

# RIESGO FUTURO DEL SECTOR HÍDRICO DE COSTA RICA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO



2012



# RIESGO FUTURO DEL SECTOR HIDRICO DE COSTA RICA ANTE EL CAMBIO CLIMATICO

## Contenido

1. INTRODUCCION.....	2
2. METODOLOGIA.....	3
3. RESULTADOS .....	4
3.1. LA AMENAZA: EL CLIMA FUTURO (2011-2040) .....	4
3.2. LA VULNERABILIDAD: DESARROLLO HUMANO FUTURO .....	7
3.3. EL RIESGO FUTURO: UNA SOCIEDAD AMENAZADA POR LOS EVENTOS EXTREMOS DE UN CLIMA CAMBIANTE .....	13
CONCLUSIONES .....	16

# ANALISIS DEL RIESGO FUTURO DEL SECTOR HIDRICO DE COSTA RICA ANTE EL CAMBIO CLIMATICO

Departamento de Climatología e Investigación Aplicada  
Instituto Meteorológico Nacional

**AUTOR**

José Retana

## 1. INTRODUCCION

Uno de los principales retos para los investigadores del cambio climático, son las proyecciones futuras de condiciones actuales. Los escenarios socioeconómicos, los escenarios climáticos, la vulnerabilidad, la amenaza, la capacidad de resiliencia y el riesgo de los sistemas, son elementos importantes en los estudios sobre calentamiento global, pero son de difícil construcción cuando se desea estimarlos para horizontes de tiempo futuro. Una de las mayores dificultades es el tema de la coherencia de los resultados debido principalmente a la incertidumbre que rodea cualquier proyección. Las diferentes herramientas de exploración del futuro se acompañan de incertidumbres y limitantes propias de su mecanismo de análisis. Sin embargo, existen otros limitantes que no solo están definidas por la metodología usada, sino por factores externos que pueden hacer cambiar el rumbo de una sociedad en múltiples sentidos (económico, social, político y hasta cultural). Estos factores externos al método de análisis, se denominan fuerzas, impulsores o motores de cambio.

En un mundo tan complejo y globalizado como el actual, las fuerzas de cambio difícilmente pueden ser modelados. Estas limitaciones externas provenientes de condiciones y acuerdos económicos regionales, solo son identificadas y asumidos como existentes, tal y como lo da a entender Malone y Robere (2005). Por ejemplo, las recientes crisis económicas mundiales, las variaciones en el precio del petróleo, las pandemias globales o incluso la desestabilización social producto de algunos regímenes políticos, tienen un efecto dominó que afecta directa o indirectamente la ruta productiva y el desarrollo de los países. Esta es una de las razones por las cuales las proyecciones futuras de nuestras sociedades tienen un alto grado de incertidumbre. Aún así, tal y como lo menciona Alvarado *et al.* (2011), refiriéndose a la construcción de escenarios futuros de clima, estas proyecciones intentan ser construcciones coherentes y consistentes de cómo un sistema podría manifestarse en un horizonte de tiempo dado. Bajo esta perspectiva, el estudio del riesgo climático futuro, define un posible (y creíble) estado social en el que el nuevo régimen del clima presiona el sistema hídrico, amenazando el desarrollo de las comunidades. Tal y como lo propone Jones y Mearns (2005), este estudio parte del conocimiento de los riesgos climáticos actuales para luego caracterizar cómo cambiarían debido al clima futuro y a cambios posibles en el entorno socioeconómico. Este análisis es descriptivo, cualitativo y se basa en los análisis previos realizados por Retana *et al* (2011), Alvarado *et al* (2011) y Echeverría (2011). Los resultados de este estudio junto con los de vulnerabilidad actual, son insumos para la identificación de barreras y oportunidades que guíen la planificación de la respuesta de adaptación futura.

## 2. METODOLOGIA

El estudio del riesgo climático futuro se enmarca dentro de los análisis descriptivos de casos (Malone y Rovere, 2005). A pesar que las investigaciones previas (riesgo actual, vulnerabilidad futura y escenarios de clima futuro) que fundamentan el presente estudio utilizaron información cuantificable y basaron sus resultados en números concretos, el análisis de riesgo futuro se basa en la descripción de posibles escenarios debido a que las incertidumbres solo permiten respuestas cualitativas ( Jones y Mearns, 2005).

El marco conceptual del riesgo, corresponde al enfoque clásico (Villagrán, 2006) que asume que el riesgo está en función de los componentes de amenaza y vulnerabilidad. Aquellas regiones del país donde la amenaza y la vulnerabilidad coincidan, serán las zonas de mayor riesgo futuro y por ende, sus poblaciones serán las que mayor riesgo presenten.

El horizonte de tiempo definido es el 2030 debido al aumento de la incertidumbre en la proyección a futuro de las condiciones socioeconómicas. Otro aspecto importante de un horizonte “cercano” es la sensación de proximidad a una vida productiva actual, lo cual puede generar una mejor respuesta en los tomadores de decisión y los grupos de acción en general.

La amenaza fue desarrollada por Alvarado *et al* (2011) usando cinco modelos climáticos dinámicos a los que se aplicó técnicas de reducción de escala con el fin de mejorar la resolución de los resultados. El horizonte de tiempo del período 2011-2040 fue simulado por el modelo regional PRECIS (**P**roviding **R**egional **C**limates for **I**mpacts **S**tudies, Jones *et al.*, 2004), del Centro Hadley en Inglaterra. Se utilizó el escenario de emisiones A2 propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). En particular se refiere solo a la precipitación, en escala anual, mensual, trimestral y estacional.

La vulnerabilidad fue desarrollada por Echeverría (2011) usando indicadores socioeconómicos cantonales y agrupados en un índice de vulnerabilidad. Se basó en un conjunto de indicadores usados por Retana *et al* (2011) y agrupados en tres componentes de vulnerabilidad para evaluar el riesgo actual. Sin embargo, seleccionó un grupo de solo 7 indicadores con el fin de evitar posibles sesgos y duplicidad en las características de los grupos vulnerables. Las proyecciones se realizaron por medio de tendencias econométricas de los registros históricos de los indicadores de acuerdo a lo que recomienda Malone y Rovere (2005). La estimación al horizonte 2030 de los indicadores se realizó por medio de funciones logarítmicas ajustadas a las series de datos históricas. Además, la proyección se basó en tres escenarios de tendencia: normal, alto desarrollo y retroceso. De esta forma dependiendo del escenario cada variable va a tener un comportamiento distinto. Las reglas de cambio se desarrollaron por medio de juicio de experto y consultas con especialistas.

El riesgo futuro corresponde a un escenario descriptivo a nivel regional, que proporciona una posible visión de cómo puede desarrollarse nuestra sociedad bajo la presión de un clima diferente y a la vez cambiante, enfocando la situación del recurso hídrico y el efecto de su disponibilidad sobre el desarrollo del país. Dado que el Índice de Desarrollo Humano fue utilizado tanto para calcular la vulnerabilidad actual como la vulnerabilidad futura, se tomó la proyección de este indicador como guía para la construcción de escenarios sociales al 2030, como base de la descripción del riesgo futuro.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. LA AMENAZA: EL CLIMA FUTURO (2011-2040)

Basado en el estudio realizado por Alvarado et al (2011)

La construcción de escenarios de cambio climático es una de las primeras acciones para realizar evaluaciones de riesgo y adaptación del cambio climático, especialmente en el contexto de los impactos potenciales en los sectores claves de un país o una región (Alvarado 2006). Los nuevos escenarios desarrollados por Alvarado et al (2011) cumplen esta función, y fueron generados con el fin de estimar el riesgo climático futuro a un horizonte de tiempo cercano.

En términos generales, Alvarado et al (2011) encontraron resultados similares a los obtenidos en estudios anteriores (Alvarado, 2005; Alvarado 2006, Stolz et al 2005; IMN 2008), sin embargo, la mejor resolución espacial desarrollada, permite definir con mayor detalle el panorama futuro. Además también se mejoró la escala temporal de los análisis al generar resultados a nivel anual, estacional, trimestral y mensual. Otro valor agregado son las explicaciones físicas e hipótesis del comportamiento de los escenarios futuros.

La mayor limitante de los estudios, se refiere a la bondad con que los modelos logran reproducir el clima presente, como forma de validación de resultados. Por ejemplo, al comparar las climatologías reproducidas con la observada (IMN,2008), en términos generales se tiende a subestimar los valores reales. Este sesgo negativo en el caso del modelo PRECIS, puede ser el resultado de la subestimación de la temperatura de la superficie del mar del océano Atlántico tropical y de la resolución espacial (Rauscher *et al.*, 2007). Ahora bien, una buena (o mala) simulación de las condiciones actuales no necesariamente significa que los resultados de las proyecciones climáticas sean buenos (o malos) (Wigley,2003, citado por Alvarado, 2006).

De acuerdo con los resultados, tanto la variabilidad climática como la circulación general de la atmósfera experimentarán cambios significativos, que son los responsables de las variaciones en la precipitación anual y mensual observada en la simulación del clima futuro.

Alvarado *et al* (2011) cita que Costa Rica, y en general toda Centroamérica, son los “puntos calientes” de cambio climático más prominentes del trópico, debido a la disminución de las precipitaciones en el trimestre junio-agosto, observada en los registros históricos y en simulaciones de 20 modelos globales usando diferentes escenarios de emisiones (Chen *et al.*, 2004; Neelin *et al.*, 2006; Trenberth *et al.* 2007). Sin embargo no puede esperarse que el clima de Costa Rica responda de manera homogénea, por lo que el escenario futuro de un clima más seco en todo el país no es consistente y razonable con el conocimiento actual de la variabilidad climática. Si las condiciones de variabilidad siguen dominando la expresión anual del clima, existen múltiples fenómenos que pueden aumentar o disminuir su frecuencia e intensidad. Por tanto, citan los autores, el clima de Costa Rica se verá sometido a extremos secos y lluviosos.

Los resultados obtenidos indican que las zonas más secas se relacionan con las zonas más cálidas durante el día, mientras que un aumento en las precipitaciones en las zonas más lluviosas, puede provocar que la temperatura durante la noche aumente más fuertemente que en otras partes del país, por efecto de retención de radiación de onda larga (la que emite la Tierra hacia el espacio durante la noche) por aumento del vapor de agua.

Para el período de tiempo comprendido entre el 2011 y el 2040, en **el Caribe** se estiman aumentos de precipitación, sin embargo, es posible que el porcentaje de aumento sea mayor en el Caribe Sur y menor en el Caribe Norte. Si bien los escenarios proyectan un aumento de las precipitaciones anuales, las variaciones estacionales serán muy marcadas. Los resultados a largo plazo muestran disminuciones de hasta un 30% en el período noviembre-febrero, sin embargo, entre junio y agosto, las lluvias aumentarían sobrepasando el promedio actual. En el mediano plazo se estima que para el trimestre mayo-julio, el máximo incremento en el centro de la Vertiente del Caribe sea entre 35% y 75%. Las disminuciones estarían relacionadas con una menor actividad de frentes fríos durante el invierno, mientras que los aumentos se relacionan con una mayor intensidad de los vientos Alisios durante el verano.

En la vertiente del **Pacífico y en la Zona Norte**, el modelo estima menos precipitaciones que en el clima actual. Se espera que las disminuciones sean mayores en el Pacífico Norte, luego en el Valle del General y déficits semejantes en el Valle Central y Zona Norte. La única excepción a este comportamiento deficitario se presentaría al sur de la Fila Costeña (Palmar Sur, Osa, Golfito, Coto, Burica), donde habría un incremento de precipitaciones.

En cuanto a variaciones estacionales en el Pacífico, la precipitación disminuirá durante el trimestre junio-agosto (que corresponde con la temporada de verano del hemisferio norte). La principal reducción se presentaría en lo que actualmente se conoce como el primer máximo de lluvia del régimen del Pacífico, en el mes de junio. Existe la hipótesis de que este cambio es una indicación de un inicio más temprano o una mayor intensificación de los veranillos de julio y agosto (Rauscher *et al.*, 2008) como consecuencia de cambios prematuros en la intensidad y extensión longitudinal de la dorsal del anticiclón semipermanente del Atlántico subtropical.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en la figura 1 se resumen las modificaciones más notorias en el patrón climático de las vertientes del país y que podrían ser las responsables de los cambios en la precipitación mensual estimados por el modelo.

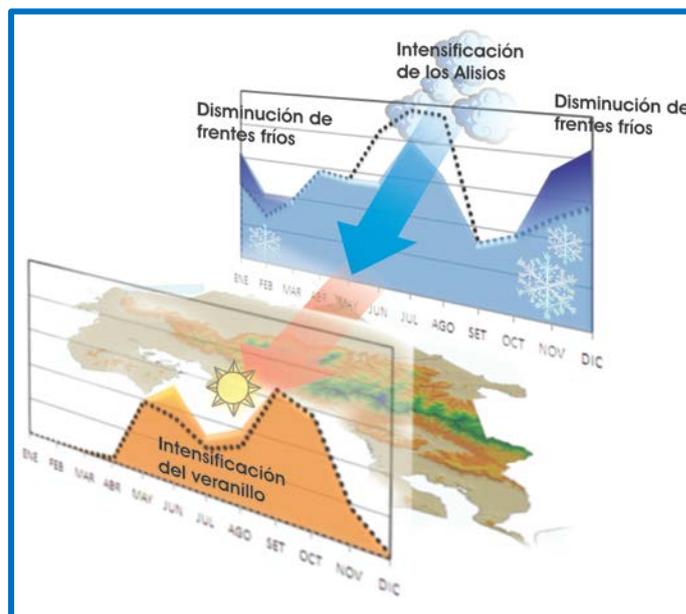


Figura 1. Esquema de la variación mensual de la lluvia proyectada para el período 2011-2040 para las dos vertientes de Costa Rica. Clima actual (área). Clima futuro (línea punteada).

Por una parte, la intensificación de los vientos Alisios durante el trimestre junio-agosto explicaría el aumento de precipitación en el Caribe y la disminución en el Pacífico. Los vientos soplan del norte-noreste, dejando la humedad a barlovento de la cordillera de Talamanca y la Volcánica Central. El viento seco pasa hacia el Pacífico. El otro elemento de cambio, es la disminución en la frecuencia de frentes fríos durante los meses de noviembre a febrero, que sería el factor responsable de la disminución de la precipitación del Caribe.

De acuerdo con la figura 2, las mayores disminuciones porcentuales de la precipitación anual se percibirán hacia el Golfo de Papagayo y la Península de Santa Elena, donde el déficit sería de un 15% anual. El resto del Pacífico Norte, la franja fronteriza de la Zona Norte y el Valle de El General, experimentarían disminuciones del 5 al 10% en promedio anual. Por otra parte para la vertiente Caribe, se proyectan aumentos entre un 5 y un 10%. Estos cambios son estimados para el promedio anual y deben ser bien interpretados a la luz de mecanismos de adaptación. En el caso de las sequías, por ejemplo, el IMN-CRRH (2008), estimó que para el período 1960-1991 se requería de una disminución promedio de 22% en la lluvia anual, para que un año se considerara un evento extremo seco. Una estimación más reciente (IMN,2011), usando la misma metodología pero contemplando el período 1960-2009 estima que una disminución del 17% en promedio para el país, ya sobrepasa el umbral crítico para declarar un año como evento extremo seco. Estos cambios observados en la norma a partir de la cual se miden los casos extremos, hace pensar que las proyecciones para los próximos 20 años de una reducción o un aumento en la lluvia anual (que actualmente parecen entrar dentro de rangos de variación normal), pueden acercarnos cada vez más a escenarios críticos. Por otra parte, si los cambios en el promedio obedecen a variaciones en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, el período de adaptación de los sistemas debe de acortarse en el tiempo.

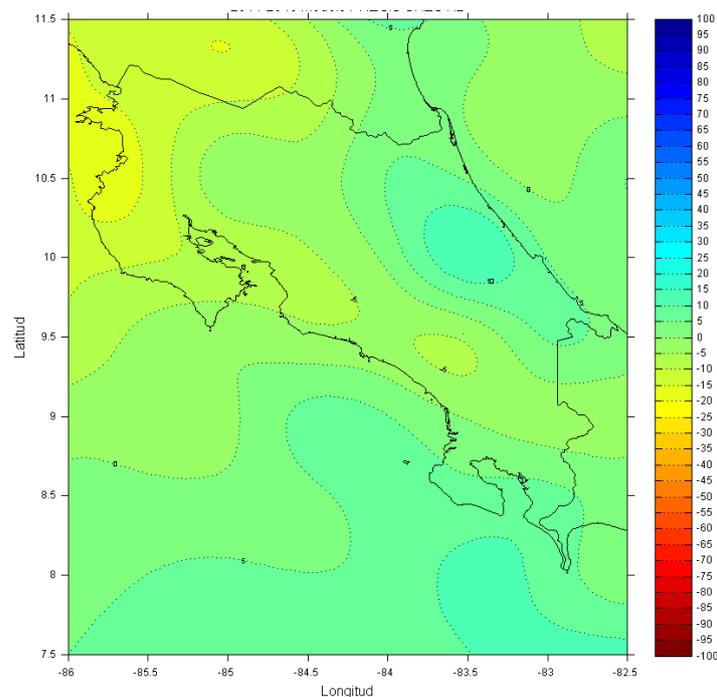


Figura 2. Cambio de la precipitación media anual (%) para el período 2011-2040, según el modelo PRECIS SRES bajo un escenario de emisiones A2. Fuente: Alvarado et al 2011.

### 3.2. LA VULNERABILIDAD: DESARROLLO HUMANO FUTURO

Basado en los estudios realizados por Echeverría (2011) y PRODUS (2010)

El análisis de las relaciones entre la estructura y el estado del desarrollo de una economía y su riesgo ante desastres sugiere un panorama muy complejo (PRODUS 2010). Una forma para empezar a interpretar estas relaciones es por medio del análisis de la vulnerabilidad. La vulnerabilidad es una condición socialmente construida que implica la falta de resiliencia y fortaleza frente a extremos ambientales. Esta falta de resiliencia puede expresarse en el ámbito estructural, físico, económico, social y político-institucional de un país (PNUD 2002). El reflejo final es una población vulnerable y con poca capacidad de respuesta. La proyección futura de la vulnerabilidad es un ejercicio complejo, multifactorial, rodeado de mucha incertidumbre, pero que dibuja la ruta crítica por la que deben pasar los pensamientos coherentes de adaptación. La interpretación de este escenario futuro brinda luces y fundamentos técnicos para la toma de decisiones. La adaptación al cambio climático y las medidas relacionadas que se diseñen, pretenden equipar a la sociedad para enfrentar la presión que un clima cambiante puede ejercer (Echeverría 2011).

Echeverría (2011) utilizó un grupo de indicadores para estimar la vulnerabilidad futura del sector hídrico de Costa Rica ante el cambio climático. Se basó en el conjunto de variables usado por Retana et al (2011) para analizar el riesgo actual, sin embargo solo utilizó 7 de los 15 indicadores propuestos originalmente. La selección se justificó en la duplicidad de ciertos indicadores que podían crear un sesgo al resultado final. A pesar que las variables usadas por ambos son similares, los resultados no son necesariamente comparables debido primero a que Echeverría utiliza dos indicadores no contemplados en el análisis de vulnerabilidad actual: el Índice de Potenciación de Género (IPG) y la densidad de población. Además como el índice final es una agregación de indicadores no pesados, el resultado a nivel de cantón va a expresar el peso natural del (los) indicador (es) más relevante (s). Al variar el número de indicadores, cambia el aporte porcentual del indicador con relación al índice integrado. Tal y como lo da a entender Echeverría (2011), a pesar de que las proyecciones que realizó fueron basadas en un mejor desempeño del Índice de Desarrollo Humano a futuro, los indicadores que mayor aportaron al cambio (comparación entre vulnerabilidad actual y futura) fueron el potencial hídrico per cápita y el porcentaje de áreas protegidas, combinados con el nuevo indicador de densidad de población. De esta forma, un cantón cuya vulnerabilidad actual es alta, puede variar a niveles significativamente menores en la estimación futura debido al mejor desempeño del IDH (ligado generalmente al IPG) y donde la cantidad de habitantes del cantón va a tener un peso decisivo.

Debido a las diferencias significativas entre la vulnerabilidad actual y la futura a nivel de cantón y la dificultad de comparar resultados, se utilizó el IDH proyectado al 2030 por Echeverría (2011) bajo un escenario de alto desarrollo humano, como guía de la vulnerabilidad futura con el fin de hacerlo comparativo con el IDH actual, correspondiente al año 2004 y que refleja el patrón de vulnerabilidad actual.

**El escenario socio económico propuesto por Echeverría al año 2030**, se basa en un alto desarrollo humano. Visualiza una sociedad costarricense que ha logrado avanzar por el camino del desarrollo sostenible, y que ha invertido en ampliar su sistema de áreas protegidas, logrando al mismo tiempo la protección de los recursos hídricos. En realidad, esta ha sido la tendencia del país desde el último cuarto del siglo XX, cuando se pasa de una economía agrícola y pecuaria a una basada en el turismo ecológico, en el que la biodiversidad en función del paisaje y los servicios, juega un papel muy importante. Echeverría propone que uno de los principales motores de cambio, como es la propuesta GRUAS II, se implementa en un 100% al 2030. Esto significa que se agregan al sistema 712000 ha bajo distintas clases de protección. Ahora bien, el recurso hídrico no solo es protegido por la extensión y consolidación de áreas de cobertura boscosa, sino que el avance en el desarrollo del alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, merced a proyectos de inversión y aplicación eficiente de la legislatura actual, hacen disminuir la contaminación de aguas superficiales y profundas. Tal y como se proyecta actualmente, el principal motor que es la Fase I del Alcantarillado Metropolitano para el tratamiento de las aguas residuales del GAM se implementa, logrando disminuir el promedio nacional de viviendas que usan tanque séptico a 60%.

Aunado a esta tendencia, la meta de llegar a ser una economía baja en emisiones, está siendo alcanzada. Estos procesos hacia el desarrollo sostenible se reflejan en mejores condiciones de vida, aumentando el IDH. De hecho, la tendencia histórica de este indicador desde mediados de los noventa hasta el 2010, es de aumentar un 1% anualmente. El país alcanza una recuperación económica importante, sin embargo, a pesar de que la población se estabiliza en el 2020 (1,6 hijos por pareja), hacia el 2030 se presenta la mayor tasa de población dependiente (0,51). La estabilización de la población ayuda a contrarrestar la disminución en un 5% del agua destinada a consumo poblacional al 2030. A pesar de que Echeverría propone este escenario de Alto Desarrollo Humano, algunas de las metas planteadas no se materializan en su totalidad para el horizonte de tiempo definido.

Hay buenas razones para pensar que el IDH puede reflejar la vulnerabilidad ya que la educación, la salud y los ingresos permiten tener acceso a herramientas para reducirla (Echeverría 2011). De hecho, PRODUS (2010) sugiere que el IDH es el indicador que permite identificar los cantones más vulnerables por su condición socioeconómica ya que identifica la diferencia que existe entre ingreso y bienestar humano, ofreciendo una visión más completa de la situación de los cantones.

Retana et al (2011) identifican la vulnerabilidad actual del sistema a nivel de cantón. Tal y como se observa en la figura 3, comparando los resultados de vulnerabilidad actual con el IDH al 2007, se observan patrones similares en la distribución espacial (cantonal) de ambas variables.

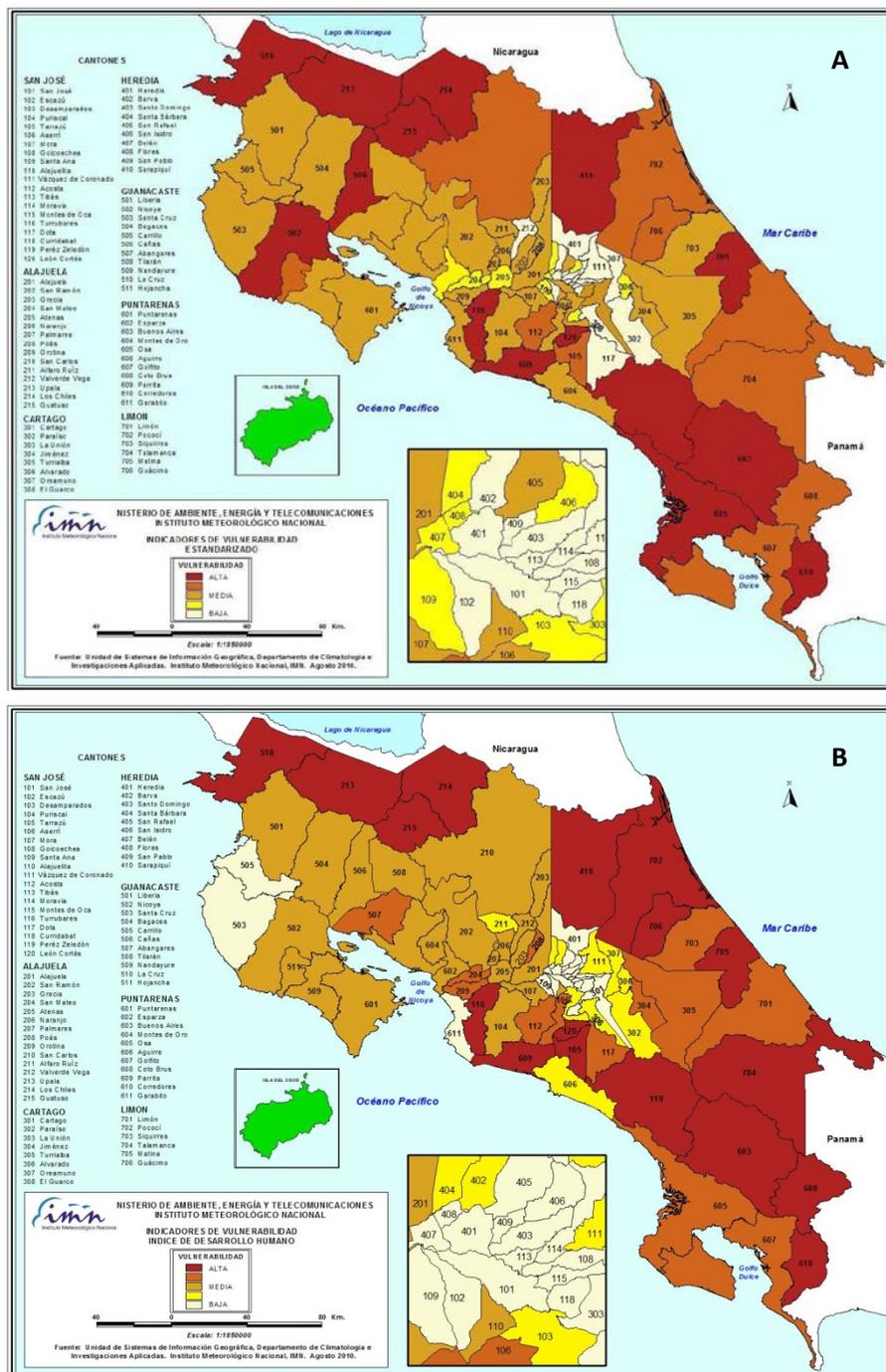


Figura 3. Vulnerabilidad actual (A) e Índice de Desarrollo Humano (B) al 2007. Fuente: Retana et al, 2011.

Debido a esta relación y lo sugerido por Echeverría (2011) y PRODUS (2010), se utilizó la proyección del IDH al 2030 realizada por Echeverría, para sugerir un posible escenario de vulnerabilidad futura a nivel espacial. En la figura 4 se presentan las proyecciones del IDH para el año 2030, de acuerdo con un escenario de alto desarrollo y utilizando como base de cálculo de las clases, la nueva información generada para el 2030.

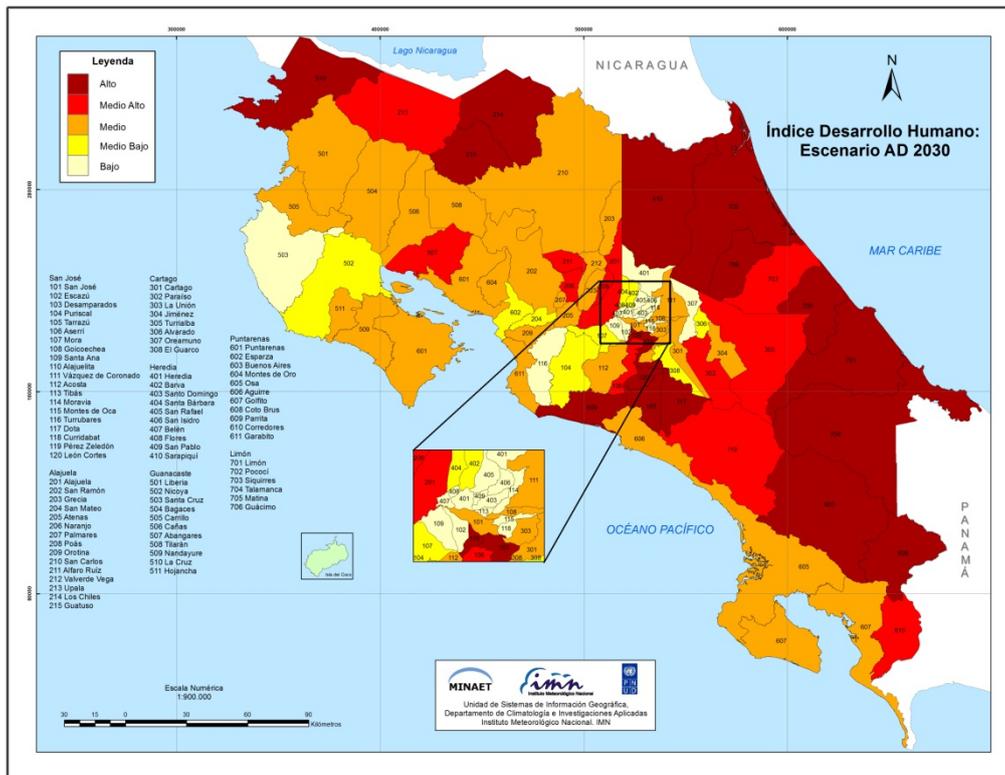


Figura 4. Índice de Desarrollo Humano proyectado al año 2030 de acuerdo con un escenario de alto desarrollo. Fuente de la información: Echeverría, 2011.

A pesar que el IDH mejora al 2030 (tal y como ha sido la tendencia histórica desde 1995), la distribución espacial se mantiene semejante a la del 2004, de acuerdo a lo observado en la figura 4 y la figura 3B. Por tanto, aún y con nuevas bases de cálculo, las zonas que históricamente han sido menos desarrolladas continúan su rezago con relación a las zonas de mayor desarrollo. Las zonas de menor desarrollo corresponden con las regiones fronterizas (norte y sur), así como el Caribe y parte del Pacífico Central. El mayor desarrollo se presenta hacia el Pacífico de Costa Rica, principalmente en La Región Central.

Ahora bien, si se comparan el IDH del 2004 con el IDH del 2030 con la misma base para calcular las clases del 2004 (para apreciar el cambio), se observa que en todas las provincias se presentan mejoras del IDH. Solo el 5% del total de cantones empeora su condición de desarrollo humano, el 65% mejora su condición y un 30% no sufre variación en cuanto a su nivel de desarrollo. Solo en San José, Alajuela y Cartago, se observan cantones que empeoran su condición de desarrollo humano. Alajuelita es el cantón de mayor cambio negativo, luego Desamparados, Alvaro Ruiz y La Unión. Alajuela es la provincia que más mejora ya que el 93% de sus cantones pasan a una categoría mayor a la que ostentaban en el 2004. Por otra parte, Heredia es la provincia más estable. El 70% de sus cantones permanecen en la misma categoría. Tanto en Guanacaste como en Puntarenas, el 82% de sus cantones mejoran su condición (el resto permanece en la misma categoría), mientras que en Limón, 4 de sus 6 cantones (el 67%) mejoran al hacer la comparación. Cartago mejora en un 65% de sus cantones y San José lo hace en el 45% de los 20 cantones (ver figura 5).

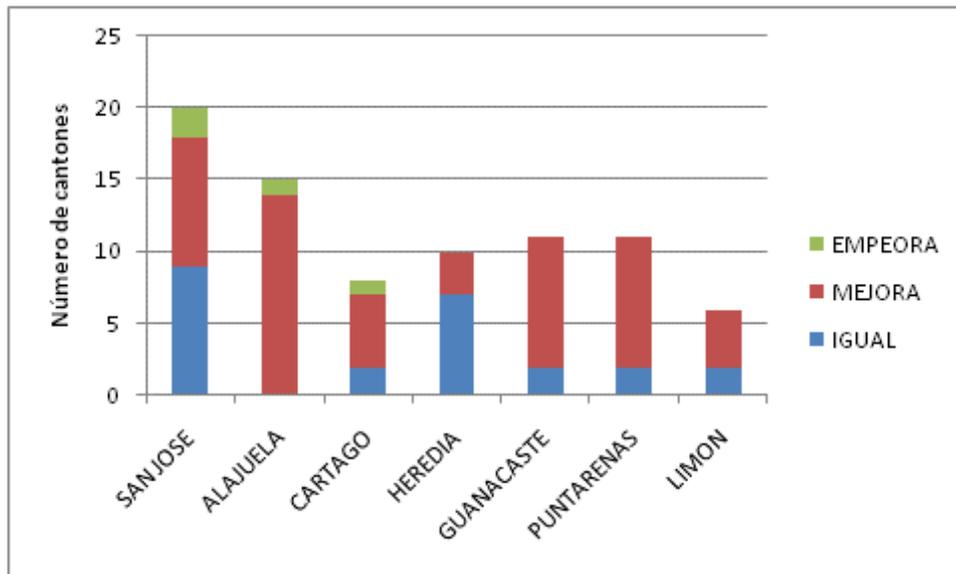


Figura 5. Número de cantones que cambia al comparar el IDH del 2004 con el IDH al 2030 proyectado por Echeverría (2011). Se usó la base de distribución de clases del 2004.

Uno de los principales problemas del aumento de la vulnerabilidad a futuro, es el aumento de la exposición ante la amenaza. El GAM alberga un grupo poblacional de baja vulnerabilidad de acuerdo con el escenario futuro propuesto al 2030, sin embargo, su exposición ante la amenaza aumenta debido a la tendencia de la concentración de la población. Si se une a esto una mala planificación de asentamientos e infraestructura, la vulnerabilidad comparada puede seguir aumentando. La alta densidad potencia el avance del lote residencial hacia las zonas de recarga y presiona el recurso en cuanto a la disponibilidad de agua por persona. De hecho, actualmente en el oeste del Valle Central existen limitaciones a la urbanización debido a la falta de capacidad para llevar agua a algunas zonas altas. El riesgo de contaminación de acuíferos por el uso de tanque séptico debido al crecimiento y concentración poblacional en el centro del país, es otro factor de vulnerabilidad.

Un indicador importante que puede asociarse con el IDH al 2030 para tener un panorama más completo sobre los grupos vulnerables futuros, son las estimaciones de la población, tanto la dependiente como la económicamente activa (PEA). De acuerdo con PRODUS (2010) las proyecciones de la estructura demográfica de la fuerza de un cantón son fundamentales para cualquier proceso de formulación de políticas públicas. Las proyecciones permiten evaluar situaciones futuras de escasez o de exceso de recursos humanos en el cantón, también hacen posible el ajuste de los programas públicos de formación profesional y de enseñanza técnica, apoyan la formulación de proyectos de desarrollo local o de uso intensivo de la mano de obra y permiten calcular la demanda potencial de prestaciones de seguridad social en el futuro.

De acuerdo con el IDH al 2030 estimado por Echeverría (2011) y con base en las estimaciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos y el Centro Centroamericano de Población (CCP & INEC 2008) analizado por PRODUS (2010), en el siguiente cuadro se resumen las principales características de los cantones vulnerables a futuro.

Cuadro 1. Algunas características de la estructura poblacional de los cantones con más bajo IDH proyectados al 2030.

Región	Bajo IDH	Bajo medio IDH	Más poblados al 2030	Mayor población menor a 15 años	Mayor población mayor a 65 años	Mayor población dependiente
Pacífico Norte	La Cruz	Abangares	Puntarenas			Nicoya Nandayure Tilarán Hojancha Santa Cruz
Pacífico Central	Parrita					San Mateo
Pacífico Sur	Buenos Aires Coto Brus		Pérez Zeledón Corredores		Pérez Zeledón	
Región Central	Desamparados Alajuelita Tarrazú León Cortés Dota	Alajuela Aserrí Naranjo Alfaro Ruiz Poás Paraíso	Desamparados San José Alajuela Alajuelita Cartago Heredia Goicoechea	Desamparados San José Alajuela Alajuelita	Desamparados San José Alajuela Alajuelita Cartago Heredia Goicoechea	
Región Caribe	Pococí Limón Talamanca Matina Guácimo	Siquirres	Pococí	Pococí	Pococí	
Zona Norte	Los Chiles Guatuso	Upala	San Carlos		San Carlos	

En celeste se resaltan los cantones que repiten alguna de las condiciones consideradas como propulsoras o características de vulnerabilidad. Si bien es cierto que en el Pacífico Norte no hay coincidencia de características para un solo cantón, si es importante señalar que la mayor población dependiente en el 2030 se concentrará en esta región, por lo que si se consideran como grupos vulnerables debido precisamente a la necesidad de acompañamiento para tener una buena calidad de vida, esta región deberá ser monitoreada y debidamente observada para establecer planes atinentes de adaptación. Por otra parte, los cantones de la Región Central que tienen bajo y bajo-medio IDH también presentan características desequilibrantes de su estructura poblacional al 2030. Ciertamente, no son los cantones de mayor población dependiente debido precisamente a que son los cantones de mayor población y la proporción de la PEA será importante, sin embargo, son los cantones de mayor número de personas en situación de dependencia.

**Las poblaciones vulnerables** a futuro, se encuentran localizadas usualmente en aquellos cantones con bajo IDH y bajo IPG. Además los grupos con alguna discapacidad física o mental, los grupos dependientes y la mujer en condición de pobreza, son las características que terminan por definir las poblaciones más vulnerables en el futuro (Echeverría 2011).

### 3.3 EL RIESGO FUTURO: UNA SOCIEDAD AMENAZADA POR LOS EVENTOS EXTREMOS DE UN CLIMA CAMBIANTE

En esta ruta crítica para diseñar planes coherentes de adaptación, la evaluación del riesgo futuro es importante para crear escenarios posibles de cambio. Mientras que el conocimiento del riesgo actual es básico para establecer acciones y medidas de adaptación en el corto-mediano plazo, el riesgo futuro puede definir el camino de la adaptación a mediano-largo plazo, previo al diseño de un efectivo sistema de monitoreo. El punto de partida es el riesgo actual, mientras que el riesgo futuro establece la tendencia.

El riesgo actual estimado por Retana et al (2011), definió umbrales de cambio tal y como se observa en la figura 6. Estos umbrales advierten sobre el posible impacto negativo que puedan tener eventos hidrometeorológicos extremos en un área específica (en este caso, el cantón).

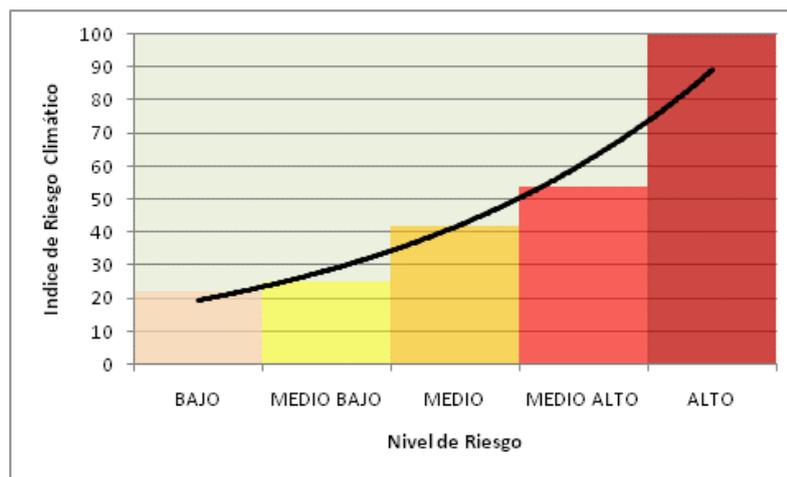


Figura 6. Niveles de riesgo asociado al Índice de Riesgo Climático.

El nivel de riesgo de un cantón está fijado por su grado de vulnerabilidad y amenaza. Si un nivel de riesgo es alto porque está compuesto mayormente por la vulnerabilidad, existe la posibilidad de trabajar en la organización del sistema social para disminuir la posibilidad de impactos negativos ante un evento extremo. Sin embargo, cuando el nivel de riesgo es alto porque la amenaza es su principal componente, el margen de trabajo se reduce en cuanto a disminuir la vulnerabilidad se refiere. Es necesario entonces una visión futura para gestionar el riesgo, con planes de aumento de la resiliencia del sistema social, aunque su vulnerabilidad no cambie con el tiempo. En este sentido, el PNUD (2004) anota que la magnitud del desastre no solo depende de la magnitud de la amenaza sino de la capacidad de las personas para amortiguar la conmoción y recuperarse de las pérdidas y los daños.

El cambio del clima que enfrentamos en la actualidad, tiene la particularidad de que la amenaza puede superar las expectativas de respuesta de las sociedades más organizadas. Los eventos hidrometeorológicos extremos de la primera década de este siglo que han golpeado países desarrollados, son una muestra de ello. El riesgo climático ante eventos extremos secos, que se ha identificado para cantones de baja vulnerabilidad en Costa Rica (GAM), tiene esta connotación. Por tanto, sistemas de monitoreo de vulnerabilidad o riesgo, la identificación de umbrales críticos de riesgo y la planificación de estrategias de adaptación sectorial en el corto plazo, son el inicio de la gestión del riesgo futuro, dado que el nivel de amenaza es tal que sobrepasa nuestra actual capacidad de respuesta.

Con base en los escenarios climáticos y sociales propuestos para el 2030, un posible panorama del riesgo futuro se presenta resumidamente en el cuadro 2 y el cuadro 3.

Cuadro 2. Escenario de riesgo climático futuro para la vertiente Pacífica y Región Central de Costa Rica.

Escenario	Región	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Escenario climático (amenaza)	Vertiente Pacífica	Mayor temperatura diurna en las zonas más secas del país: Pacífico Norte y Región Central Oriental. El Valle de El General es la segunda zona de mayor disminución de lluvias					Disminuye la lluvia en junio. Aumenta la intensidad y duración del veranillo			Se mantiene este período como el más lluvioso producto de sistemas ciclónicos en el Caribe.			Inicio época seca
		Al sur de la Fila Costeña se espera un aumento de las precipitaciones anuales											
Escenario socioeconómico (vulnerabilidad)	Pacífico Norte	La Península de Nicoya posee la mayor población dependiente, con altos requerimientos hídricos para su atención								Condiciones de pobreza potencian vulnerabilidad ante lluvias			
	Pacífico Central	Parrita es el cantón de menor IDH, junto a cantones de las zonas altas como Tarrazú y Dota.								San Mateo con alta población dependiente			
	Pacífico Sur	Pérez Zeledón con mayor población total y adulta mayor.								Buenos Aires, Pérez Zeledón, Coto Brus, Corredores con bajo IDH			
	Región Central	Desamparados, Alajuela y Alajuelita con bajo IDH, alta proporción de población dependiente. Región de alta densidad poblacional exigente de servicio de agua potable. La Región Central Oriental es de las menos vulnerables comparativamente.								Cabeceras de provincia con alta densidad poblacional y grupos dependientes			
Escenario futuro (riesgo climático)	Pacífico Norte	El aumento de temperatura diurna junto a los meses más secos del año, ponen en riesgo los grupos vulnerables dependientes: niños y adultos mayores sobre todo en la Península de Nicoya y en Puntarenas por su alta densidad poblacional. El recurso hídrico se ve presionado por las necesidades básicas de salud de estas poblaciones.								Los asentamientos humanos en las llanuras de inundación tienen alto riesgo de ser impactados: Cañas, Nicoya, Santa Cruz, Carrillo, Nandayure.			
	Pacífico Central	El cantón de Parrita y algunas partes de los cantones de León Cortés, Dota y Tarrazú, están en alto riesgo de ser impactado por efectos de sequías extendidas o períodos secos severos, dado los niveles de amenaza y su bajo IDH.								El cantón de Parrita puede ser impactado por lluvias extremas e inundaciones. El riesgo se incrementa por la poca respuesta asociada al bajo IDH.			
	Pacífico Sur	Los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires y Coto Brus pueden ser impactados por sequías y altas temperaturas diurnas y nocturnas durante períodos de sequía que ponen en riesgo poblaciones de bajo IDH y grupos de adultos mayores								Los cantones de Corredores, Golfito y Osa pueden ser impactados por lluvias extremas, aún cuando su IDH no es tan bajo.			
	Región Central	Períodos secos prolongados y altas temperaturas diurnas ponen en alto riesgo los cantones más poblados, con un bajo IDH y grupos dependientes: Desamparados, Alajuelita y las cabeceras de provincia de San José, Heredia, Alajuela y Cartago. El recurso hídrico está presionado por el cambio de la oferta natural de agua y la demanda creciente.								La alta densidad poblacional y la falta de planificación territorial son dos variables importantes en el alto riesgo de inundaciones urbanas aún sin valores extremos de lluvia.			

Cuadro 3. Escenario de riesgo climático futuro para la vertiente Caribe y Zona Norte de Costa Rica.

Escenario	Región	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Escenario climático (amenaza)	Vertiente Caribe y Zona Norte	Disminuye la precipitación por baja actividad de frentes fríos		Tiende a aumentar la temperatura nocturna en todo el año			Aumenta la precipitación por aumento en la actividad de los vientos Alisios			Meses de menor lluvia		Disminuye la precipitación por baja actividad de frentes fríos	
Escenario socioeconómico (vulnerabilidad)	Caribe Norte y Sur	Todos los cantones de la provincia de Limón presentan bajos IDH, siendo Pococí el cantón más vulnerable dada su alta población al 2030 y proporción de grupos dependientes											
	Zona Norte	Los cantones fronterizos de Upala y los Chiles, junto a Guatuso, presentan bajos IDH que hacen vulnerable sus poblaciones ante eventos extremos. Por otra parte, San Carlos con un IDH medio presenta una alta población de adultos mayores, considerado uno de los grupos más vulnerables al clima											
Escenario futuro (riesgo climático)	Caribe Norte y Sur	Todos los cantones de la provincia de Limón están en riesgo de enfrentar meses más secos que podría ser beneficioso por una disminución en la frecuencia de inundaciones en estas Regiones.				El período de mayor frecuencia de inundaciones puede trasladarse hacia este período, poniendo en riesgo todos las poblaciones de los cantones de bajo IDH			La disminución de lluvias estacional junto a una baja actividad de frentes fríos puede disminuir la oferta del recurso hídrico.				
	Zona Norte	Los cantones fronterizos como Upala y Los Chiles tienen un alto riesgo de ser impactados por sequías más frecuentes debido a la baja actividad de frentes fríos.				San Carlos, Upala, Guatuso y Los Chiles son cantones que históricamente presentan inundaciones. Con excepción de San Carlos, el bajo IDH que presentan, limita sus respuestas ante eventos extremos lluviosos			Si la actividad de frentes fríos disminuye, diciembre se presenta como el mes de inicio de periodos secos prolongados afectando cantones pobres, con bajo IDH como lo son los fronterizos.				

El riesgo climático futuro descrito es diferencial de acuerdo a la región climática, las condiciones de vulnerabilidad de los cantones y el período del año. La época seca del Pacífico, amenaza la oferta hídrica, presionada por un aumento en la demanda debido al aumento de población. Esta condición de riesgo será más pronunciada en el Pacífico Norte y en la Región Central. Para esa misma época, el régimen del Caribe puede experimentar una disminución de lluvias que podría resultar beneficiosa, siempre y cuando se reduzca la intensidad o la frecuencia de eventos extremos lluviosos causantes de inundaciones. Los grupos de población de bajo IDH desde la frontera norte hasta el Caribe Sur, asociados a carencias en infraestructura, servicios y oportunidades, serán los grandes beneficiados sociales.

El nuevo período crítico que se proyecta es para el trimestre junio-agosto. Si las disminuciones de lluvia esperadas para junio, son el preludio de veranillos más fuertes e intensos, los cantones de menor desarrollo se enfrentarán a un extenso período seco compuesto por dos etapas

- a. Los primeros meses del año que climatológicamente son secos.
- b. Veranillos o canículas más intensos.

Este período estará separado por un modesto inicio de temporada lluviosa entre mayo y junio. Los cantones de mayor población, con grupos dependientes, se verán seriamente amenazados por la disponibilidad del recurso hídrico. Nuevamente, el Pacífico Norte, la Región Central y parte del Pacífico Central serán las regiones de mayor riesgo. Mientras tanto, en el mismo período pero hacia el Caribe, el panorama es muy diferente. La mayor actividad de vientos Alisios provocará aumentos en la precipitación del período, amenazando las poblaciones vulnerables, con bajo IDH en toda la vertiente Caribe y Zona Norte, principalmente los asentamientos humanos cercanos a las extensas llanuras de inundación.

La caracterización del máximo período lluvioso del Pacífico (setiembre-octubre) relacionado con el mínimo período lluvioso en el Caribe, no es claro en los escenarios calculados por Alvarado et al (2011). Sin embargo, la disminución de la actividad de frentes fríos que es la responsable de la reducción de la lluvia en el Caribe y Zona Norte a partir de noviembre hace prever un panorama favorable para el riesgo social asociado a eventos extremos lluviosos que pueden provocar inundaciones. Las consideraciones de esta disminución en sectores usuarios del recurso hídrico como por ejemplo la agricultura, la energía o la industria, no forman parte de las consideraciones de riesgo de este estudio, sin embargo, efectos negativos en estas actividades productivas, van a condicionar las posibilidades de desarrollo de las comunidades en general.

## CONCLUSIONES

El escenario de riesgo futuro propuesto es una guía que debe ser contrastada con el diagnóstico de riesgo actual. La coherencia entre ambos análisis debe de ser probado con el fin de que el camino hacia la adaptación tenga bases técnicas firmes. Sin embargo, la incertidumbre futura en el comportamiento de variables sociales, económicas, y físico ambientales, no debe ser obviada. Básicamente se descubren dos tipos de poblaciones en riesgo. La primera, es la que clásicamente se ha identificado como el grupo más vulnerable. Le corresponden características de bajo desarrollo humano, lo cual conlleva a carencias en educación, salud o bienes materiales. Una mejor aproximación de este grupo poblacional puede ser encontrada en el análisis de riesgo actual, donde se apuntan otras carencias como la vivienda digna, servicio eléctrico y acueducto, poblaciones dependientes por edad o por alguna discapacidad física o mental. El entorno de estas poblaciones suele limitar la seguridad del recurso hídrico en cuanto al riesgo de contaminación de fuentes y su poca protección por cobertura boscosa. Además, son comunidades deficitarias en infraestructura vial y normalmente con problemas de equidad de género. Estos grupos en riesgo se ubican geográficamente en cantones periféricos, principalmente hacia la frontera norte, la sur y la vertiente del Caribe.

Un segundo grupo en riesgo está compuesto por poblaciones de media a baja vulnerabilidad, caracterizados por un alto IDH. Estos grupos se encuentran geográficamente distribuidos en la Región Central del país donde las oportunidades y servicios son mayores. Precisamente, las facilidades de desarrollo han hecho que el centro del país esté densamente poblado y en franco crecimiento. El riesgo relacionado a este grupo poblacional no está dado por sus

posibilidades de respuesta, sino por el creciente nivel de exposición ante la amenaza. Si comparativamente son poco vulnerables, a lo interno, son grupos potencialmente inseguros ante escenarios deficitarios en lluvias o bien ante eventos extremos lluviosos que puedan provocar inundaciones urbanas en forma frecuente. Muy probablemente los recursos de este grupo en riesgo les permitirán un mejor grado de atención de emergencias y reconstrucción, pero no asegura ni la organización social ni la estrategia preventiva. Incluso, debido a la poca experiencia en el enfrentamiento de situaciones de sequía extrema, pueden tender a ser más impactados que grupos poblacionales de menor IDH pero con mayor experiencia de lucha contra sequías. Uno de los ejemplos más claros de este comportamiento lo demostró Villalobos et al (2002), quienes al analizar los impactos de la sequía provocada por el fenómeno ENOS de 1997-1998, encontraron que la Región del Pacífico Norte experimentó un déficit acumulado de lluvias del orden del 33%, sufriendo pérdidas del sector agrícola estimadas en 8.6 millones de dólares. Mientras tanto, en la Región Central, tan solo un déficit cercano al 10% en la precipitación acumulada, se tradujo en pérdidas del sector agrícola estimadas en 10.2 millones de dólares. La capacidad de respuesta y la resiliencia del sector, es uno de los factores determinantes en el enfrentamiento y mitigación de impactos.

## Bibliografía

Alvarado, L. 2005. Escenarios de Cambio Climático para Centroamérica y Costa Rica. Proyecto PNUMA-TWAS "Assessment of Impacts and Adaptation Measures for the Water Resources Sector due to Extreme Events under Climate Change Conditions in Central America". Comité Regional de Recursos Hídricos del Istmo Centroamericano (CRRH), Universidad de Costa Rica (UCR).107p.

Alvarado, L. 2006. Escenarios de Cambio Climático para Centroamérica y Costa Rica. Proyecto 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 (SICA), Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH), Universidad de Costa Rica (UCR), Centro de Investigaciones Geofísicas de la UCR. 35p.

Alvarado, L.; Contreras, W.; Jiménez, S. 2011. Escenarios de Cambio Climático regionalizados para Costa Rica. Departamento de Climatología e Investigación Aplicada. Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Ministerio de Ambiente y Energía (MINAET). San José, Costa Rica. 43p.

Echeverría, J. 2011. Evaluación de la vulnerabilidad futura del sistema hídrico al Cambio Climático. Costa Rica. Proyecto: Mejoramiento de las capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y la adaptación del sistema hídrico al cambio climático en Costa Rica, como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el Índice de Desarrollo Humano. Ministerio de Energía, Minas y Telecomunicaciones (MINAET)- Instituto Meteorológico Nacional (IMN)- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 69p.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. IMN-CRRH-MINAET-PNUD. Autores: Retana, J.; Alvarado, L.; Solano, J.; Solera, M.; Araya, C.; Sanabria, N.; Pacheco, R.; Castro, V.; Calderón, F. . San José, Costa Rica. 75p.

Jones, R.; Mearns, L.; Magezi, S.; Boer, R. 2005. Evaluación de Riesgos Climáticos Futuros. Documento Técnico base para el Marco de Políticas de Adaptación. PNUD. Correspondencia personal. Sp.

Lim, B.; Siegfried, E.; Burton, I.; Malone, E.; Huq, S. 2005. Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático: Desarrollo de Estrategias, Políticas y Medidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. New York, USA. 258p.

Malone, E.; Robere, E. 2005. Evaluación de las condiciones socioeconómicas actuales y futuras. In: Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático: Desarrollo de Estrategias, Políticas y Medidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. New York, USA. 258p.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2002. Un enfoque del manejo del riesgo climático para la reducción de desastres y la adaptación al cambio climático. Reunión del grupo de expertos del PNUD para la integración de la reducción de desastres con la adaptación al cambio climático. La Habana, Cuba. Junio 17-19. 176p.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2004. La reducción de riesgos de desastres: Un desafío para el desarrollo , un informe mundial. . Dirección de Crisis y Recuperación. New York, USA. 146p.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2006. Resumen Informe sobre Desarrollo Humano. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Mundi Prensa Libros SA. Castelló, Madrid, España. 57p.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2008. Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido. Mundi Prensa Libros SA. Castelló, Madrid, España. 386p.

PRODUS (Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible). 2010. Diagnóstico Socioeconómico para Costa Rica. Proyecto Análisis de la vulnerabilidad del sector hídrico de Costa Rica

ante el Cambio Climático para aumentar las capacidades de adaptación y mejorar el índice de desarrollo humano. PNUD-IMN. Informe Final.552p.

Retana, J.; Villalobos, R.; Campos, M.; Chacón, A. 2005. Estimación del riesgo del sistema hídrico de la zona noroeste del Valle Central de Costa Rica ante los efectos de eventos meteorológicos extremos. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) – Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). Proyecto : Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. 12p.

Rodríguez, I. 2011. Sesenta mil costarricenses aún no reciben agua de tubería. La Nación. Aldea Global. Costa Rica. Mar. 22. Versión electrónica.

Rodríguez, I. 2011. El 15% de la población mundial padece algún tipo de discapacidad física. La Nación. Aldea Global. Costa Rica. Jun.10 . Versión electrónica.

Stolz, W.; Alvarado, L.; Villalobos, R.; Barrantes, J. 2006. Escenarios de cambio climático para Centroamérica y Costa Rica. Proyecto Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al Cambio Climático em Centroamérica, México y Cuba. Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)-Instituto Meteorológico Nacional (IMN). San José, Costa Rica. 107p.

Villagrán, J.C.2006. Vulnerability: A conceptual and methodological review. United Nations University. Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS). SOURCE: Studies of the University Research, Counsel, Education. Bonn. Germany. N4/2006. 64p.

Villalobos, R.; Retana, J.; Ramírez, S.; Machado, P. 2002. Mejoramiento de la capacidad técnica para mitigar los efectos de futuros eventos de la variabilidad climática en Costa Rica. El Niño. Proyecto Mitigación de Desastres en Centroamérica. Gobierno de Japón- BID. CRRH-CEPRENAC-IMN-SEPSA-ICE. San José, Costa Rica. 182p.

Wahlstrom, M. 2009. Reducción del riesgo de desastres, gestión de riesgos climáticos y desarrollo sostenible. Boletín OMM. Tiempo, Clima, Agua. Organización Meteorológica Mundial. Vol 53(3):165-174.

Winograd, M.; Farrow, A. 2000. Riesgo climático en América Central. Uso de la información para mejorar la toma de decisiones. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Banco Mundial (BM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 4p.

Zapata, R. 2006. Los efectos de los desastres en 2004 y 2005: la necesidad de adaptación de largo plazo. Serie Estudios y Perspectivas. Punto Focal de Evaluación de Desastres. CEPAL-ONU. México D.F. (54). 47p.

