellos que involucran alguna forma de precipitación (líquida o sólida) y relacionados con sus valores umbrales o extremos, tanto el déficit como el superávit. Los eventos hidrometeorológicos extremos que producen un exceso de lluvia en Costa Rica pueden ser producto de frentes fríos, tormentas locales o efectos indirectos de sistemas ciclónicos, entre muchos otros. Sus consecuencias van desde inundaciones hasta erosiones edáficas y estructurales por arrastre o fricción de agua.



Quepos, Costa Rica. Comisión Nacional de Emergencias



Río Sixaola, Costa Rica. Comisión Nacional de Emergencias

Los eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en el futuro tienen una alta probabilidad de que aumenten su frecuencia y magnitud como producto del calentamiento global (IPCC, 2007; Klein et al., 2009). Obviamente, el comportamiento medio de los elementos climáticos va a cambiar en un futuro, si sus extremos varían. Aquí tenemos entonces dos panoramas de adaptación: uno a largo plazo marcado por la variación de las clases centrales del clima, donde las medidas de adaptación autónoma propia de la evolución de los sistemas aparecerán espontáneamente; y, por otra parte, la urgencia de una adaptación a corto plazo, por motivo de la variación de las clases extremas del clima que son más desgastantes que las variaciones medias, exige una mayor planificación y comprensión. Ante ambos panoramas el conocimiento del clima actual, la experiencia pasada por la atención de emergencias y las proyecciones modeladas del clima futuro, son las prime-

ras armas para diseñar una estrategia coherente de adaptación. Nos enfrentamos a un conjunto de episodios meteorológicos de gran magnitud, sostenidos en el tiempo, que son altamente erosivos del sistema social y productivo, pudiendo debilitar cualquier orden social no preparado.

En este artículo se presentan características importantes de los tres eventos de lluvia extrema más importantes en nuestro país, sus tendencias en las últimas décadas y las perspectivas futuras proyectadas por los escenarios de cambio climático. Este detalle de información puede servir de base para la toma de decisiones que deben anexarse a estrategias de adaptación sectorial ante el cambio de clima.

Metodología

De la base de datos sobre eventos extremos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se extrajo información sobre huracanes, bajas presiones y frentes fríos que han impactado al país entre 1980 y 2007. La fuente de información de esta base de datos son los boletines meteorológicos mensuales, y se hace referencia solo a eventos hidrometeorológicos que han causado algún impacto en la economía o la sociedad costarricenses. A partir de la ubicación temporal y espacial de los fenómenos atmosféricos, se estableció una relación con el percentil 90 de la precipitación mensual y anual de 48 estaciones meteorológicas de la base de datos del IMN, representativas de las zonas afectadas. Las estaciones meteorológicas seleccionadas cuentan con un registro cercano a los 50 años (1960-2010) y permiten tener una cobertura aceptable del territorio nacional, dividido en las seis regiones climáticas (tabla 1). La mayor parte de estas estaciones no presentan cambios tecnológicos ni de ubicación, a pesar de lo cual algunas han variado a formato automático y otras han cerrado entre el 2008 y el 2010.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas seleccionadas.

Nº	Región climática	Estación	Número	Latitud	Longitud	Promedio precipitación anual (mm)
1	Región Norte	San Miguel de Sarapiquí	69506	1019	8411	4429
2		Ciudad Quesada	69510	1020	8426	4542
3		Zarcero	69512	1011	8424	1695
4		Quebrada Azul	69515	1024	8428	3296
5		Upala	69538	1054	8501	2409
6	Pacífico Norte	Peñas Blancas	69534	1113	8537	1745
7		Nicoya	72101	1000	8520	2158
8		Santa Cruz	74003	1016	8535	1754
9		Liberia	74020	1036	8532	1590
10		Tilarán	76002	1028	8458	1965
11		Monteverde	78002	1018	8448	2545
12		San Miguel de Barranca	80002	1000	8442	2015
13		Cascajal de Orotina	84067	1000	8358	2607
14	Pacífico Central	Palo Seco	88004	932	8418	3035
15		Pócares	90001	931	8415	2901
16		Quepos	90003	926	8409	3829
17		Cerritos	90005	930	8409	3917
18		Bartolo	92001	926	8406	3890
19		Llorona	92002	924	8405	3910
20		Palmar Sur	98002	857	8328	3623
21		San Vito	98007	850	8259	3686
22	Pacífico Sur	Repunta	98009	918	8339	2598
23		Cedral	98010	922	8333	4328
24		Golfito	100034	839	8311	4982
25		Coto 47	100035	836	8259	4056
26		Coto 44	100058	835	8259	3962
27		Coto 49	100062	838	8259	4459

Nº	Región climática	Estación	Número	Latitud	Longitud	Promedio precipitación anual (mm)
28	Región Central	Sanatorio Durán	73011	956	8353	1478
29		Linda Vista	73018	950	8358	1431
30		Pacayas	73022	955	8349	2224
31		Paraíso	73024	950	8352	1863
32		Villa Mills	73033	934	8343	2632
33		Asunción	83003	954	8310	3908
34		San José	84000	956	8405	1896
35		La Argentina	84003	1002	8421	2083
36		Atenas	84004	959	8423	1880
37		Avance, Tres Ríos	84005	956	8358	2565
38		Hacienda Concepción	84006	955	8400	2402
39		Naranjo	84016	1006	8423	2369
40		Rancho Redondo	84018	957	8357	2484

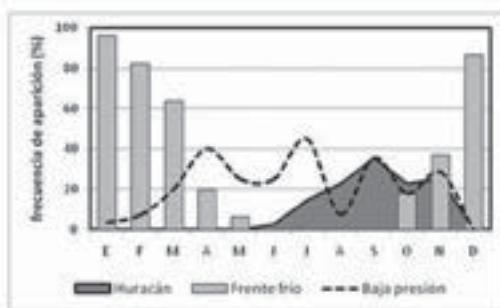
Se trabajó con los valores mensuales de lluvia ya que, de acuerdo con Retana y Villalobos (2000, 2003) y Retana (2010), normalmente se puede capturar la señal de los eventos extremos diarios en los valores mensuales e incluso anuales. Se parte del supuesto de que la lluvia que excede el promedio mensual corresponde con la lluvia aportada por el fenómeno de variabilidad. De esta forma se caracterizó cada evento en cuanto a su magnitud, frecuencia de aparición, aporte al total de la lluvia anual, regiones del país históricamente más afectadas y tendencia histórica del período de estudio. Las características de estos eventos extremos se relacionaron con algunos de los resultados generados por estudios de escenarios de cambio climático para Costa Rica desarrollados por Alvarado et al. (2011).

Resultados

Período 1980-2007

De acuerdo con lo ya observado por IMN-CRRH (2008), los tres fenómenos océano-atmosféricos que causan mayor impacto por lluvias en el país son los sistemas de bajas presiones, el impacto indirecto de huracanes del Caribe y los frentes fríos. En la figura 1 se presenta la frecuencia mensual de cada uno de estos eventos.

Figura 1. Frecuencia mensual de tres fenómenos meteorológicos. 1980-2007. Costa Rica (IMN-CRRH, 2008).

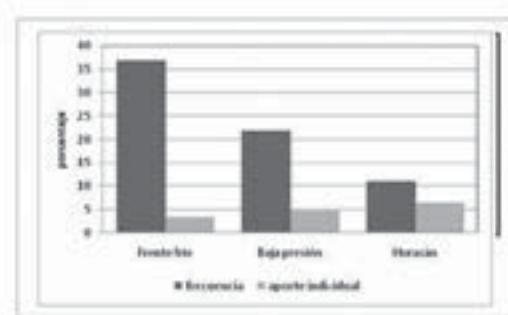


Los frentes fríos se presentan entre noviembre y marzo, pero excepcionalmente se han registrado en forma temprana en octubre (1989, 1990), o tan tarde como abril o mayo (2000-2005 y 1992). Los meses de mayor probabilidad de aparición son diciembre y enero. Los sistemas de bajas presiones se distribuyen más uniformemente a lo largo del año, pudiendo presentarse desde enero hasta diciembre, siendo entre abril y noviembre el período de mayor probabilidad de aparición. Los huracanes tropicales del Caribe se concentran entre junio y noviembre y es entre septiembre y noviembre cuando la probabilidad de su influencia es mayor. Cada uno de estos tres eventos tiene un espacio geográfico de afectación. Mientras que los frentes fríos impactan sobre las regiones Norte y Caribe y ocasionalmente la Central, los sistemas ciclónicos que se producen en el Caribe (desde bajas presiones, tormentas tropicales y huracanes tropicales) normalmente impactan sobre el litoral pacífico de Costa Rica. Los sistemas de bajas presiones pueden presentarse tanto en el mar Caribe como en el océano Pacífico y sus efectos se localizan en la vertiente correspondiente.

Tal y como se presenta en la figura 2, no existe proporcionalidad entre la frecuencia de aparición de estos eventos y su aporte individual a la lluvia anual. Los frentes fríos son los fenómenos más frecuentes para el período estudiado, pero no son el evento que individualmente produce más lluvia. Mientras que entre 1980 y 2007 los frentes fríos aparecieron en un 37% del total de casos de eventos hidrometeorológicos extremos, cada frente frío aportó a la lluvia anual tan solo un 3%. Por otra parte, el huracán tropical es el fenómeno que individualmente aporta más lluvia. Su frecuencia de aparición en el período de estudio fue de apenas un 11%, pero el aporte de cada uno de estos eventos fue de un 6% de la lluvia anual. A pesar de ser sistemas ciclónicos que generan vientos de gran velocidad (desde 118 a 249 km/h), el impacto que se percibe en Costa

Rica es indirecto, por lo que el efecto que se produce es básicamente debido a la gran cantidad de agua precipitada. De acuerdo con Pacheco (2011), los huracanes Joan (1988), César (1996), Mitch (1998) y Tomás (2010) han sido cuatro de los más destructivos que han afectado al país. Tomás es el sistema que mayor precipitación provocó durante los cinco días de afectación: 1 800 mm promedio por estación meteorológica (Pacheco, 2011), y dejó las mayores pérdidas económicas en la historia: 142 mil millones de colones (Alfaro, 2011).

Figura 2. Frecuencia (número de eventos entre 1980-2007) y magnitud (precipitación que excede el promedio por evento individual) de tres tipos de fenómenos meteorológicos.



En el caso de los sistemas de bajas presiones, al año se pueden presentar más de dos de ellos que pueden generar eventos extremos. Su ventana de aparición es amplia, ocho meses, y su poder de descarga es significativo. Muchas de las emergencias que se atienden en el país producto de inundaciones han sido generadas por sistemas de bajas presiones frente a nuestras costas. De acuerdo con lo que reporta Flores et al. (2010), el 14% de los eventos de lluvias fuertes (excluyendo eventos ciclónicos) que han provocado situaciones de emergencia en el período 1988-2009 se pueden asociar con sistemas de bajas presiones. En el cuadro 2 se presentan algunas estadísticas de estos tres fenómenos océano-atmosféricos cuando han generado eventos extremos.

Cuadro 2. Características de eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos.
Costa Rica. 1980-2007.

Fenómeno	Número de eventos promedio por año	Aporte de lluvia con relación al promedio anual (%)	Meses de mayor frecuencia	Regiones climáticas más afectadas	Tiempo de afectación promedio (días)
Frente frío	4	3,4	De diciembre a enero	Caribe, región Norte y valle Oriental	2,8
Baja presión	2	4,9	De abril a noviembre	Pacífico Norte, Pacífico Central, valle Occidental	2,9
Huracán tropical del Caribe	1	6,5	De septiembre a noviembre	Pacífico Central, Pacífico Norte y región Norte	4,0

Tendencias

Un período de registro de eventos hidrometeorológicos de 30 años por sí solo no puede ser un indicador del cambio climático a pesar de que los valores promedio hayan variado. Se requieren registros más extensos que capturen señales de variabilidad climática de muy amplia frecuencia para obtener estadísticas robustas que justifiquen los cambios encontrados. Sin embargo, esto no quiere decir que la información de estos registros no deba ser utilizada en el tema del calentamiento global actual. Los cambios y las tendencias de los eventos extremos se deben entender como uno de los retos más importantes que enfrenta nuestra sociedad en el marco del cambio de clima (Klein et al., 2009).

Las tendencias de fenómenos que evidencien alteraciones importantes en los eventos hidrometeorológicos extremos deben ser base para establecer planes, programas y estrategias de adaptación en el corto y mediano plazo. No se puede esperar a encontrar la explicación sobre el origen de un evento para tomar medidas preventivas ante sus efectos. Además, hasta que no se altere la dinámica atmosférica a raíz del calenta-

miento global, los fenómenos de variabilidad que hemos conocido se seguirán presentando en las próximas décadas. En el caso de los tres fenómenos de variabilidad analizados en este estudio las tendencias estadísticas se presentan en las figuras siguientes.

Figura 3. Tendencia anual de frentes fríos asociados con eventos extremos en Costa Rica.

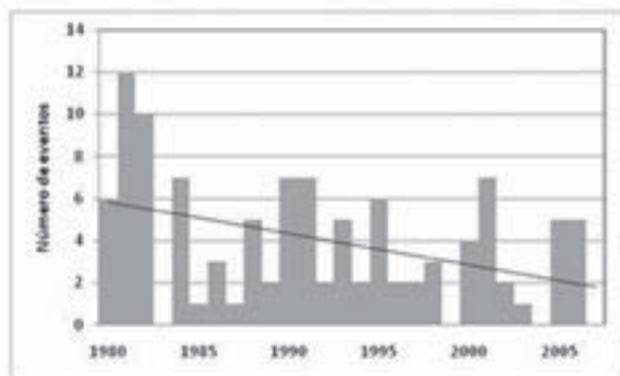


Figura 4. Tendencia anual de sistemas de baja presión asociados con eventos extremos en Costa Rica.

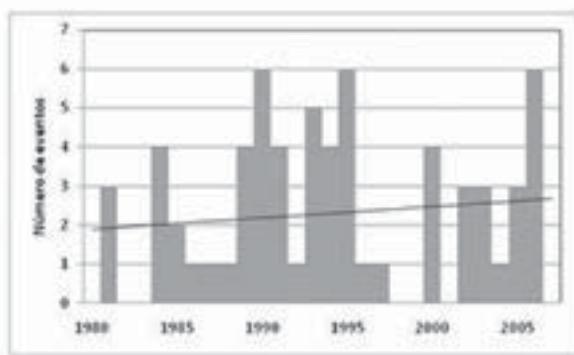
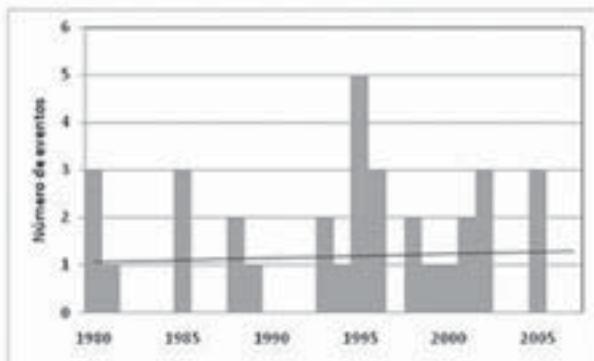


Figura 5. Tendencia anual de huracanes tropicales del Caribe asociados con eventos extremos en Costa Rica.



Los frentes fríos muestran una tendencia de disminución en las dos últimas décadas. Zárate (2005), IMN-CRRH (2008) y Alvarado (2011) concuerdan en que los frentes fríos han disminuido en la región centroamericana. De hecho, el ciclo 2011-2012 se caracterizó por la ausencia casi total de frentes que impactaran nuestro país. Solo se presentó uno en enero de 2012 cercano a Costa Rica y provocó inundaciones aisladas en Guatuso (IMN 2011, 2012).

Los sistemas de bajas presiones y huracanes del Caribe tienen una leve tendencia de aumento, aunque no es significativa. Igualmente, Alfaro y Quesada (2010) no encuentran evidencia estadís-

tica del aumento en el número de huracanes en el Caribe que afecten a Costa Rica. El IPCC (2007) advierte que los cambios en la frecuencia e intensidad de tormentas tropicales y huracanes están influenciados por la gran variabilidad que se ha presentado. Aun así, el número de huracanes en el Atlántico Norte ha estado por encima de su valor promedio en los últimos años.

Perspectivas

Alvarado et al. (2011) actualizaron el escenario climático futuro para Costa Rica mejorando la resolución espacial. Una de las explicaciones que los autores dan para justificar el resultado de una disminución de la precipitación en la región Norte y el Caribe entre los meses de noviembre y febrero es precisamente la disminución en la incursión de frentes fríos a nuestro país. El análisis de los resultados modelados matemáticamente concuerda con lo observado en los últimos 27 años. La tendencia es coherente entre lo observado y lo proyectado.

En el caso de los sistemas de baja presión y los efectos indirectos de huracanes en el Caribe, Alvarado et al. (2011) no particularizan su comportamiento. Sin embargo, de acuerdo con las disminuciones de la precipitación simuladas por el modelo para la temporada de lluvias de las regiones del Pacífico, los autores suponen condiciones similares pero más permanentes a las que se producen cuando se desarrolla un fenómeno de El Niño: el monzón desaparece, lo mismo que los oestes ciclónicos (debido a la ausencia de huracanes en el mar Caribe). Esta proyección no concuerda con las tendencias mostradas en los últimos años.

Conclusiones

En términos de adaptación, las evidencias presentadas pueden ser base para conducir acciones coherentes. Evidentemente, se debe hacer

análisis más profundos y dar seguimiento a los resultados. La tendencia pasada y la proyección futura sobre el impacto de frentes fríos presentan el mismo signo. Esto quiere decir que la variabilidad climática experimentada en las últimas décadas se seguirá repitiendo con una tendencia continua de disminución. De hecho, existen evidencias documentadas de recientes sequías en la zona que han impactado negativamente la actividad agropecuaria, principalmente la producción de granos básicos (Retana et al. 2011; Retana, Alvarado y Pacheco, 2009). La disminución de frentes fríos va a alterar el equilibrio ecológico de una zona que históricamente se ha caracterizado por su humedad constante durante casi todo el año.

Si bien los problemas de inundaciones pueden verse disminuidos, el impacto de períodos secos repetitivos en los sectores usuarios del recurso hídrico van a minar progresivamente la economía y los medios de vida de los pobladores de la región Norte y el Caribe.

En el caso de sistemas ciclónicos, la tendencia pasada de sistemas de bajas presiones y huracanes del Caribe no presenta el mismo signo que se podría deducir de las proyecciones futuras presentadas por Alvarado et al. (2011). Mientras que las primeras aumentan, las segundas parecen que disminuyen. Asumiendo que las proyecciones futuras sean ciertas, esto quiere decir que aún no hemos entrado en una señal de cambio de clima.



Quepos, Costa Rica. Comisión Nacional de Emergencias

De hecho, en estos momentos no existe evidencia de que todos los elementos climáticos tengan ya una señal evidente de cambio. En este aspecto solo la temperatura nocturna parece haber iniciado una tendencia acorde con la teoría del cambio climático en algunas regiones del planeta (Aguilar et al. 2005). Ahora bien, si se considera que el corto plazo es una extensión de la experiencia reciente, las tendencias de este tipo de eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos pueden ser un insumo de planificación de actividades y estrategias de adaptación en las zonas que históricamente han sido más afectadas por este tipo de eventos, los cuales se seguirán presentando.

El aumento de los desastres por fenómenos hidrometeorológicos relacionados con lluvias intensas es evidente y demostrable (Alfaro y Quesada, 2010; Flores et al., 2010; CNE, 2010). Las últimas tres décadas han marcado un ascenso en los eventos hidrometeorológicos extremos, que evidentemente han respondido a fenómenos de variabilidad climática de gran magnitud, pero también sumados a un aumento de las vulnerabilidades sociales que potencian los escenarios de desastre. Ahora bien, la conexión de esta tendencia con el cambio climático no puede ser demostrada actualmente. Sin embargo, el principio precautorio advierte de la necesidad de adaptarnos a condiciones de variabilidad, a las cuales no estamos tan bien adaptados como deberíamos (Street, 2007).

La amenaza del clima -ejemplarizada en los eventos hidrometeorológicos extremos- no puede ser controlada. Incluso, si estos momentos de amplia variabilidad que estamos viviendo son producto del calentamiento del planeta, la concentración de gases de efecto invernadero que están alterando el equilibrio radiativo de la Tierra va a permanecer -junto a sus efectos- los próximos 200 o más años. La vulnerabilidad de los sistemas que históricamente han sido más afectados debe ser el tema de fondo en la estrategia de adaptación a los eventos hidrometeorológicos extremos.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, E., Peterson, T., Ramírez, P., Frutos, R., Retana, J., Solera, M., Soley, J., González, G., Araujo, R., Santos, R., Valle, V., Brunet, M., Aguilar, L., Alvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J., Sánchez, E., Hernández, G., Obed, F., Salgado, J., Vázquez, J., Baca, M., Gutiérrez, M., Centella, C., Espinoza, J., Martínez, D., Olmedo, B., Ojeda, E., Núñez, R., Hayloch, M., Benavides, H. y Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*, Vol 110: D23107.
- Alfaro, E. y Quesada, A. (2010). Ocurrencia de ciclones tropicales en el mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica. *InterSedes: Revista de las sedes regionales*, Vol 11: 22, pp. 136-153. San José: Universidad de Costa Rica.
- Alfaro, X. (17-02-2012). Tomás dejó las pérdidas más grandes de la historia. *La Nación*. Sección El País.
- Alvarado, L., Contreras, W. y Jiménez, S. (2011). *Escenarios de Cambio Climático regionalizados para Costa Rica*. Departamento de Climatología e Investigación Aplicada. Instituto Meteorológico Nacional. 43p.
- CNE. (2010). *Plan Nacional para la Gestión del Riesgo 2010-2015. Marco estratégico para la aplicación de la política de gestión del riesgo*. San José. 82p.
- Flores, R., Salas, J., Astorga, M. y Rivera, J. (2010). *Impacto económico de los eventos naturales y antrópicos extremos en Costa Rica. 1988-2009*. Ministerio de Planificación Sectorial y Política Económica. San José. 32p.
- Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., Van der Linden, P. y Xiaosu, D. (2001). *Climate Change 2001: The scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). United Kingdom: Cambridge University Press. 944p.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007. Base de las ciencias físicas. Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico. Preguntas frecuentes. Contribución del Grupo de Trabajo 1 al Cuarto Informe de Evaluación*. OMM-UNEP. 153p.
- IMN-CRRH. (2008). *Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*. San José: IMN-CRRH-Minaet-PNUD. 75p. [Autores: Retana, J.; Alvarado, L.; Solano, J.; Solera, M.; Araya, C.; Sanabria, N.; Pacheco, R.; Castro, V.; Calderón, F.]
- IMN. (2011-2012). *Boletín Meteorológico Mensual*. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. [Octubre, Noviembre, Diciembre 2011; Enero, Febrero 2012.]

- Klein, A., Zwiers, F. y Zhang, X. (2009). Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. Climate data and monitoring. *WCDMP*, N°72. World Meteorological Organization. WMO-TD N°1500. Geneva, Switzerland. 52p.
- Pacheco, R. Algunos eventos hidrometeorológicos de gran magnitud en Costa Rica. En: Instituto Meteorológico Nacional (2011). *Planificador Mensual 2012*. Minaet-PNUD. Sp.
- Retana, J., Alvarado, L. y Pacheco, R. (2009). *Relación entre la variabilidad climática y el ciclo agrícola del frijol en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Perspectivas del clima para el ciclo 2009-2010*. Departamento de Climatología e Investigación Aplicada-Oficina Única del Dato. Instituto Meteorológico Nacional. [Nota Técnica 03] San José. 9 p.
- Retana, J. y Villalobos, R. (2000). Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica con base en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: seco, normal y lluvioso. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 7(2):117-124.
- Retana, J. y Villalobos, R. (2003). Eventos meteorológicos extremos en Linda Vista, Valle del Guarco, Cartago. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(1):56-63.
- Retana, J. (2010). *Precipitación mensual y anual durante el 2009 en las regiones climáticas de Costa Rica: estimación de impactos de eventos extremos*. Departamento de Climatología e Investigación Aplicada. Instituto Meteorológico Nacional. [Nota Técnica 01]. San José. 5p.
- Retana, J., Araya, C., Sanabria, N., Alvarado, L., Solano, J., Barrientos, O., Solera, M., Alfaro, M. y Araya, D. (2011). *Ánalisis del riesgo actual del sector hídrico de Costa Rica ante el cambio climático para contribuir a mejorar el desarrollo humano*. Minaet-IMN-PNUD. San José. 98 p.
- Street, R. (2007). Adaptación al cambio climático: um reto y uma oportunidad para el desarrollo. *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, 56(3):174-178.
- Salinger, J. y Penehuro, L. (2005). The Occurrence and predictability of extreme events over the southwest Pacific with particular reference to ENSO. En: Sivakumar, M., Motha, R. y Das, H. (2005). *Natural disasters and extreme events in agriculture. Impacts and mitigation*. Springer: Netherlands. 367 p.
- Zárate, E. (2005). *Comportamiento de los empujes fríos que alcanzan Centroamérica y el Caribe. Evaluación de impactos ocasionados por eventos extremos sobre el sector hídrico y medidas de adaptación bajo condiciones de cambio climático en América Central*. (AIACC-LA06). Sistema de la Integración Centroamericana-Comité Regional de Recursos Hidráulicos-UCR. San José. 22 p.