



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Boletín Ambiental

Fotografía: libre

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales

200 | febrero de
2023

El ordenamiento territorial y
los eventos hidrocimatológicos extremos

IDEA
Instituto de Estudios Ambientales

El ordenamiento territorial y los eventos hidrocimatológicos extremos

Jeannette Zambrano Nájera
Ingeniera Civil, M.Sc., Ph.D
Profesora Asociada Departamento de Ingeniería Civil
Investigadora Instituto de Estudios Ambientales IDEA
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Llegar al número 200 del boletín ambiental representa el esfuerzo del IDEA por mantener su publicación desde la primera edición en el año 1990. Es la ocasión para agradecer a quienes nos han hecho partícipes de sus conocimientos mediante los artículos divulgados: profesores, estudiantes, ambientalistas, entidades gubernamentales, grupos de trabajo académico de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, y personas interesadas en los temas ambientales, quienes ya hacen parte de la producción académica de nuestra universidad.

Es la oportunidad de llamar la atención sobre cómo estamos actuando frente a la crisis climática. Este boletín tiene la intención de alertar sobre la necesidad urgente de repensar cómo estamos generando los procesos urbanizadores, cómo son los asentamientos sobre las cuencas, sobre la naturaleza, pero más aún, de actuar de manera inmediata para corregir, mejorar y prevenir mayores daños sobre el territorio.

1. Antecedentes

Cada vez es más frecuente encontrarse con noticias como las que se muestran en la Figura 1, donde se hace referencia a una fuerte inundación ocurrida en la ciudad de Medellín el 15 de enero de este año y que desafortunadamente causó la muerte de dos personas, quienes quedaron atrapadas en su carro, y además, hubo 23 heridos y numerosas pérdidas materiales.



Figura 1. Revista Semana (15 de enero de 2023)

Otro ejemplo es la fuerte granizada reportada en Manizales el 5 de marzo de 2019 (Figura 2), que causó además de problemas de movilidad, daños en infraestructuras como techados de viviendas, averías en los techos de los carros, como también, caída de algunos árboles. Acerca de las granizadas, es posible escuchar comentarios como: “caían granizos del tamaño de pelotas de tenis” haciendo referencia a la agresividad del granizo; he tenido la experiencia de haber estado atrapada en un vehículo durante una granizada y el impacto es bastante fuerte. Estos eventos no están cubiertos por las compañías de seguros ya que pertenecen al área de catástrofes naturales.



Figura 2. Radio Santafe (5 de marzo de 2019)

En la Figura 3 se muestra una noticia reciente de la ciudad de Bogotá que informa sobre la posible ocurrencia de tormenta eléctrica que se presenta cuando el aguacero está acompañado de actividad producida por rayos o truenos.



Figura 3. Revista Semana (16 de febrero de 2023)

Como estos casos, se podría continuar mencionando eventos meteorológicos extremos asociados a la ocurrencia de aguaceros fuertes o intensos (o ambos) o a la ausencia de lluvia durante periodos prolongados. Eventos como inundaciones en ríos y quebradas, en vías, en canales, desbordamiento del alcantarillado en viviendas, caída de árboles, deslizamientos, tormentas eléctricas, incendios, islas de calor, etc. Todo esto agravado por la posible ocurrencia de varios de ellos al tiempo, causando verdaderos problemas al limitar la capacidad de actuación de las autoridades, ya que muchas veces, los sistemas tecnológicos de soporte fallan; por ejemplo, fallas en la energía causan a su vez, fallas en equipos de alerta, se producen daños en computadores, líneas telefónicas, etc.

La situación es, por tanto, compleja; ya se había anunciado de manera profusa por la comunidad científica una crisis climática, pero de mi parte, adicionaría a esto, una crisis del ordenamiento territorial, ya que, aunque el cambio climático es una de las principales amenazas a nivel global, los fenómenos anteriormente mencionados, no necesariamente son producto de este. Fenómenos locales como los procesos de urbanización acelerados, la impermeabilización de cuencas de manera masiva y la destrucción de ecosistemas en zonas urbanas son suficientes por sí solos para causar esta crisis ambiental y sistémica.

En el orden mundial se ha documentado que una gran porción de los desastres que ocurren tiene causas u origen de naturaleza hídrica; por ejemplo, el Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) por su sigla en inglés, indica que para el 2018 el 95 % de los desastres naturales tenían origen hídrico. En la Figura 4 se observa que, según el CRED, el 38 % fueron inundaciones y el 30 % tormentas; que dichos eventos causaron el 24 % y 15 % de muertes de manera respectiva y afectaron a un 50 % y 28 % de la población, respectivamente.

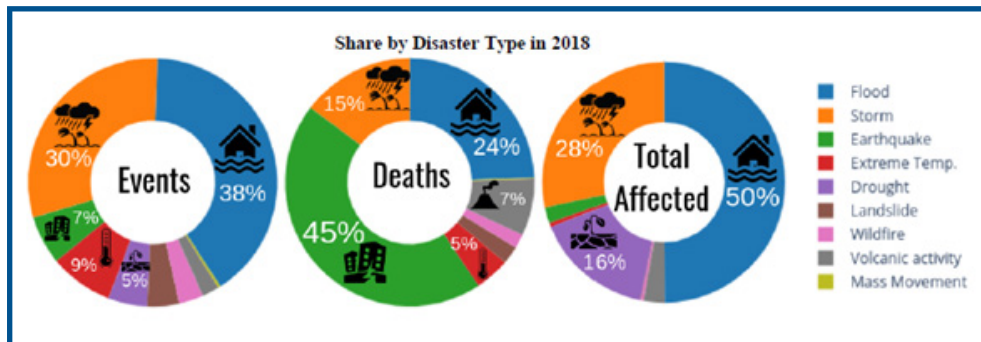


Figura 4. Tipos de desastres Naturales en el mundo durante el 2018. Fuente: CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED), 2019

Al hacer énfasis específicamente en los eventos extremos, autores como Hoeppe, Shen y Hwang atribuyen el 80 % de los desastres a estos, lo que indica la importancia de estudiarlos y de prestarles mayor atención (Hoeppe, 2016; Shen & Hwang, 2019). Una proporción similar señala la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que indica que, durante los últimos cincuenta años, los eventos hidrometeorológicos extremos han causado nueve de cada diez desastres en el mundo (OMM, 2009, 2011). Estos fenómenos de precipitación extrema han ocasionado, en la primera mitad del siglo XXI, inundaciones, desbordamientos y deslizamientos, entre otros desastres.

Existen estudios que muestran que estos fenómenos están cambiando en el tiempo (Bocheva et al., 2009; Cavazos & Rivas, 2004; Kunkel et al., 2003), y su análisis ha sido de gran importancia debido a los eventos que desencadenan (por ejemplo, deslizamientos, inundaciones, etc.). En este sentido, el último informe de riesgo global realizado por el Foro Económico Mundial indica que entre los riesgos más probables de los próximos diez años se encuentran los fenómenos meteorológicos extremos con impactos negativos relevantes, como pérdida de vidas humanas, daños a los ecosistemas, destrucción de bienes, y pérdida financiera, a escala global (AghaKouchak et al., 2020; World Economic Forum, 2021).

El cambio en los indicadores climáticos ha sido reportado por varios autores alrededor del mundo. Por ejemplo, (Ribes et al., 2019) encontraron que los eventos de precipitación extrema en el periodo 1961 – 2015 se incrementaron significativamente en un valor medio del 22 % en la región Mediterránea de Francia, mientras que, (Tramblay et al., 2012) no reportaron tendencias significativas en Marruecos para el mismo periodo. Sin embargo, los cambios de frecuencia e intensidad no son uniformes en el espacio y varían según la región debido a los diferentes impulsores que interactúan en los cambios extremos de precipitación (Balmaceda-Huarte et al., 2021; Donat et al., 2016; Tabari, 2020). Tabari et al. (Tabari, 2020) mostraron que los cambios en las inundaciones y precipitaciones extremas en todo el mundo se han intensificado en respuesta al calentamiento global.

2. Definición de evento extremo

Un evento extremo de precipitación se define como: un evento que se desvía del valor medio de precipitación y supera un umbral previamente establecido. La definición del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) por su sigla en inglés, define un evento extremo como: “aquel fenómeno meteorológico “raro” en términos de su distribución estadística de referencia; presenta una baja frecuencia de ocurrencia en el tiempo, esto quiere decir que, entre evento y evento existen periodos extensos” (Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), 2012).

De manera que, una forma usual de determinarlos es estableciendo el umbral, el que es arbitrario y debe ser definido según cada zona. Diferentes percentiles son tomados por distintos autores como el percentil 90 para eventos extremos y el percentil 95 para eventos extraordinarios (Jin et al., 2022), el percentil 98.6 (White et al., 2022) o el 99 (León-Cruz et al., 2022; Salack et al., 2018). Entre estas metodologías, una clasificación bastante utilizada es la del Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) quienes pro-

ponen los percentiles 95 y 99 para definir eventos extremos y muy extremos respectivamente, programados en la herramienta RCLimDex. Los indicadores completos se presentan en la Tabla 1. Todos los anteriores umbrales deben ser estimados a partir de la serie diaria.

Tabla 1. Serie de indicadores propuestos por el ETCCDI para estimar los eventos extremos de precipitación

| Acrónimo | Índice | Descripción | Unidad |
|-----------------|--|--|---------------|
| CWD | Días consecutivos húmedos extremos | Máximo número de días consecutivos que días húmedos (Precipitación > 1mm) | días |
| CDD | Días consecutivos secos extremos | Máximo número de días consecutivos secos (Precipitación < 1mm) | días |
| RP95 | Días de precipitación extrema | Número anual de días con precipitación mayor al P95 en el periodo de estudio | días |
| RP99 | Días de precipitación muy extrema | Número anual de días con precipitación mayor al P99 en el periodo de estudio | días |
| R95pTOT | Días muy húmedos | Precipitación total anual cuando P>P95 en el periodo de estudio | mm |
| R99pTOT | Días extremadamente húmedos | Precipitación total anual cuando P>P99 en el periodo de estudio | mm |
| PRCPTOT | Precipitación total anual en días húmedos | Cantidad de precipitación total anual acumulada en días húmedos | mm |
| Rx1day | Máxima precipitación en un día | Máxima precipitación diaria en un periodo anual | mm |
| SDII | Intensidad diaria de precipitación en días húmedos | Precipitación total anual dividida por el número de días húmedos en el año | mm/día |

También se pueden mencionar aquellos enfoques basados en el cálculo de periodos de retorno de lluvias intensas (Gutiérrez Lozano et al., 2012; Kunkel et al., 2003). Es importante señalar que cada uno de estos enfoques presenta sus propias ventajas y limitaciones.

2.1 Valores eventos extremos

Como se mencionó anteriormente, se han realizado numerosos estudios sobre las series diarias de precipitación, que es la forma usual de análisis. Un estudio realizado (con el percentil 90 y FDP) en la cuenca Huaihe en China, muestra que, si los eventos son clasificados únicamente por cantidad precipitada, los eventos extremos diarios son superiores a 90 mm para esa cuenca, como se observa en la Tabla 2. Pero si son clasificados por intensidad de precipitación mm/d, los eventos extremos diarios son superiores a 74 mm (Tabla 3). Como se observa, los resultados son notoriamente diferentes, ya que, los eventos más cuantiosos no necesariamente son los de mayor intensidad.

Tabla 2. Estadísticas de eventos extremos de precipitación para diferentes zonas de la cuenca Huaihe en China. Fuente: Jin et al., 2022

| Índice | Zona 1 | Zona 2-1 | Zona 2-2 | Zona 3 | Zona 4 | Cuenca total |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|--------|--------------|
| Precipitación (mm) | 109.4 | 89.9 | 105.6 | 91.2 | 100.0 | 95.7 |
| Fecha de inicio (d) | 192.6 | 202.4 | 193.1 | 204.4 | 201.7 | 200.4 |
| Fecha de fin (d) | 196.2 | 205.3 | 196.8 | 207.0 | 204.8 | 203.4 |
| Duración (d) | 4.5 | 3.8 | 4.6 | 3.5 | 4.0 | 4.0 |
| Intensidad (mm/d) | 29.2 | 29.0 | 28.7 | 32.3 | 30.6 | 30.1 |

Tabla 3. Estadísticas de eventos extremos de precipitación basadas en indicadores de intensidad para diferentes zonas de la cuenca Huaihe en China. Fuente: Jin et al., 2022

| Índice | Zona 1 | Zona 2-1 | Zona 2-2 | Zona 3 | Zona 4 | Cuenca total |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|--------|--------------|
| Precipitación (mm) | 88.8 | 73.7 | 85.7 | 78.5 | 83.0 | 79.5 |
| Fecha de inicio (d) | 179.7 | 190.6 | 189.0 | 198.0 | 197.7 | 192.5 |
| Fecha de fin (d) | 181.2 | 191.9 | 190.6 | 199.2 | 199.1 | 193.8 |
| Duración (d) | 2.5 | 2.3 | 2.6 | 2.2 | 2.4 | 2.4 |
| Intensidad (mm/d) | 34.7 | 33.5 | 34.6 | 37.4 | 36.5 | 35.2 |

Un estudio realizado en México (con el percentil 99), al diferenciar con resultados no influenciados por ciclones tropicales, encuentra que los eventos extremos diarios en Colima, México, oscilan en 100 y 140 mm, pudiendo llegar hasta los casi 400 mm en octubre (época húmeda en dicha zona) (León-Cruz et al., 2022).

Para identificar las tendencias de las precipitaciones en Colombia, los autores han utilizado diversas metodologías, técnicas estadísticas, bases de datos y longitud de registros. Dichos estudios no coinciden en si se incrementan o decrecientan los valores extremos en Colombia.

Carmona y Poveda (Carmona & Poveda, 2014), utilizaron la prueba de Mann-Kendall y la prueba de Sen para identificar tendencias y cuantificar sus magnitudes, respectivamente, para el análisis de estaciones pluviométricas con más de 25 años. Encontraron tendencias mixtas sin un patrón claro, a excepción de la región del Pacífico, donde la tendencia aumentó debido a la influencia de la humedad en el Pacífico y Chocó Jet.

Un grupo numeroso de autores ha utilizado el método estandarizado RCLim-Dex para Colombia, bien sea, en todo el territorio colombiano o en regiones específicas del mismo (Cantor, 2011; Mayorga R. et al., 2011; Ocampo López et al., 2020; Pabón-Caicedo, 2012; Rodríguez Torres, 2018). Los resultados coinciden en que la precipitación anual en la segunda mitad del siglo XX registró cambios diferenciados por regiones (Mayorga R. et al., 2011; Pabón-Caicedo, 2012). Conclusiones más específicas indican un 71 % de estaciones con tendencia creciente, 22 % con tendencia decreciente y 7 % sin señal según Mayorga y otros (Mayorga R. et al., 2011) o 796.53 % sin tendencia; el 13.56 % tendencia creciente y el 10.06 % tendencia decreciente distribuidas en el centro y noroeste de Colombia, según Cantor (Cantor, 2011).

Por su parte, en Colombia, en la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, se utilizaron los índices de precipitación extrema y se encontró una tendencia positiva de la precipitación anual en la mayor parte del territorio colombiano, excepto para las regiones climáticas asociadas al piedemonte andino, piedemonte llanero, Alto Magdalena y la parte sur de la región del Alto Cauca. En dicho informe se destaca que las tendencias no fueron estadísticamente significativas en todos los índices analizados (IDEAM et al., 2017). Lo que nuevamente coincide con lo anterior.

Para entrar más en detalle se comenta el trabajo de Rodríguez (2018), quien toma información del IDEAM, la que, a su vez, es comparada con la información satelital Tropical Rainfall measuring Mission (TRMM) y Climate Hazard Group InfraRed Precipitation (CHIRPS). Esta información es analizada teniendo en cuenta los índices propuestos por el (ETCCDI). En la Figura 5 se muestran las diferentes regiones de Colombia y específicamente para Caldas; encuentra Rodríguez que ni los eventos extremos diarios (RP95), ni los muy extremos (RP99) presentan una tendencia significativa (Rodríguez Torres, 2018).

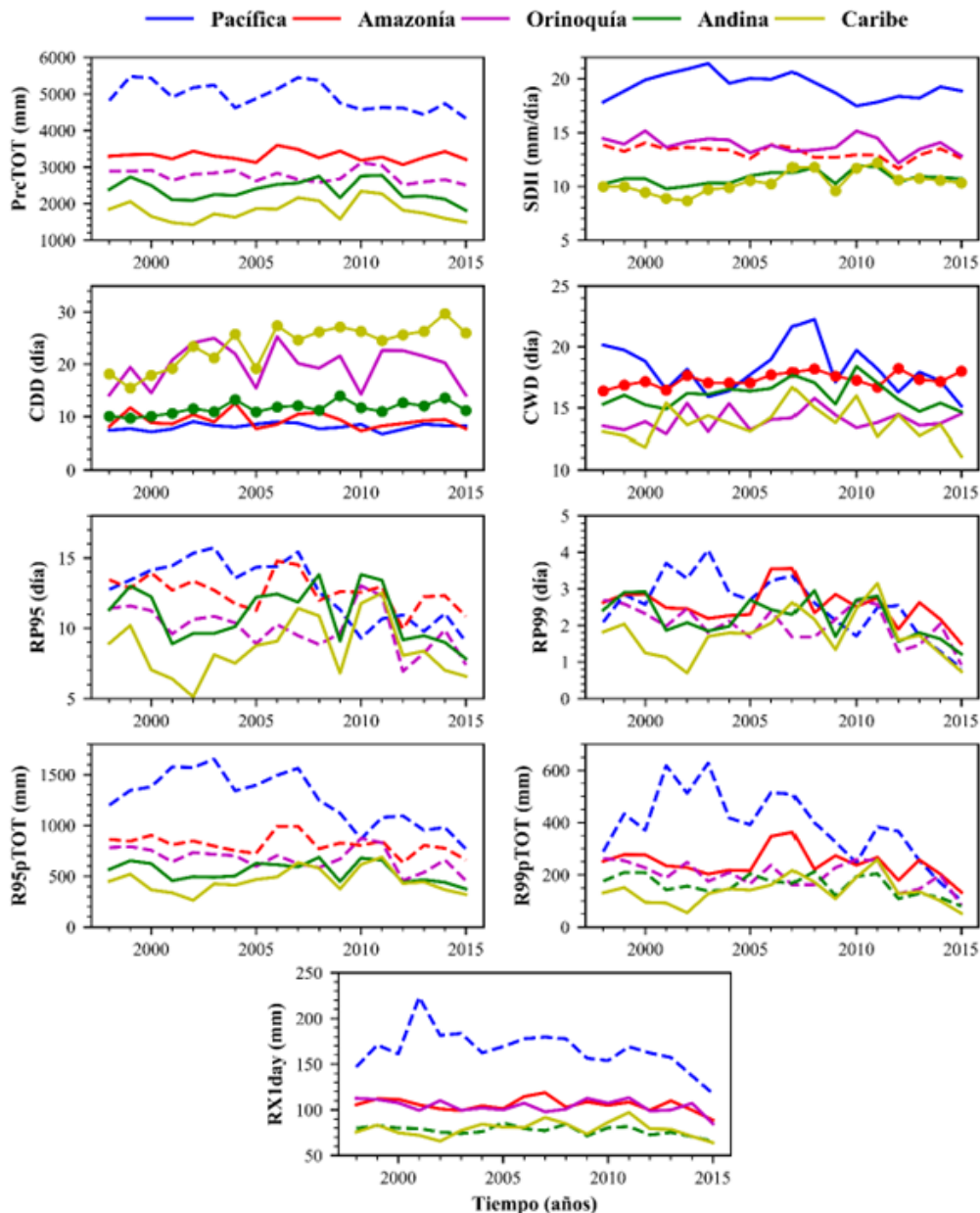


Figura 5. Promedios regionales anuales de los índices de precipitación extrema definidos por el ETCCDI durante el periodo 1998-2015. Las líneas discontinuas indican tendencia significativa negativa, las líneas con círculos indican tendencia significativa positiva y las líneas continuas indican que no hay tendencia significativa. Fuente: Rodríguez Torres, 2018

En la misma figura se observa que los extremos anuales (R95TOT) tampoco presentan tendencia significativa, mientras que los eventos muy extremos anuales presentan tendencia negativa es decir hacia el decrecimiento. Los resultados de la figura anterior se presentan consolidados en la Tabla 4.

Tabla 4. Tasas de cambio de los índices de precipitación extrema definidos por el ETCCDI con tendencias significativas según la Figura 5. Fuente: Rodríguez Torres, 2018

| Índice | Pacífico | Amazonía | Orinoquía | Andina | Caribe |
|--------------------------|----------|----------|-----------|--------|--------|
| CDD (día/año) | --- | --- | --- | 0.13 | 0.62 |
| CWD (día/año) | --- | 0.05 | --- | --- | --- |
| PrcTOT (mm/año) | -44.00 | --- | -13.05 | --- | --- |
| R95PTOT (mm/año) | -36.20 | -7.39 | -11.03 | --- | --- |
| R99PTOT (mm/año) | -16.19 | --- | -5.10 | -3.88 | --- |
| RP95 (mm/día) | -0.31 | -0.11 | -0.14 | --- | --- |
| RP99 (mm/día) | -0.10 | --- | -0.05 | --- | --- |
| Rx1day (mm/año) | -2.11 | --- | --- | -0.51 | --- |
| SDII (mm/díaxaño) | --- | -0.07 | --- | --- | 0.10 |

Con respecto a las intensidades, Mesa et al. estudiaron las tendencias de la intensidad hidroclimática en Colombia utilizando el registro de todos los pluviómetros disponibles en Colombia y la base de datos (CHIRPS) y estimaron tendencias en las principales variables que describen la precipitación, incluyendo un índice de la hidrología, intensidad del ciclo. Sus resultados mostraron que ninguno de los dos conjuntos de datos muestra tendencias estadísticamente significativas. Sin embargo, concluyen que las tendencias crecientes prevalecen sobre las decrecientes (Mesa et al., 2021).

Con respecto al análisis de frecuencia de eventos extremos, Coronado-Hernández et al. determinaron la precipitación máxima diaria en las regiones de Colombia, considerando un periodo de retorno de 100 años, donde el valor mínimo se alcanzó en la región Andina, con un valor de 42,6 mm, y el valor máximo se reportó en la región Caribe, alcanzando una precipitación extrema de 306 mm (Coronado-Hernández et al., 2020).

En el departamento de Caldas se cuenta con el trabajo realizado del análisis de eventos extremos con los índices del RClindex (es decir, los mismos índices anteriores). El trabajo arroja que, para los extremos de precipitación, en términos anuales, 22 estaciones presentan tendencias de crecimiento en los eventos extremos mientras que 15 en los muy extremos, como se muestra en la Figura 6; muchas de estas ubicadas en la zona centro sur del departamento. Adicionalmente, el índice de intensidad diaria también muestra tendencia al crecimiento en 22 estaciones. Estas diferencias, entre diferentes tipos de trabajos, lo que indican es la necesidad de continuar con la investigación al respecto, y sobre todo realizar siempre estudios locales, porque las tendencias en una región pueden ser totalmente diferentes a otra.

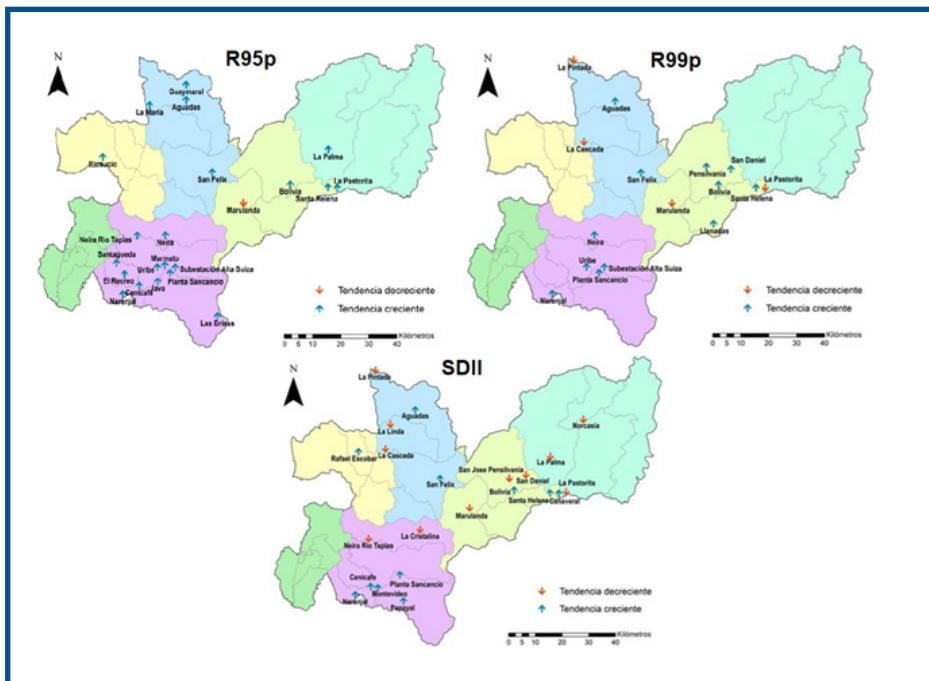


Figura 6. Días muy húmedos (R95p) y extremadamente húmedos (R99p) e índice simple de intensidad diaria (SDII) en el departamento de Caldas. Fuente: Ocampo López et al., 2020

3. Propuesta de alternativas

Independientemente de los cambios en los eventos extremos en las cuencas colombianas, lo que sí es una certeza, es que dichos cambios están generando afectaciones graves en nuestras ciudades. La principal causa es la forma como ocupamos el territorio, ya que generamos cambios en el mismo que alteran el ciclo hidrológico y las condiciones climáticas. Por tal razón, aunque debemos continuar con las investigaciones sobre los extremos de precipitación, es importante tomar acciones de forma inmediata. Las que propongo de manera central son las siguientes:

3.1 Maximizar las áreas permeables

Considero que uno de los principales problemas en los efectos locales sobre el clima y la hidrología es el alto nivel de impermeabilización de las cuencas. Esto hace referencia al proceso en el que se cubre el suelo natural con materiales duros y la cobertura vegetal es reemplazada, de manera que el suelo queda desconectado del ciclo hidrológico. Esto se ejemplifica en la Figura 7. Por tanto, es urgente dejar de impermeabilizar el territorio para que el suelo pueda ejercer su papel regulador en el ciclo hidrológico, almacenando el agua.

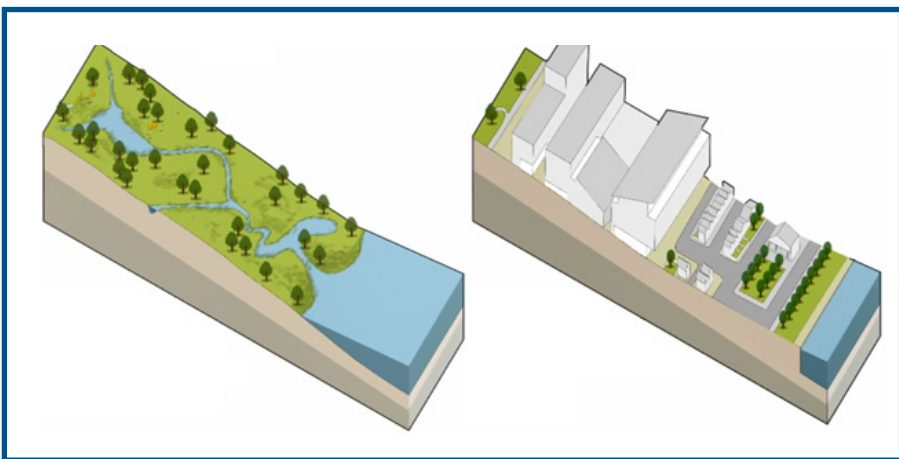


Figura 7. Ejemplo del cambio en las cuencas. Fuente: SUDS.org

Para esto, se debe reducir la cantidad de áreas que se impermeabilizan de manera innecesaria como parqueaderos, parques, andenes, etc. Todas las áreas pueden ser reemplazadas por estructuras equivalentes que permitan el ingreso de agua al suelo. Es urgente garantizar que todas las zonas cuenten con un porcentaje mínimo de áreas permeables, lo que se puede conseguir, 1) simplemente dejando un área verde o permeable sin intervención, 2) volviendo permeables áreas de parqueaderos, vías o andenes mediante el uso de técnicas como pavimentos permeables, o 3) permitiendo pequeñas zonas de inundación en andenes o áreas lineales en las vías. Algunos ejemplos se muestran en la Figura 8. Esto no debe dejarse a voluntad de los constructores, sino que deben existir normas muy estrictas al respecto, tanto para estos como para el municipio, de garantizar mínimo un 30 % del área de nuestras cuencas como área permeable. La que además no debe estar concentrada sino distribuida.



Figura 8. Ejemplo de diferentes soluciones que se pueden plantear para mantener las áreas permeables. Fuente: Zambrano Nájera, 2020

3.2 Aumentar la cobertura vegetal

Otro aspecto de gravedad en las cuencas es la gran tendencia de retirar la cobertura vegetal para construir o para evitar “problemas” de mantenimiento, ya que muchas veces se considera la cobertura como un estorbo o una dificultad. Esto está trayendo graves conflictos ambientales, entre ellos, la ocurrencia extrema de eventos. Una vez retirada la vegetación de las ciudades, es un poco complejo volver a implementarla, pero el papel que juegan estas en el control del clima es muy alto, por tanto, se deben hacer esfuerzos por mantener altos niveles de coberturas en todas las áreas. El objetivo es no dejar áreas expuestas con materiales que absorben o peor aún reflejan la radiación del sol en grandes cantidades ya que esto hace que el clima se descontrole, generando islas de calor y otros problemas climáticos. Algunas alternativas son colocar techos o muros verdes; las áreas permeables que se mencionaron en el ítem anterior deben contener niveles mínimos de vegetación, y estas, en lo posible, deben ser arbóreas. Algunos ejemplos se muestran en la Figura 9.



Figura 9. Ejemplos de diferentes soluciones que se pueden plantear para mantener la cobertura vegetal. Fuente: Zambrano Nájera, 2020

3.3 Proteger los servicios ecosistémicos presentes o intentar recuperarlos

Existen zonas especiales en las ciudades, que dentro de la cuenca que las alberga, jugaban un papel fundamental en regular los eventos extremos, como, por ejemplo, las playas de los ríos para albergar material de sedimentos para que no se produzcan procesos erosivos, o controlar las inundaciones, igualmente, las rondas de los ríos. Otro ejemplo serán los humedales húmedos o secos para controlar la contaminación de quebradas o ríos. Desafortunadamente, muchas de estas zonas se ven como oportunidades de ocupación del territorio para adecuar viviendas, con lo que la cuenca pierde la zona que se había dejado para ofrecer el servicio ambiental de regulación climática o de extremos, entre muchos otros servicios.

Es importantísimo, más bien urgente, reconocer dichas zonas en las ciudades y, las que aún se conservan, protegerlas y mantenerlas; mientras que aquellas que fueron eliminadas, debe intentarse restaurarlas (si esta medida es posible) o mitigar el impacto que se genera por no contar con dicho servicio. Para esto se propone una serie de medidas que se denominan Soluciones Basadas en la Naturaleza SbN, cuyo objetivo es precisamente prestar el servicio ecosistémico que fue perturbado o eliminado. Algunos ejemplos se presentan en la Figura 10.



Figura 10. Ejemplo de diferentes Soluciones Basadas en la Naturaleza
Fuente: Zambrano Nájera, 2020

3.4 Cambiar el sistema constructivo a sistemas verdes

Las edificaciones producen un impacto considerable sobre la salud humana y el entorno. El Consejo de la Construcción Ecológica de los Estados Unidos (U.S. Green Building Council, USGBC) afirma que los edificios en Estados Unidos son responsables de (Rosenberg & Blust, 2006)

- El 14 % del consumo de agua potable,
- El 30 % de la producción de desechos,
- El 40 % del uso de materias primas,
- El 38 % de las emisiones de dióxido de carbono,
- El 24 % al 50 % del uso de la energía,
- El 72 % del consumo de la electricidad.

De manera que, resulta fundamental implementar medidas para lograr aportar en los objetivos de disminución de los GEI y del consumo de energía y otros recursos. Adicionalmente, son superficies duras lo que aporta al desequilibrio climático y del ciclo hidrológico.

Para esto existen guías claras sobre cómo realizar dichas construcciones, de manera que se logre disminuir al máximo el consumo de energía, la reflectancia de la radiación, aportar en el control de los extremos de temperaturas, así como de otras variables climáticas, entre muchos otros beneficios.

Por tanto, la tendencia hacia las prácticas de construcción sustentable se ha acelerado considerablemente a nivel internacional en la década anterior, lo que ha contribuido a cambiar el mercado de los productos y servicios asociados, a la generación de ideas y tecnologías cada día más innovadoras y a cambiar la cultura de las comunidades (Zambrano Nájera, 2020).

Por ejemplo, la revista AXXIS relaciona cinco proyectos arquitectónicos en Colombia, que son realmente muy innovadores, como el edificio Matorral ubicado en Medellín donde cada piso tiene jardín (Figura 11) que funciona como huerta urbana.



Figura 11. Ejemplo de edificaciones bioclimáticas; en la foto edificio Matorral en Medellín, Colombia. Fuente: Zambrano Nájera, 2020

4. Conclusiones

El mundo enfrenta una crisis climática grave y compleja. Dentro de esta, un aspecto que genera mayores impactos es el aumento de la frecuencia y la magnitud de los eventos extremos de todas las variables climáticas e hidrológicas. La precipitación es una de las de mayor importancia en Colombia, por encontrarnos en el trópico andino.

De manera natural los eventos extremos causan otro tipo de eventos asociados, como inundaciones, deslizamientos, entre muchos otros. Pero la agudización de estos y el aumento de su frecuencia, genera que no se cuente con tiempo, o recursos suficientes para atender los problemas derivados, entre evento y evento. De manera que, no alcanzan los recursos para atender las emergencias.

Adicionalmente, la manera en que se ocupa el territorio incrementa la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas a los impactos generados por dichos eventos extremos. Es más, se agudizan los extremos, ya que dicha forma de ocupación crea entre otros problemas, niveles muy altos de impermeabilización de las cuencas. Esto genera cambios o desbalances en el clima y la hidrología. De hecho, muchos autores atribuyen entre el 70 – 90 % los desastres a los eventos extremos.

Por lo anterior, la investigación está dedicada a averiguar e identificar de manera más precisa los cambios que se están generando en los eventos extremos, a definir su magnitud, los cambios en las frecuencias, los impactos que ocasionan, entre muchas otras temáticas. De hecho, a la fecha se han realizado numerosos estudios tanto en el ámbito internacional como nacional.

En Colombia, se ha llegado a la conclusión de que los eventos extremos de precipitación están cambiando, pero dichos cambios varían considerablemente entre región y región. Aunque, las mediciones en tierra (y las de los satélites) aún no arrojan resultados estadísticamente significativos, existe cierto consenso en que para ciertas regiones la tendencia es positiva, es decir, al crecimiento. Tal es el caso de Caldas.

Por tal razón, es importante continuar con la investigación sobre eventos extremos de manera local, ya que los impactos son significativos. Pero adicionalmente, es mucho más importante tomar acciones para revertir o mitigar dichos impactos. En este artículo se proponen cuatro líneas de acción: 1) maximizar de manera regulada y controlada las áreas permeables, 2) aumentar y/o proteger la cobertura vegetal, 3) proteger los servicios ecosistémicos o garantizar su recuperación y 4) cambiar las normas constructivas e incentivar las edificaciones bioclimáticas.

5. Referencias

AghaKouchak, A., Chiang, F., Huning, L. S., Love, C. A., Mallakpour, I., Mazdiyasn, O., Moftakhari, H., Papalexio, S. M., E., R., & Sadegh, M. (2020). Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 48, 519–548.

Balmaceda-Huarte, R., Olmo, M. E., Bettolli, M. L., & Poggi, M. M. (2021). Evaluation of multiple reanalyses in reproducing the spatio-temporal variability of temperature and precipitation indices over southern South America. *International Journal of Climatology*, 41(12), 5572–5595. <https://doi.org/10.1002/joc.7142>

Bocheva, L., Marinova, T., Simeonov, P., & Gospodinov, I. (2009). Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961–2005). *Atmospheric Research*, 93(1–3), 490–497. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.025>

Cantor, D. C. (2011). Evaluación y Análisis Espacio Temporal de Tendencias de Largo Plazo en la Hidroclimatología Colombiana. Master's Thesis, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Carmona, A. M., & Poveda, G. (2014). Detection of long-term trends in monthly hydro-climatic series of Colombia through Empirical Mode Decomposition. *Clim. Chang.*, 123, 301–313.

Cavazos, T., & Rivas, D. (2004). Variability of extreme precipitation events in Tijuana, Mexico. *Climate Research*, 25(3), 229–243. <https://doi.org/10.3354/cr025229>

CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). (2019). *Disasters 2018 : Year in Review*. CRED Crunch, 54, 2.

Coronado-Hernández, Ó. E., Merlano-Sabalza, E., Díaz-Vergara, Z., & Coronado-Hernández, J. R. (2020). Selection of Hydrological Probability Distributions for Extreme Rainfall Events in the Regions of Colombia. *Water*, 12(5), 1397. <https://doi.org/10.3390/w12051397>

Donat, M. G., Alexander, L. V., Herold, N., & Dittus, A. J. (2016). Temperature and precipitation extremes in century-long gridded observations, reanalyses, and atmospheric model simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(19). <https://doi.org/10.1002/2016JD025480>

Hoeppel, P. (2016). Trends in weather related disasters – Consequences for insurers and society. *Weather and Climate Extremes*, 11, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.002>

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2017). Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC).

Jin, H., Chen, X., Zhong, R., Pan, Y., Zhao, T., Liu, Z., & Tu, X. (2022). Spatiotemporal distribution analysis of extreme precipitation in the Huaihe River Basin based on continuity. *Natural Hazards*, 114(3), 3627–3656. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05534-1>

Kunkel, K. E., Easterling, D. R., Redmond, K., & Hubbard, K. (2003). Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895-2000. *Geophysical Research Letters*, 30(17), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2003GL018052>

León-Cruz, J. F., Díaz-Peón, A. L., & Rodríguez-García, H. I. (2022). Eventos extremos de precipitación en Colima, México (1981-2018). *Investigaciones Geográficas*, 107. <https://doi.org/10.14350/rig.60516>

Mayorga R., Hurtado, G., & Benavides, H. (2011). Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística. Nota Técnica del IDEAM, IDEAM-METEO/001-2011, Bogotá D.C.

Mesa, O., Urrea, V., & Ochoa, A. (2021). Trends of Hydroclimatic Intensity in Colombia. *Climate*, 9(7), 120. <https://doi.org/10.3390/cli9070120>

Ocampo López, O. L., Vélez Upegui, J. J., Marín Salazar, J. P., & Forero Hernández, A. T. (2020). Análisis de tendencias climáticas con RCLimdex en el departamento de Caldas, Colombia. *Scientia et Technica*, 25(4), 595-603. <https://doi.org/10.22517/23447214.22771>

OMM. (2009). La información sobre el clima, un instrumento para reducir los riesgos de desastres. Tercera Conferencia Mundial Sobre El Clima. Organización Meteorológica Mundial.

OMM. (2011). El Clima y Tú. Organización Meteorológica Mundial.

Pabón-Caicedo, J. D. (2012). Cambio Climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX Y escenarios posibles para el siglo XXI. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Físicas Nat.*, 36, 261-278.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* (C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, & Q. Dahe (eds.)). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>

Ribes, A., Thao, S., Vautard, R., Dubuisson, B., Somot, S., Colin, J., Planton, S., & Soubeyroux, J.-M. (2019). Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean. *Climate Dynamics*, 52(1), 1095-1114.

Rodríguez Torres, M. (2018). Caracterización de eventos extremos de precipitación diaria en Colombia: observaciones, simulaciones y proyecciones. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Rosenberg, H. J., & Blust, K. (2006). Guía de Conceptos Básicos de Edificios verdes y LEED (Core Concepts and LEED Guide).

Salack, S., Saley, I. A., Lawson, N. Z., Zabré, I., & Daku, E. K. (2018). Scales for rating heavy rainfall events in the West African Sahel. *Weather and Climate Extremes*, 21, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.05.004>

Shen, G., & Hwang, S. N. (2019). Spatial–Temporal snapshots of global natural disaster impacts Revealed from EM-DAT for 1900–2015. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 912–934. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1552630>

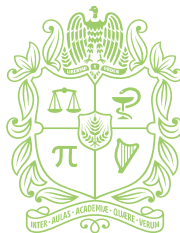
Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Sci. Rep.*, 10, 1–10.

Tramblay, Y., Badi, W., Driouech, F., El Adlouni, S., Neppel, L., & Servat, E. (2012). Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco. *Global and Planetary Change*, 82–83, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.12.002>

White, B. A., Jakob, C., & Reeder, M. J. (2022). Fundamental Ingredients of Australian Rainfall Extremes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(17). <https://doi.org/10.1029/2021JD036076>

World Economic Forum. (2021). *The Global Risks Report 2021*, 16th ed.; World Economic Forum: Geneva, Switzerland, ISBN 9782940631247.

Zambrano Nájera, J. (2020). Plan maestro de los campus La Nubia y Palogrande de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Componente ambiental. Propuesta de Lineamientos. Informe técnico. Vol 2.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -
Teléfono: 8879300 Ext. 50190
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas
<http://idea.manizales.unal.edu.co>
idea_man@unal.edu.co

Edición, Diseño y Diagramación: IDEA Sede Manizales
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales