

MAREJADAS EN CRECIDA

CÓMO LA CIENCIA PUEDE EMPODERAR A LAS
COMUNIDADES FRENTE A LAS INUNDACIONES

RESUMEN EJECUTIVO

Marejadas en Crecida es un informe creado por la AGU, una sociedad científica internacional y sin fines de lucro que se dedica a promover las geociencias y las ciencias espaciales en pro de la humanidad. Cuenta con una revisión de pares realizada por peritos de renombre en los campos mencionados.

Entre monzones devastadores y el aumento del nivel del mar, los fenómenos meteorológicos extremos están haciendo estragos en todo el mundo. *Marejadas en crecida* examina las inundaciones en los Estados Unidos y enseña cómo la ciencia está ayudando a gestionarlas y promover las soluciones necesarias para mitigar su impacto en la ciudadanía y la propiedad de cara al futuro.

Los autores del informe destacan tres tipos de inundaciones--las provocadas por los huracanes, las continentales y las costeras--mediante anécdotas lugareñas. En 2017, el Huracán Harvey golpeó la ciudad de Houston, Tejas, en lo que fue el segundo fenómeno meteorológico más destructivo de la historia de los Estados Unidos, y la ciudad todavía se está recuperando. La ciudad de De Soto, Misuri es un ejemplo de las muchas zonas de la región medio oeste del país asoladas por las inundaciones relámpago recurrentes. La zona de Hampton Roads, en la costa de Virginia, ha sido víctima del hundimiento del subsuelo y del aumento en el nivel del mar.

Mediante estas y otras historias, y valiéndose de datos de peso sobre inundaciones en varias regiones de los Estados Unidos, el informe demuestra que la investigación científica y la

recopilación de datos son imprescindibles a la hora de dar con soluciones actuales y futuras para mitigar las inundaciones. Contar con una financiación sólida permite a las agencias federales relacionadas con la ciencia impulsar el avance de la misma y brindar un apoyo crítico para las comunidades y los individuos más vulnerables.

Marejadas en crecida recomienda medidas que pueden lanzar los miembros y líderes de comunidades, científicos, agencias federales y funcionarios encargados de la adopción de políticas para empoderar a las comunidades a la hora de tomar decisiones en pos de un futuro más resiliente y sostenible.

Las comunidades pueden valerse de este documento para informar y guiar el diálogo con las partes interesadas a nivel local, regional y nacional. Los legisladores tienen que saber que a la ciudadanía le preocupa los problemas relacionados con las inundaciones y que apoya a los científicos que intentan resolverlos. Es imprescindible que la ciencia, con el apoyo de los funcionarios encargados de la adopción de políticas, siga inspirando la rapidez de respuesta y fomentando la colaboración y empoderando a las comunidades.

Para preparar a nuestra nación de cara a los retos que nos deparen las inundaciones y otros fenómenos meteorológicos extremos en el futuro, este informe termina con propuestas para lograr los siguientes objetivos:

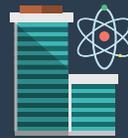
- **Empoderar a las comunidades** para que tomen decisiones en pos de un futuro resiliente y sostenible
- **Empoderar a los científicos** para que realicen investigación científica y recopilación de datos sólidos
- **Priorizar la colaboración** entre científicos que estudien tanto el mundo natural como el comportamiento humano y la interacción entre la comunidad científica y el público general.

Las propuestas enteras figuran al final del informe. En resumidas cuentas, proponemos lo siguiente:



EL CONGRESO PUEDE

- Financiar a las agencias federales científicas pertinentes
- Invertir en programas y centros científicos transversales
- Apoyar políticas fundadas en datos contrastados
- Hacer hincapié en la planificación de cara al futuro



LAS AGENCIAS FEDERALES, JUNTO CON LOS CENTROS CIENTÍFICOS UNIVERSITARIOS O GUBERNAMENTALES, PUEDEN

- Priorizar las asociaciones y la colaboración
- Hacer partícipes a las comunidades
- Fijar objetivos en ámbitos de investigación y planificación críticos



LOS CIENTÍFICOS PUEDEN

- Hacer partícipes a las comunidades.
- Impulsar la colaboración e investigación interdisciplinarias



LAS COMUNIDADES PUEDEN

- Aprovechar los recursos existentes



LOS INDIVIDUOS PUEDEN

- Informarse
- Crear un plan
- Promover la ciencia

Juntos
podemos estar
a la altura de
las crecidas.

SIGLAS DE AGENCIAS FEDERALES

En el informe aparecen mencionadas las siguientes agencias federales y sus siglas (según se escriben en inglés).

● **EPA:** Agencia para la protección del medioambiente

- La EPA es una agencia federal independiente cuya misión es la de «proteger la salud humana y el medioambiente».

epa.gov/aboutepa/our-mission-and-what-we-do

● **FEMA:** Agencia Federal para el Manejo de Emergencias

- La FEMA forma parte del Departamento de Seguridad Nacional y tiene como misión la de «ayudar a la gente antes, durante y después de los desastres».

fema.gov/about-agency

● **NASA:** Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

- El administrador de la NASA, cuya misión es la de «impulsar avances en la ciencia, la tecnología, la aeronáutica y la exploración del espacio para mejorar la educación y la innovación junto con la vitalidad económica y la administración de la Tierra», rinde cuentas directamente a la Casa Blanca.

nasa.gov/careers/our-mission-and-values

● **NHC:** Centro Nacional de Huracanes

- El NHC forma parte de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP), que a su vez forma parte del Servicio Meteorológico Nacional (NWS), y tiene como misión la de «salvar vidas, limitar el daño a la propiedad y mejorar la eficiencia económica emitiendo los mejores estados de alerta, avisos, pronósticos y análisis de fenómenos meteorológicos tropicales peligrosos y promoviendo un mayor conocimiento de estos».

nhc.noaa.gov/aboutintro.shtml

● **NIEHS:** Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental

- El NIEHS forma parte de los Institutos Nacionales de Salud (NIH), que a su vez forma parte del Departamento de Salud y Servicios Humanos, y tiene como misión la de «...descubrir de qué manera el medioambiente afecta a la gente para así fomentar vidas más sanas».

niehs.nih.gov/about/strategicplan/index.cfm

● **NOAA:** La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

- La NOAA forma parte del Departamento de Comercio y tiene como misión:
 - Entender y predecir cambios en el clima, el tiempo, los océanos y las costas;
1. www.noaa.gov/our-mission-and-vision
 2. Compartir dicho conocimiento e información; y
 3. Conservar y administrar los ecosistemas y recursos costeros y marinos.

noaa.gov/our-mission-and-vision

● **NSF:** La Fundación Nacional para la Ciencia

- La NSF es una agencia federal independiente, orientada por la Junta Nacional para la Ciencia, cuya misión es la de «impulsar el avance de la ciencia; fomentar la salud, la prosperidad y el bienestar nacionales; garantizar la defensa nacional...»

nsf.gov/about/glance.jsp

● **NSSL:** Laboratorio Nacional de Tormentas Severas

- El NSSL forma parte de la oficina de Investigación Oceánica y Atmosférica (OAR), que a su vez forma parte de la NOAA, y tiene como misión la de «mejorar la capacidad de la NOAA para emitir pronósticos precisos y oportunos y alertas de fenómenos meteorológicos peligrosos».

nssl.noaa.gov/about/

● **NWS:** Servicio Nacional de Meteorología

- El NWS es una agencia que depende de la NOAA y que tiene como misión la de emitir «...pronósticos, avisos e información sobre el tiempo, las aguas y el clima para así proteger la vida y la propiedad, además de promover la economía nacional».

nws.noaa.gov/mission.php

● **USACE:** Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense

- El USACE forma parte del Departamento del Ejército, que a su vez forma parte del Departamento de Defensa, y tiene como misión la de «Brindar servicios de ingeniería militar y pública vital; formar asociaciones en tiempos de paz y de guerra para fortalecer la seguridad de nuestra Nación, impulsar la economía y reducir los riesgos a consecuencia de desastres».

usace.army.mil/About/Mission-and-Vision/

● **USGS:** Servicio Geológico de los Estados Unidos

- El USGS forma parte del Departamento del Interior y tiene como misión la de proveer «...información científica fiable para describir y entender la Tierra; minimizar las pérdidas humanas y materiales debido a las catástrofes naturales; administrar los recursos acuáticos, biológicos, energéticos y minerales; y mejorar y proteger nuestra calidad de vida».

usgs.gov/about/about-us/who-we-are

OTRAS SIGLAS

- **3DEP:** Programa de Relieve en 3D
- **AGU:** La Unión Geofísica Estadounidense
- **CBO:** Oficina Presupuestaria del Congreso
- **CCFR:** Comité Ciudadano para el Socorro durante Inundaciones
- **CCFRF:** El Centro Commonwealth para la Resiliencia ante Inundaciones Recurrentes
- **CoSMoS:** modelo de Sistema para el Monitoreo de Tormentas Costeras
- **FJWC:** Centro de Fe y Justicia para el Trabajador
- **FLASH:** Ubicaciones de Inundaciones e Hidrografías Simuladas
- **GEER:** Asociación para el Reconocimiento de Fenómenos Geotécnicos Extremos
- **GOES:** satélite geoestacionario operacional de estudio del medioambiente
- **GPS:** Sistema de posicionamiento global
- **HFIP:** Programa para Mejorar el Pronóstico de Huracanes
- **LIDAR:** detección de luz y medición de distancia
- **MRMS:** Sistema Multiradar o Multisensor
- **NGGPS:** Sistema de Predicción Global de Próxima Generación
- **EPI:** Equipo de protección individual
- **El modelo SLOSH:** Marejadas Marinas, Lacustres y Terrestres debidas a Huracanes
- **StEER:** Red para el Reconocimiento de Fenómenos Extremos Estructurales
- **VIMS:** Instituto de Ciencias Marinas de Virginia

PRESENTACIÓN

Las inundaciones nos afectan a todos. Ya sea en clave local, estatal o nacional, es un problema que todos debemos enfrentar y que se ha hecho evidente en la primera mitad del 2019. Solo en la semana de la redacción de esta presentación, tuvieron lugar tres inundaciones significativas: la Tormenta Tropical Barry amenazaba la ciudad de Nueva Orleans, en Luisiana, apenas una semana después de que un diluvio de entre 5 y 7 pulgadas sorprendiera a la ciudad.¹ Días antes habían caído en Washington, D.C. más de 3 pulgadas de lluvia en una sola hora, lo cual desató una catarata en una estación de metro y provocó que se filtrara agua al sótano de la Casa Blanca.² Esa misma noche, en la región central del estado de Nebraska, se registraron hasta 9 pulgadas de precipitación, lo que provocó que casas y negocios se inundaran con un pie de agua por segunda vez en cinco meses.³

Las consecuencias de las inundaciones de este año todavía están por determinarse a la hora de publicarse este informe, pero ya se atisban algunas cifras respecto a los efectos en clave de economía, seguridad nacional

y salud. Por ejemplo, los desbordamientos del río Misuri en marzo del 2019 les costaron al menos dos mil millones de dólares a los granjeros del estado de Iowa y pusieron en riesgo de contaminación por E. coli y otros patógenos los pozos de agua potable en 10 estados^{4,5}. El USACE estima en mil millones de dólares el dinero necesario para reparar los diques en la cuenca del río Misuri,⁶ y la Fuerza Aérea ha pedido al Congreso 350 millones de dólares para limpiar los daños incurridos en la Base Aérea de Offutt, Nebraska, donde más de 60 edificios sufrieron inundaciones de hasta 8 pies.^{7,8}

Las cifras reflejan lo que los estadounidenses ya sabemos: que las inundaciones están afectando nuestro estilo de vida y el habitual modus operandi de inundación-reconstrucción ya no es suficiente. Los científicos anticipan que conforme cambie el clima, los vientos y las lluvias huracanadas se intensificarán y las lluvias torrenciales y las «inundaciones de marea alta» serán más frecuentes.⁹ Dado que la excepción se está convirtiendo en la norma, debemos encontrar nuevas maneras de adaptarnos y prepararnos.

Las inundaciones son un problema complejo que requerirá una solución compleja. Los científicos e ingenieros que trabajan en medir, predecir, gestionar y mitigar las inundaciones desempeñarán un papel crucial, si bien a menudo invisible.

Los capítulos de este informe resaltan tres tipos de inundaciones: las provocadas por huracanes, las inundaciones continentales y las inundaciones costeras. Cada capítulo presenta el caso de una comunidad afectada y al científico o equipo de científicos que colaboró con dicha comunidad para hallar soluciones. El primer relato destaca a un científico que ayudó a los residentes de Houston, Tejas, a recuperarse del Huracán Harvey, el segundo desastre meteorológico más devastador registrado en los Estados Unidos.¹⁰ En el segundo se destaca a un equipo de científicos e ingenieros que trabajaron con los residentes de De Soto, Misuri, para que estos supieran qué lugares de su ciudad corrían mayor riesgo de sufrir inundaciones relámpago mortales con carácter recurrente. Por último está Hampton Roads, una zona costera de Virginia, y el equipo de científicos-activistas que concienció a su comunidad de que el hundimiento de tierras, junto con el aumento en el nivel del

mar, provoca inundaciones hasta en días de sol. Tras estos relatos, se detallan más ejemplos de lo que aporta la ciencia para resolver el problema planteado por las inundaciones.

Estas y otras anécdotas detalladas en este informe brindan lecciones relevantes para aquellos líderes comunitarios, científicos y funcionarios encargados de la adopción de políticas en todo el Estado. Son una hoja de ruta hacia un futuro en el que las comunidades cuenten con la capacidad para romper el ciclo inundación-reconstrucción tomando decisiones fundamentadas científicamente acerca de cómo gestionar las inundaciones. Estas historias de acción protagonizadas por individuos y comunidades deberían inspirar a otros en situaciones similares. Se estima que 40 millones de personas viven en zonas del país con una probabilidad del 25% de que se inunden sus casas antes de que puedan pagar una hipoteca a 30 años.^{11,12}



Para apoyar a aquellas comunidades en situación de riesgo, los Estados Unidos debe comprometerse a apoyar la ciencia necesaria para adoptar un nuevo paradigma respecto a la gestión y mitigación de inundaciones. Debemos seguir apoyando la experimentación y el modelado que nos ayuden a mitigar y adaptarnos a los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos, además de la recopilación de datos que apoye la gestión de riesgos actualizado mediante el rastreo del desarrollo y del clima.

Por último, hemos de casar el entendimiento científico con el de las partes interesadas a fin de desarrollar soluciones a este intrincado problema. Instamos a los gobiernos federal y local, los científicos, los encargados de gestionar inundaciones y a los ciudadanos de a pie a que prioricen aquellas asociaciones que den lugar a la escucha, el aprendizaje y el establecimiento de confianza mutua. Cuando científicos y comunidades comparten su conocimiento de buena fe, la ciencia se erige en una herramienta poderosa para realizar decisiones de futuro fundamentadas. Si el saber es poder, compartir el saber es empoderar.

HURACANES

TRAS LA TORMENTA, DECISIONES DIFÍCILES

Es julio del 2019, casi dos años después de que el huracán Harvey embistiera contra Rockport, Tejas, y Elvia Escobar sigue reparando su casa. En comparación con otras zonas, su barrio se salvó de muchas de las inundaciones provocadas por los 128,70 billones de litros de lluvia que Harvey vertió sobre los estados de Tejas y Luisiana.¹³ Aun así, Escobar arrancó el empapelado y el

recubrimiento de maderas de su casa, dejando expuestos el armazón y el aislamiento. Sus vecinos no la entendían. «A diferencia de la comunidad, soy totalmente consciente de las consecuencias de tener moho en casa», explica. «Por lo tanto, demolí algunas de las paredes, y me aseguré de rociarla con una solución antimoho. Ya no luce tan bonita, pero al menos está libre de moho».

DEL 2000 AL 2018, LOS HURACANES PROVOCARON 5,800 MUERTES Y DAÑOS Y PERJUICIOS VALORADOS EN 760,000,000 DE DÓLARES

(NOAA, NCEI, 2019)

Escobar, oriunda de México, es albañil y capacitadora de voluntarios del FJWC en Houston, Tejas. Allí impartía cursos de seguridad y salud a otros albañiles. Así se enteró de las consecuencias de las inundaciones a corto y largo plazo. Sin embargo, muchos albañiles carecían de acceso a esta información y equipos de protección básicos. Después de Harvey, dos organizadores del FJWC, Kendra Baldazo-Tudon y Chris Wager Saldívar, ayudaron a encuestar a los jornaleros de la construcción en Houston. De los 361 trabajadores encuestados que entraban en sitios afectados por el huracán, el 85% no había recibido ninguna capacitación sobre los riesgos del moho ni sabía cómo trabajar de manera segura en agua contaminada. El 32% no disponía de guantes y el 61% no contaba con acceso a un respirador. Sin capacitación y EPI adecuados, muchos de estos trabajadores ya informaban de afectaciones médicas tales como dificultades respiratorias (27%), erupciones cutáneas (28%),

dolores de cabeza recurrentes (35%) e infecciones oculares (40%).¹⁴

El FJWC aspira a educar y promover los intereses de los trabajadores en Houston. Conforme se acercaba Harvey, se prepararon para otro tipo de impacto. «Se sabe entre los centros para trabajadores que después de huracanes y otros desastres naturales, se dan más infracciones de la normativa laboral», explica el señor Wager Saldívar. Están bien documentados los efectos jurídicos y médicos en los trabajadores después de los huracanes Katrina y Sandy.^{15,16} Ya en las primeras cuatro semanas tras el aterrizaje de Harvey, el 26% de los jornaleros encuestados denunciaban fraude salarial ante el FJWC, con más de \$20,000 en remuneración no percibida.¹⁴ «Tuvimos que tomar una decisión difícil», dice sobre las semanas después de Harvey. «¿Dedicamos nuestra energía a la salud y la seguridad o al fraude salarial y demás cuestiones legales? Al final, optamos por la salud y la seguridad».

DESDE LA INVESTIGACIÓN SANITARIA HASTA LA RECUPERACIÓN TRAS EL HURACÁN

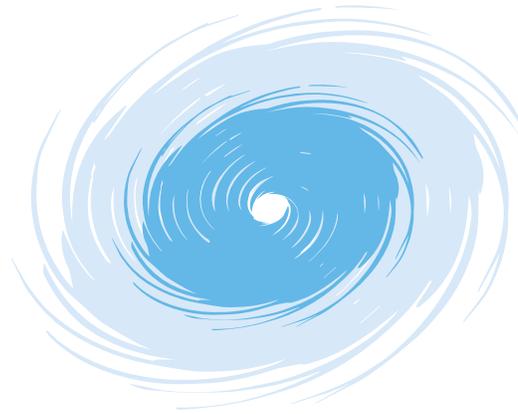
Al igual que Escobar, la residente de Houston e investigadora sanitaria Janelle Rios aún no ha terminado las reparaciones del nuevo hogar que estaba renovando junto con su esposo cuando llegó Harvey. Rios suele clasificar las tormentas tropicales y los huracanes que ha vivido tras varias décadas en el estado de Tejas como fenómenos de lluvia o de viento. «Harvey», dice, «fue un fenómeno de lluvia bíblico. Llovió a cántaros durante tres días, sin parar. Veíamos cómo el agua subía, subía, subía». Al tercer día, Rios convenció a su esposo de ir en canoa hasta su nuevo hogar. Oían los helicópteros mientras remaban, y para su angustia descubrieron que podían entrar a remo en la cocina.

Como Escobar, Rios también era consciente de los riesgos de habitar y sanear cualquier casa o edificio inundado. Rios es profesora en la Facultad de Salud Pública de la UT Health y coinvestigadora principal en el Consorcio Tejas-Utah para la Formación y Educación de Trabajadores de Residuos Peligrosos (el Consorcio Tejas-Utah), un centro de investigación y capacitación fundado por el Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental (NIEHS). La investigadora enfoca su estudio en los riesgos de salud ambiental para los trabajadores. Junto con sus colegas en el Consorcio Tejas-Utah, Rios empezó a trabajar en pro de los trabajadores de saneamiento en la zona de Houston.



Explica Baldazo-Tudon que el Consorcio era uno de muchos socios que se unieron al FJWC tras el paso de Harvey para ofrecer más capacitaciones de seguridad en materia de EPI para los jornaleros. Estos socios colaboraron para ofrecer talleres de capacitación cuyo objetivo era enseñar a pares capacitadores, como Escobar, quienes luego harían llegar esa información a los demás trabajadores en las obras. En total, estas organizaciones capacitaron a 785 pares en materia de salud y seguridad entre diciembre del 2017 y mayo del 2018, según el FJWC.

Asimismo, el Consorcio Tejas-Utah desempeñó un papel clave al conseguir EPI para los trabajadores. Rios encabezó los esfuerzos para reasignar fondos para la compra y la distribución de 1,000 mascarillas N95, diseñadas para filtrar esporas de moho y otras partículas nocivas que pueden estar presentes en edificios que hayan estado sumergidos varios días en agua.¹⁷ Junto con sus colegas del Consorcio Tejas-Utah, impartió capacitaciones sobre el uso de mascarillas y cómo reconocer riesgos sanitarios comunes como las molestias de origen térmico. La investigadora también distribuyó panfletos informativos en inglés y español, trajes Tyvek y guantes de cuero a los trabajadores que reconstruían la ciudad.



Todavía no se ha mudado, pero insiste en que, a diferencia de muchos, ha tenido suerte. Pudo refugiarse junto con su familia durante la tormenta; todavía tienen un lugar permanente donde vivir; y tenían acceso a los servicios que les hacían falta tanto antes de la tormenta como durante el período de recuperación todavía en curso. Para Escobar y otros muchos residentes vulnerables de Houston, el impacto de Harvey va manifestándose poco a poco. «La mayoría no creía que fuera demasiado peligroso volver a entrar en sus casas», dice Escobar. «La comunidad aún no es muy consciente de los efectos que ha tenido Harvey en la salud». Cuando se les pregunta sobre los efectos continuos sobre los trabajadores, Baldazo-Tudo y Wager Saldívar dicen que todavía hay que averiguar cuáles son. «Cuando uno no es científico, no sabe qué esperar respecto a los efectos a largo plazo», dice el señor Wager Saldívar. «Nos vendría muy bien tener a más científicos examinando esta cuestión». Como parte de las prioridades en la investigación de la reacción en caso de catástrofe, hay al menos un estudio financiado por el NIEHS que está documentando los efectos sanitarios a largo plazo de Harvey sobre los casi 200 tejanos que viven en casas que se inundaron durante la tormenta^{18,19}. Wager Saldívar y Baldzon-Tudon, junto con las demás personas que luchan por proteger la salud de aquellos afectados por las inundaciones, ansían recibir respuestas pronto.

LA CIENCIA SALVA VIDAS

A parte del huracán Katrina, ningún fenómeno meteorológico registrado ha hecho más estragos en los Estados Unidos que el huracán Harvey.¹⁰ Sin embargo, los huracanes no son nada nuevo para los residentes de las zonas sur-central y sureste de los Estados Unidos. Entre el 2000 y el 2018, los huracanes han causado más de 5,800 muertes y más de 760 mil millones de dólares en daños materiales.¹⁰

Afortunadamente, se pudo contar con los esfuerzos de más personas como Rios y organizaciones como el FJWC. Es solo un ejemplo que muestra cómo los científicos e ingenieros trabajan de la mano con funcionarios de seguridad pública, líderes comunitarios y primeros interventores en todas las fases de fenómenos meteorológicos extremos, desde la preparación hasta el abordaje de las consecuencias.

LA CIENCIA CLIMÁTICA Y LA ECONOMÍA: EL RESULTADO NETO

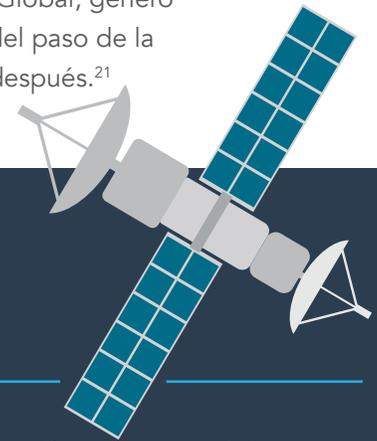
En la actualidad, no hay duda en la comunidad científica de que tanto la velocidad máxima de los huracanes como la precipitación aumentarán con el cambio climático.⁹ Efectivamente, el cambio ya ha empezado. Varios estudios señalan que el cambio climático derivado de la actividad humana ha influido en el aumento detectado en la intensidad de los huracanes en el Atlántico Norte desde la década de 1970.⁹ En el caso del huracán Harvey, varios estudios de modelado sugieren que el cambio climático aumentó la probabilidad de la acumulación extrema de precipitación debido a la tormenta.⁹ Un estudio determinó que las elevadas temperaturas en la superficie del mar, provocadas por la acumulación de CO₂ en la atmósfera, aumentaron la precipitación total en al menos un 19% y en un 38% según la mejor estimación.³⁸

En otro se determinó que la precipitación de los tres días de Harvey fue un 15% más intensa de lo que se predecía en una atmósfera más húmeda.³⁹ En ambos estudios, se estimó que la actividad humana aumentó la probabilidad de la precipitación extrema detectada durante Harvey entre 3 y 3.5 veces.^{38,39}

La Oficina Presupuestaria del Congreso (CBO) estima en 54 mil millones de dólares los daños causados por huracanes e inundaciones, monto que supera el producto interior de Montana, Dakota del Sur, Wyoming o Vermont.^{40,41} En vista de las predicciones climáticas, sin embargo, es probable que las pérdidas ocasionadas por los huracanes en el futuro superen las estimaciones actuales de la CBO.

El 23 de agosto del 2017, un día antes de que Harvey aterrizara, el Centro Nacional de Huracanes emitió su primer aviso de vigilancia de huracán, que controlaba la tormenta.²⁰ Los meteorólogos del NHC y el NWS trabajaron a contrarreloj para pronosticar dónde aterrizaría la tormenta. Examinaron casi en tiempo real las imágenes actualizadas del GOES-16, un satélite meteorológico desarrollado y lanzado por la NASA y la NOAA. El GOES-16 es solo uno de los muchos satélites operados

por estas agencias, pero fue el primero en detectar la ola tropical frente a las costas de África que después se convertiría en Harvey. Los pronosticadores del NWS reciben de los satélites datos que introducen en fórmulas, conocidas en su conjunto como modelos, y generan pronósticos. Los modelos de pronóstico meteorológico de la NOAA, tal como el Sistema de Pronóstico Global, generó predicciones muy importantes del paso de la tormenta y la lluvia de los días después.²¹



TECNOLOGÍA: OJOS EN EL CIELO

Los satélites GEO giran alrededor de la Tierra en los que se conoce como órbita geoestacionaria: es decir, giran una velocidad idéntica a la de la rotación del planeta, lo cual les permite mantenerse en una posición fija respecto a la superficie de la Tierra. Lanzado en el 2016, el satélite GEO-16 monitorea el centro y el este de América del Norte, América del Sur y el Océano Atlántico a 22,300 millas de la superficie de la Tierra, o 10 veces la distancia entre Nueva York y Las Vegas.⁴² Su homólogo, el satélite GEO-17, monitorea la costa oeste de América del Norte,

Hawaii y el Océano Pacífico.⁴² Tanto el GEO-16 como el GEO-17 escanean la Tierra cinco veces más rápido que sus predecesores, hasta dos veces por minuto, y a una resolución cuatro veces más alta⁴².

Además de los satélites geoestacionarios, también hay satélites en órbita polar, que circulan la tierra cuatro veces al día viajando de polo a polo y que proporcionan el 85% de la información usada en los pronósticos meteorológicos.⁴³

Durante el curso del huracán Harvey, se distribuyeron mediante la Red de Información Meteorológica para Encargados de Emergencias casi en tiempo real las imágenes satelitales y los pronósticos correspondientes desarrollados por el NWS, permitiendo así que los encargados de emergencias y oficiales de seguridad pública pudieran acceder de inmediato a los datos y actuar conforme a los mismos.²⁰ Los pronosticadores del NWS, a la hora de compartir información con los socios

encargados de emergencias y sus contrapartes en televisión, se valieron de casi una década de ciencias sociales financiadas por la NSF y la NOAA.²² Una comunicación eficaz fue imprescindible para que el pública entendiera el riesgo, se creyera el mensaje y supiera cómo actuar.²² Al final, se evacuó a más de un millón de residentes de Tejas en previsión de la llegada del huracán Harvey.²⁰

CIENTÍFICOS EN LA ZONA CERO

A diferencia de los humanos en el paso de una tormenta, los edificios no pueden marcharse.

Los datos recopilados por investigadores después de un desastre nos pueden ayudar a entender cómo construir edificios, carreteras, puentes y otras infraestructuras críticas para que puedan resistir el embate de estos fenómenos en el futuro. Financiada por la NSF, la Asociación GEER, que empezó hace

décadas como un grupo de ingenieros y geólogos ingenieros ad hoc que por iniciativa propia se unieron para examinar los daños y recabar datos percederos después de sismos grandes, hoy en día envía voluntarios a otros fenómenos extremos como los huracanes.²³

LA SEGURIDAD NACIONAL: LOS HURACANES COMO AMENAZA

En un solo mes del 2018, los huracanes provocaron daños a instalaciones militares estimados en 6.6 mil millones de dólares.⁴⁴ A finales de septiembre del 2018, el huracán Florence infligió daños en el Campamento Lejeune y otras instalaciones del Cuerpo de Marines en Carolina del Norte. Una estimación preliminar fijó en 3.6 mil millones de dólares el coste de las reparaciones.⁴⁴ En octubre, el huracán Michael golpeó la base aérea de Tyndall en Florida. Para reparar Tyndall se estiman necesarios 3 mil millones de dólares y más de cinco años de trabajo.⁴⁴



Nina Stark, profesora asociada del departamento de ingeniería cívica ambiental en la universidad de Virginia Tech, fue codirectora del equipo de respuesta GEER al huracán Harvey. Stark, investigadora de procesos de erosión de suelos, viajó junto con otros integrantes de su equipo a San Antonio unos días después de que Harvey aterrizara. Siguiendo la trayectoria de la tormenta, Stark y su equipo trabajaron con colegas de las universidades de Tejas A&M y la Universidad de Tejas, junto con el USACE, los municipios, y organizaciones comunitarias locales para documentar el nivel de erosión justo después de la tormenta, antes de que pudiera tener lugar ningún tipo de relleno natural o saneamiento.

Al llegar tan rápido al sudeste de Tejas, por donde había pasado Harvey, Stark pudo observar que la erosión de unos pilotes de puente se había agudizado más de lo esperado en base a los modelos científicos de procesos de erosión más modernos. La profesora sospecha que esto ocurrió porque los modelos actuales están basados en datos recopilados mucho después del paso de las tormentas, cuando el nuevo sedimento ya empezaba a llenar los hoyos que había dejado la erosión. La investigación procedente de dichos modelos podría influir en los modelos que pronostican cuándo se va a caer o incluso qué diseño debe tener un puente. Hace hincapié en que «es muy importante entender los procesos para pronosticar los fenómenos frente a los que nos debemos preparar, para asegurar que estos sean menos devastadores gracias a nuestra mejor preparación y mayor resiliencia».

Con tal fin, los directores de GEER reclutaron a Tracy Kijewski-Correa, profesora asociada de ingeniería civil en la Universidad de Notre Dame, para la misión frente al huracán Harvey. Dicha asociación ya había coordinado muchas respuestas a fenómenos extremos, pero jamás con ingenieros estructurales. El análisis de los estragos provocados por huracanes como Harvey puede ayudar a los ingenieros estructurales a reconstruir las comunidades y dejarlas más fuertes, construyendo casas que resistan mejor los vientos con fuerza de huracán y las marejadas. La profesora reunió a un equipo de ingenieros para recopilar datos de los daños a inmuebles residenciales. Varios equipos se pusieron manos a la obra: uno mapeó el nivel de inundación por la marejada, otro iba de casa en casa evaluando los daños provocados por el viento y la marejada y otro creaba mapas en 3-D de los barrios dañados por la tormenta²⁴.

Stark, Kijewski-Correa y los demás integrantes de estos equipos trabajaron como voluntarios, y el acceso a los datos recopilados es gratuito.²⁵⁻²⁹ GEER dedica unos \$19,000 a estudiar estos fenómenos en los Estados Unidos, mientras que una empresa de ingeniería cobraría unos \$170,000 por la misma respuesta³⁰. Los datos de estos estudios financiados por el gobierno federal tienen por tanto un nivel de coste-eficacia nueve veces mayor. Pero el verdadero rendimiento de la inversión es inestimable al considerar las vidas y los hogares salvados por los cambios en las prácticas de construcción basados en los resultados de los estudios.

DE CARA AL FUTURO

Harvey es un ejemplo más de cómo los huracanes pueden devastar a las comunidades. Afortunadamente, los científicos están trabajando sin parar no solo en las fases iniciales de la recuperación, sino también para mejorar los pronósticos, la preparación y la recuperación frente a las catástrofes.

La temporada de huracanes del 2017 hizo patente la necesidad de que los ingenieros estructurales, tal como Kijewski-Correa, formalicen sus respuestas a los fenómenos extremos. Desde entonces, la profesora ha recibido financiación de la NSF para crear una red coordinada para el Reconocimiento de Fenómenos Extremos Estructurales (StEER). La NSF también promovió la creación del Centro para el Reconocimiento de Peligros Naturales para que este actuara como un «nodo» central para organizar la respuesta de reconocimiento de fenómenos extremos entre organizaciones como StEER y GEER). El centro está radicado

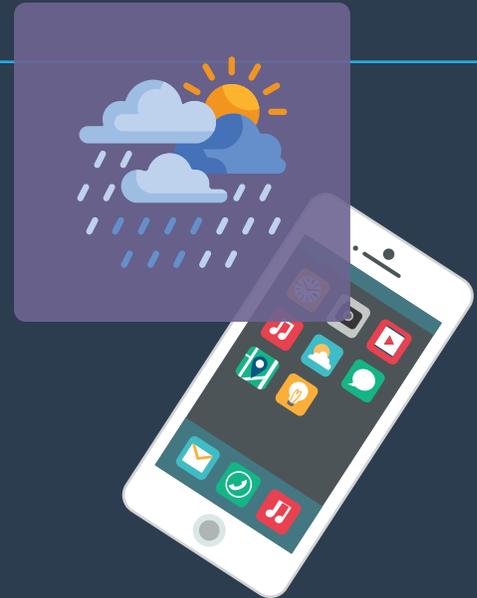
en la Universidad de Washington y coordinó las respuestas ante los huracanes Michael y Florence, entre otros fenómenos, en la temporada de huracanes del 2018.³¹

Los modelos de pronóstico de huracanes mejoran cada vez más gracias a nuestro entendimiento de los procesos físicos que generan patrones meteorológicos. Tras el huracán Sandy en el 2012, el Congreso promulgó una ley que destinaba 15 millones de dólares al rendimiento del sistema informático y la investigación para mejorar el pronóstico de huracanes.³² Gracias a esta inversión, los científicos de la NOAA desarrollaron el modelo del Sistema de Pronóstico Global de Próxima Generación (NGGPS). Los resultados preliminares son alentadores, ya que durante la temporada de huracanes del 2017, un prototipo del NGGPS pronosticó las trayectorias de huracanes mejor que los modelos estadounidenses y europeos existentes.³³



LA ECONOMÍA: EL VALOR DE LOS PRONÓSTICOS METEOROLÓGICOS

Según una encuesta sobre el valor económico de los pronósticos meteorológicos fiables, la unidad doméstica promedio en los Estados Unidos está dispuesta a desembolsar 285 dólares al año para tener este tipo de información,⁴⁵ lo cual equivale a un beneficio de 31.5 mil millones de dólares para la ciudadanía estadounidense derivado de la predicción meteorológica, junto con un índice de beneficio-costa de 6.2, dados los 5.1 mil millones de dólares que invierten en la predicción meteorológica y operaciones de apoyo el gobierno federal y el sector privado.⁴⁵



El modelo NCGPS es útil para el pronóstico de tormentas y del tiempo en general, pero la NOAA también desarrolla modelos dedicados al pronóstico de huracanes mediante el Programa para Mejorar el Pronóstico de Huracanes (HFIP). Entre el 2008 y el 2016, los modelos creados por el HFIP redujeron entre un 20% y 25% el error en el pronóstico de la intensidad y la trayectoria de huracanes en pronósticos de entre uno y cinco días.³⁴ Un estudio del 2004 estimó en 15 millones de dólares (dos veces el presupuesto de funcionamiento del Centro Nacional de Huracanes) el valor que les reportaría a las industrias de petróleo y gas una mejora del 50% en los pronósticos de 48 horas de huracanes.^{35,36}

Los modelos de la NOAA también respaldan el trabajo de los agentes de la FEMA que

distribuyen los fondos procedentes de los partes al asegurador según el tipo de daños. La ley para una Opción basada en el Consumidor para un Sistema de Asignación de Daños Alternativo (COASTAL) pedía a la NOAA que produjera modelos que, en caso de que una casa fuera derribada, determinarían si fue el viento, la acción del oleaje o la marejada.³⁷

La ciencia no puede protegernos de todos los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos, pero al igual que hemos visto en el caso de Harvey, puede ayudarnos a evitar una situación catastrófica. Los Estados Unidos debe garantizar que las comunidades que se estén enfrentando a fenómenos meteorológicos extremos como huracanes, incendios, tornados y deslizamientos de tierras, cuenten con los recursos e información adecuados para prepararse y recuperarse.

RESUMEN



Entre el 2000 y el 2018, los huracanes provocaron más de 5,800 muertes y más de 760 mil millones de dólares en daños.



El saneamiento después de un desastre requiere trabajo en equipo. La ciencia financiada por las agencias y los institutos federales reúne a científicos e ingenieros voluntarios de todo el país para intervenir rápido durante un desastre. Asimismo, estos recopilan datos que nos ayudan a reconstruir de manera más resiliente e imparten capacitaciones científico-estadísticas para garantizar la seguridad de los trabajadores.



Saber cuándo y dónde puede aterrizar un huracán y contar con una predicción de la intensidad de la lluvia y el viento ayuda a proteger vidas. Las agencias federales NOAA y NASA colaboran para proporcionar los satélites y capacidades de modelado que permiten a los gestores de emergencias adelantarse a las tormentas con una respuesta informada y apropiada.



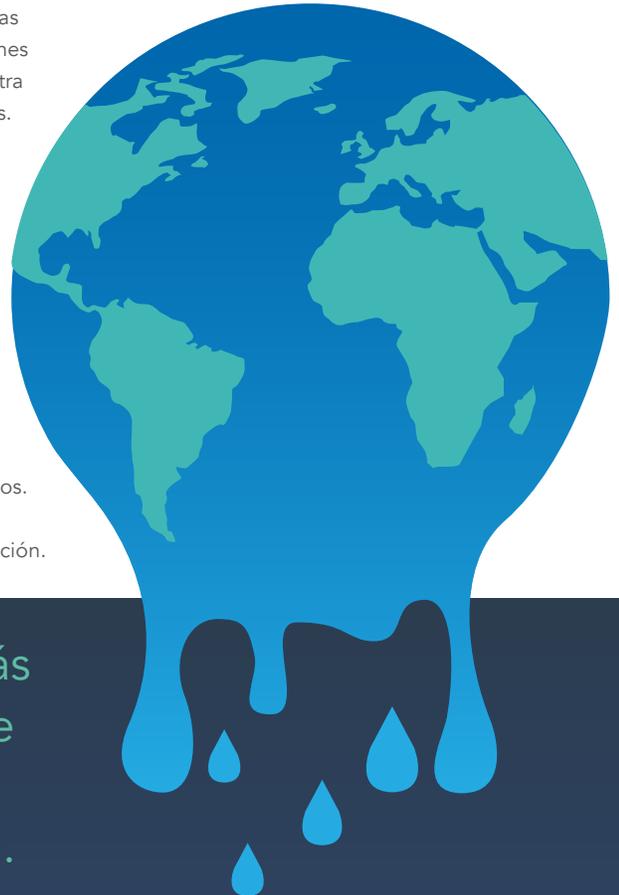
Se pronostica que los huracanes y demás desastres no harán sino intensificarse en los años venideros, por lo que los científicos, tanto dentro como fuera de las agencias federales, están trabajando con las comunidades afectadas para promover su entendimiento de estos fenómenos meteorológicos extremos y cómo pronosticarlos y reaccionar frente a ellos.

LAS INUNDACIONES COMO PARTE DEL CLIMA CAMBIANTE

La investigación científica actual señala que el clima, en un proceso impulsado mayormente por la actividad humana, está cambiando rápidamente en comparación con las variaciones naturales del pasado, y ya son evidentes los efectos del cambio climático sobre la precipitación, el nivel del mar y otros factores que influyen en las inundaciones. Durante siglos, la sociedad moderna y toda la infraestructura de la que dependemos, como carreteras, alcantarillado, edificios, puentes, etc., se construía dando por sentado un clima relativamente estable. A medida que cambia el clima, nuestras decisiones respecto a la infraestructura y otras respuestas a las inundaciones también deben cambiar. Asimismo, se pronostica una intensificación de los efectos del cambio climático global en los Estados Unidos cuyos efectos ya empiezan a notarse.

Por lo tanto, la severidad del impacto venidero dependerá en gran parte de las medidas implementadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y nuestra capacidad de adaptación a los cambios.

La cuarta Evaluación Nacional del Clima analizó la investigación revisada por pares sobre el cambio climático y la variabilidad y su impacto en los EE. UU. Dicha evaluación fue posible gracias al trabajo de un equipo de más de 300 peritos federales y no federales, talleres de participación regional, la participación de la ciudadanía y revisión por pares expertos. La información proporcionada a continuación procede de dicha evaluación.



El clima de la Tierra está cambiando más rápido ahora que en cualquier punto de la civilización moderna a consecuencia, principalmente, de la actividad humana.

Entre el 1901 y el 2016, la temperatura global promedio, tomando en cuenta la terrestre y la oceánica, aumentó 1.8°F, y la mayor parte de ese aumento (1.2°F) ocurrió en los últimos 30 años de dicho período. Esta tasa de aumento de la temperatura global promedio es más rápida que cualquier período de 20 a 30 años de los últimos 1.700 años.

De las muchas señales físicas que confirman las tendencias observadas en la temperatura global promedio, hay dos relacionadas con las inundaciones: el aumento sostenido del nivel del mar y de la intensidad de la precipitación. El aumento del nivel del mar lo causan dos factores principales: (1) el agua del mar se expande a medida que se calienta y (2) las capas de hielo y los glaciares se derriten a temperaturas más altas, lo cual añade agua al océano. Entre el 1900 y el 1993, el nivel del mar global promedio subió entre cuatro y cinco pulgadas, y tres más desde el 1993, tasa más pronunciada que la de cualquier siglo de los últimos 2.800 años. Como resultado directo del aumento del nivel del mar, se ha multiplicado entre cinco y 10 veces el número de inundaciones menores o "molestas" en las ciudades costeras desde la década de 1960.

La frecuencia e intensidad de las precipitaciones fuertes en los Estados Unidos también aumentaron entre el 1901 y el 2016, lo cual es de esperar de una atmósfera en proceso de calentamiento, ya que a temperaturas más altas, el aire absorbe más humedad, y las elevadas tasas de evaporación impulsadas por las temperaturas más altas generan más agua precipitable. Con más humedad en la atmósfera, se vuelve aún más intensa la precipitación, bien sea como nieve o lluvia, tendencia que se ha observado sobre todo en el centro y el nordeste de los EE. UU. También se espera una subida de los niveles de precipitación durante huracanes y demás tormentas.

Aunque el riesgo de inundación lo determinan parcialmente el uso de los terrenos, cambios en la cobertura del suelo y el diseño en la infraestructura de la administración hidrológica, es imposible ignorar el efecto del aumento de los extremos de la precipitación. Nuestra infraestructura hidrológica, incluida la de control de inundaciones, no está diseñada para aguantar las tormentas del futuro. De cara al cambio climático, se necesitan nuevos métodos y datos a largo plazo para calcular precisamente el riesgo de inundación y proteger adecuadamente a las comunidades.

INUNDACIONES EN EL CENTRO DE LOS EE. UU.

HASTA ARRIBA DE LAS INUNDACIONES REPENTINAS

De Soto, Misuri, es una ciudad pequeña en el condado de Jefferson, en la frontera este del estado, a unos 45 minutos en auto desde la ciudad de San Luis. Se destaca por su idílica calle principal, una oficina de correos y un arroyo que atraviesa el centro. Y como tantas ciudades en el Medio Oeste de los Estados Unidos, De Soto sufre inundaciones. Entre el 2015 y el 2019, De Soto vivió cinco inundaciones, de las cuales dos fueron clasificadas como desastre declarado por el presidente.⁴⁶

Paula Arbuthnot se mudó a De Soto desde Hillsboro, una ciudad colindante, después de que una inundación repentina casi arrastrara su auto con ella dentro. Esperaba dejar atrás los peligros de las inundaciones repentinas. Se mudó con su familia a De Soto y unos meses después, el arroyo Joachim, un afluente del río Mississippi, se desbordó, inundando el pueblo. De hecho, en la madrugada del 25 de diciembre del 2015 llovió tanto en ciudades desde el suroeste de Misuri hasta el centro del estado de Illinois que se cerraron tres autopistas interestatales y murieron seis personas.

LAS INUNDACIONES REPENTINAS SON EL SEGUNDO FENÓMENO METEOROLÓGICO EXTREMO QUE MÁS MUERTES PROVOCA EN EE.UU.

(NOAA, 2018)



TECNOLOGÍA:

LA PREDICCIÓN DE LAS INUNDACIONES REPENTINAS



Las inundaciones repentinas consisten en una crecida rápida de los niveles del caudal en los arroyos y los riachuelos. El breve período entre la precipitación y el inicio de la inundación, la localización precisa y la gama de condiciones que pueden dar lugar a una inundación repentina dificultan la predicción de este tipo de inundación.⁷⁰ En el Laboratorio Nacional para el Estudio de las Tormentas Severas (NSSL) de la NOAA, situado en Norman, Oklahoma, el hidrólogo Jonathan J. Gourley se dedica a mejorar la predicción de las inundaciones repentinas. El Sistema Multiradar/Multisensor (MRMS), surgido de una técnica desarrollada por Gourley y otros en la que se fusionan los datos de múltiples radares meteorológicos en un gran "mosaico", puede

estimar los niveles de precipitación y la trayectoria de tormentas de dos en dos minutos.⁷¹ Antes del MRMS, las estimaciones de precipitación se hacían cada hora, de modo que, aprovechando el nuevo sistema para la predicción de inundaciones repentinas, el llamado FLASH o Hidrográficas Simuladas y Localizaciones de Inundaciones, se duplica la precisión de las predicciones anteriores, mejora la resolución espacial, permitiendo así predicciones localizadas en lugar de condales, y simula modelados que rastrean los Estados Unidos cada diez minutos.^{70,72} En verano del 2018, los pronosticadores del NWS empezaron a emitir avisos de inundaciones repentinas en base a las predicciones del sistema FLASH.⁷³

Susan Liley también estaba harta de las inundaciones. Aunque su hogar estaba a salvo, quería ayudar a los demás. Se ofreció a limpiar las casas inundadas y regaló los huevos de sus gallinas a las familias cuyas casas se habían inundado. Mientras lavaba la ropa mojada de la nieta de una amiga suya, sintió que esa era la gota que colmaba el vaso.

Arbuthnot, ingeniera civil de profesión, y Liley, secretaria jubilada del colegio del pueblo y abuela de cuatro nietos, se conocieron en Internet y decidieron actuar. Juntas fundaron el Comité Ciudadano para el Socorro durante

Inundaciones (CCFR), un grupo asistencial que busca soluciones a las cada vez más frecuentes inundaciones en De Soto. Crearon una página en Facebook y convocaban reuniones mensuales en una iglesia. Según Liley, suelen asistir entre 20 y 30 personas de la comunidad y otros lugares. Cuando se esperan fuertes lluvias en la región, buscan voluntarios para llenar sacos de arena. Tanto los residentes que han vivenciado una inundación como los que no están preocupados por las peligrosas condiciones en De Soto.



EL MAPEO Y EL MONITOREO PARA SOLUCIONES CON CONOCIMIENTO DE CAUSA

Mediante su participación en Higher Ground, una iniciativa de la organización sin fines de lucro Anthropocene Alliance, y la mayor red de supervivientes de inundaciones en los EE. UU., Arbuthnot y Liley descubrieron el Thriving Earth Exchange (TEE) de la AGU, que pone en contacto a comunidades y científicos para resolver desafíos locales. El TEE presentó el CCFR a los hidrólogos Robert Jacobson y Susannah Erwin del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el hidrólogo Dan Hanes y la ingeniera civil Amanda Cox de la Universidad de San Luis,

quienes prestaron su tiempo para ayudar a la comunidad de De Soto.

Empezaron sugiriendo que el CCFR presionara para que el USGS instalara una estación de aforo en el arroyo Joachim, y así fue en el 2018. El medidor de caudal de la estación de aforo mide la profundidad del agua que fluye por el arroyo Joachim cada cinco minutos,⁴⁷ lo cual brinda a los residentes de De Soto información casi instantánea sobre los niveles del arroyo, predicciones de inundaciones más precisas y la capacidad de tomar decisiones de evacuación con base en esos datos.

TECNOLOGÍA:

CÓMO SE UTILIZAN LOS MEDIDORES DE CAUDAL

Los medidores de caudal miden la profundidad del agua que fluye en un arroyo en un punto específico a lo largo de un cierto período, medida que, al utilizar una relación matemática llamada la "curva de gasto" o "curva de tarado", puede convertirse a volumen hidrológico. En los Estados Unidos, USGS mantiene una red de 10,330 medidores,⁷⁴ la cual nos permite entender cuánta agua hay en un terreno durante los períodos secos y húmedos y como cambia a lo largo del tiempo. El USGS publica las observaciones actuales e históricas en: waterdata.usgs.gov/nwis/sw. Se puede acceder a registros internacionales de caudal mantenidos por el Centro de Datos de Escorrentía Global, bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial: bafig.de/GRDC/.

Los Estados Unidos continentales cuentan con aproximadamente 2.7 millones de segmentos de arroyos y ríos, con una extensión de más de 3.5 millones de millas⁷⁵, más de 14 veces la distancia entre la Tierra y la luna. De estos, solo 4,000 segmentos cuentan con un medidor de caudal con un registro de mediciones lo suficientemente largo como para generar un pronóstico de inundaciones.⁷⁶ El Modelado Hidrológico Nacional de la NOAA, que se dio a conocer en el 2015, está ayudando a rellenar esta brecha.⁷⁶ Valiéndose de supercomputadoras financiadas por la NSF y ubicadas en la Universidad de Illinois, en el campus de Urbana-Champaign, el Modelado Hidrológico Nacional incorpora los datos de la red existente de medidores del USGS para calcular el caudal de todos los riachuelos y los ríos de los Estados Unidos.⁷⁶



Al trabajar con Higher Ground, CCFR consiguió que Silver Jackets realizara un plan de gestión de inundaciones. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), mediante el programa Silver Jackets, ayuda a las comunidades a gestionar el riesgo de inundación.⁴⁸ El plan de gestión de inundaciones evalúa la vulnerabilidad de una región frente a las inundaciones y propone opciones para minimizar los daños por inundaciones, a fin de ayudar a la comunidad a salir del ciclo inundación-reconstrucción.⁴⁶

Los científicos del Thriving Earth Exchange ayudaron a revisar los dos primeros borradores del Plan de Gestión de la Llanura Aluvial en el curso alto del arroyo Joachim, comentándolos y tendiendo un puente entre las prioridades del USACE y los residentes. Valiéndose de la asesoría técnica y la verificación independiente

por parte de los científicos del Thriving Earth Exchange, Arbuthnot y Liley lograron incluir en el tercer borrador un análisis más detallado que aprovechaba un modelado hidráulico en 2D. Para una ciudad hostigada por las inundaciones, como De Soto, estos resultados brindarán a los residentes el alivio de saber cuáles son los verdaderos riesgos de inundación al considerar sus opciones con claridad. Asimismo, Arbuthnot y Liley cuentan con los resultados para presionar a los políticos locales para que mejoren las normativas. Tanto el ayuntamiento de De Soto como el gobierno condal del condado de Jefferson han implementado nuevas normativas para el desarrollo que tienen en cuenta las inundaciones y van más allá de las recomendaciones estándares de la FEMA, con el objetivo de que las próximas inundaciones causen menos estragos.

LA PREDICCIÓN Y EL MODELADO DE LAS PRÓXIMAS INUNDACIONES

Muchas ciudades y pueblos del medio oeste de los Estados Unidos se enfrentan a problemas parecidos a los de De Soto. Las comunidades a lo largo del río Misuri en Dakota del Sur, Nebraska, Iowa, Misuri y Ansas sufrieron graves inundaciones esta primavera. Las inundaciones ocurrieron porque llovió más de la cuenta sobre un suelo ultracongelado cubierto de nieve.^{10,49}

Como el suelo no podía absorber la escorrentía, esta desbordó los arroyos y los ríos. En marzo del 2019 el curso alto del río Misuri tuvo cuatro veces más escorrentía que de costumbre, lo cual superó el récord anterior en un 51%.⁵⁰ El río desbordó las orillas y los diques, convirtiéndose en la sexta gran inundación de los últimos 40 años para algunas comunidades.⁵¹

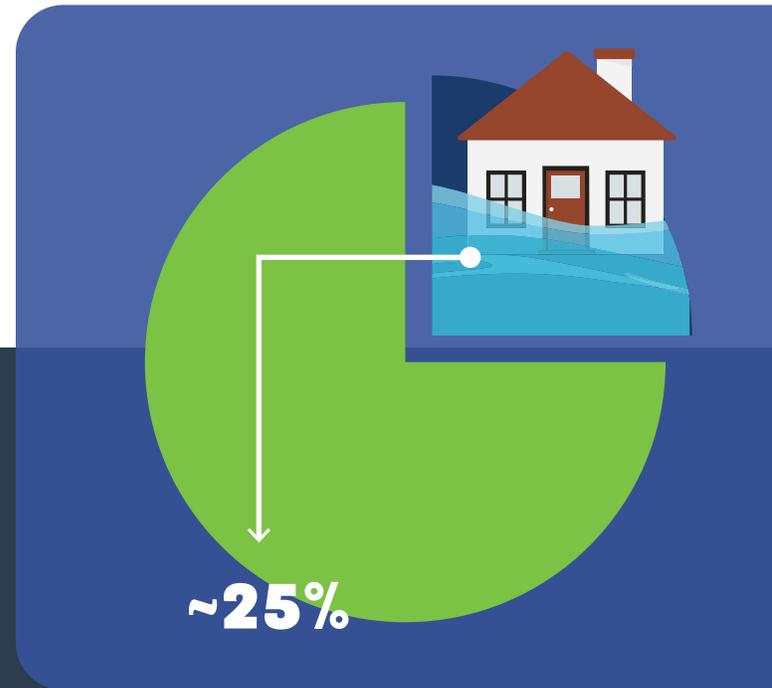
La investigación confirma lo que las comunidades ya saben: la frecuencia de las inundaciones en el centro de los EE. UU. está creciendo.

Un estudio financiado por la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF) analizó los datos de las estaciones de aforo para determinar los índices de las inundaciones y concluyó que en el 34% de los sitios analizados, ubicados en los estados de Dakota del Norte, Iowa, Misuri, Illinois, Indiana y Ohio, el índice de inundaciones entre el 1962 y el 2011 iba en aumento.⁵²

LA CIENCIA CLIMÁTICA: UNA INUNDACIÓN CENTENARIA NO OCURRE CADA CIEN AÑOS

Las llanuras aluviales centenarias son una parte importante de todo mapa de riesgo de inundación. La probabilidad de que haya una inundación centenaria en cualquier año es del 1%, lo cual se traduce en un 25% de probabilidad de que una casa situada en la llanura aluvial centenaria se inunde a lo largo de una hipoteca a 30 años.

Otro factor que explica por qué la inundación centenaria no ocurre cada cien años es que la llanura aluvial centenaria se determina parcialmente con datos de caudal históricos, cálculo que da por sentado que los caudales futuros serán como los del pasado,⁷⁷ mientras que, en realidad, los cambios en el paisaje, la infraestructura y el cambio climático crean modificaciones en los caudales que no se pueden



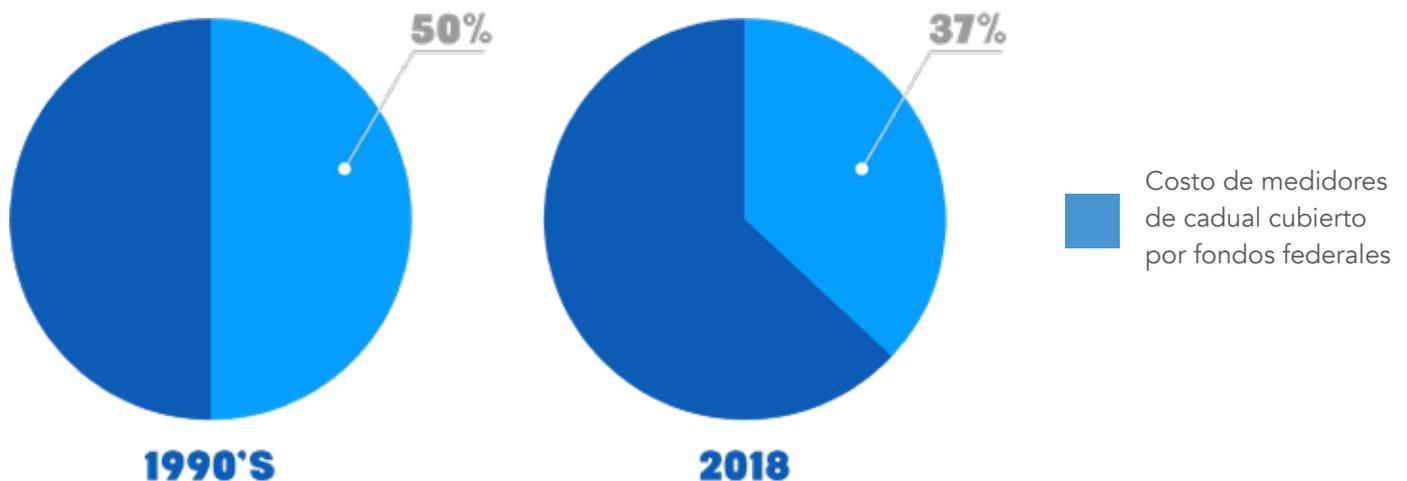
predecir utilizando datos históricos.^{77,78}

La ciencia climática demuestra que la frecuencia y la intensidad de los fenómenos de precipitación severa aumentarán a medida que se caliente la atmósfera y contenga más humedad.⁹ Dada la conexión física entre precipitación e inundación, así como las correlaciones observadas entre un aumento en las precipitaciones de alta intensidad y las inundaciones en el centro de los EE. UU., parece probable que el aumento de precipitación fuerte conlleve un aumento en las inundaciones en ciertas zonas.^{9,52} El consenso entre los ingenieros y científicos hidrológicos es que hacen falta nuevos métodos y más datos a largo plazo para calcular con precisión el riesgo de inundación a futuro.^{77,78}

Jacobson, junto con otros muchos científicos, han pasado sus carreras investigando las inundaciones a lo largo del río Misuri. Serán los primeros en reconocer que tardaremos años en entender las del 2019. Hacen falta nuevos datos y modelos para medir los cambios en la precipitación y las características de la tierra. Las inundaciones las provoca una combinación de factores que se están agudizando debido al cambio climático, incluyendo el tipo, la cantidad y el índice de precipitación. Además, el desarrollo extensivo cambia constantemente la capacidad del suelo para absorber la precipitación.

Los medidores de caudal pueden aliviar de inmediato las inundaciones al brindar avisos de manera anticipada. La estación de aforo del arroyo Joachim la mantiene y en parte la financia el USGS, en colaboración con el Ayuntamiento de De Soto y el condado de Jefferson, Misuri. Las alertas de inundaciones facilitadas por las estaciones de aforo tienen

beneficios tangibles e intangibles. Permiten que los residentes escapen a tiempo y protejan su propiedad; dan a los negocios y las empresas de servicios públicos tiempo para prepararse, lo cual minimiza el coste y la interrupción de servicios; y rebajan el estrés a nivel de comunidad procedente de una evacuación de emergencia rápida.⁵³ Cabe destacar que la financiación federal para las estaciones de aforo cubre una parte menguante del coste (el 37% en el 2018 en comparación con el 50% en los 90),⁵⁴ lo cual crea el riesgo de que las comunidades vulnerables no cuenten con los fondos suficientes para mantener una estación de aforo y entender el riesgo por inundación al que se enfrentan. Si bien es difícil determinar un valor monetario exacto de los sistemas de aviso de inundaciones, las mediciones de caudales tienen un índice beneficio-coste de aproximadamente 4:1 cuando se tienen en cuenta todos los usos posibles, incluyendo la gestión de inundaciones.⁵⁵





Es imprescindible para De Soto y otras comunidades similares saber que va a haber una inundación. Sin embargo, la planificación a largo plazo requiere saber no solo donde puede que ocurra una inundación hoy, sino también años más adelante. Desarrollar un mapa de zonas en riesgo de inundación es un paso hacia un mayor conocimiento, y requiere datos del caudal recabados por los dispositivos de medición, así como un mapa de la elevación del terreno.

El Programa de Relieve en 3D (3DEP) del USGS, con el apoyo de varias agencias federales, ha proveído datos de relieve en 3D desde el 2014.^{56,57} Estos mapas dependen de la tecnología LiDAR, la cual se vale de una aeronave para emitir un láser que rebota contra la superficie de la Tierra y vuelve a un sensor en la aeronave.⁵⁸ Con estas mediciones, los científicos pueden medir la

superficie de la Tierra a una resolución de unos dos pies o menos, con un error vertical de unas cuatro pulgadas.^{57,58}

Hoy en día el 53% del país está cartografiado en estos mapas,⁵⁶ que generan unos beneficios en la toma de decisiones en torno a la gestión de inundaciones estimados en 502 millones de dólares al año.⁵⁹ Un estudio sobre gobiernos federales, estatales, locales y tribales y empresas privadas señalaron 602 funciones fundamentales que dependen parcial o totalmente de los mapas 3DEP, incluyendo la administración de infraestructura y obras, la agricultura en general y la de precisión en concreto y la seguridad y navegación aéreas.⁵⁹ Al apoyar estas funciones, el 3DEP rinde un posible beneficio anual de 13 mil millones de dólares, lo que equivaldría a un retorno de la inversión de 5:1 cuando se tienen en cuenta todos sus usos.⁵⁹

EL DESBORDAMIENTO DE LAS INUNDACIONES URBANAS

Mientras que los residentes de De Soto pueden señalar el arroyo Joachim como la fuente primaria de su riesgo por inundaciones, en otras comunidades estadounidenses la situación es diferente. Por ejemplo, en las afueras de Chicago, los aparcamientos y sótanos se inundan sin que haya arroyos cerca. El Centro Barrial para la Tecnología (CNT), una organización sin fines de lucro que promueve la sostenibilidad urbana, realizó una investigación que determinó que la causa de las inundaciones son las aguas pluviales que no tienen a dónde ir, ya que el viejo sistema de saneamiento es demasiado pequeño para dar abasto con el aumento del agua de escorrentía procedente del desarrollo de terrenos.

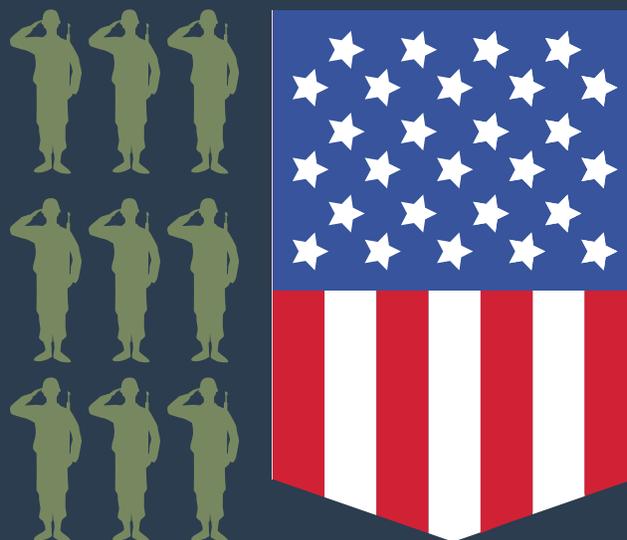
Harriet Festing, promotora de comunidades que se enfrentan a los efectos del cambio climático, encabezó los esfuerzos del CNT. Al indagar en los partes de seguros del condado de Cook, Illinois, donde están situadas la ciudad de Chicago y las afueras, descubrió que no era más probable que se dieran partes de seguros de inundaciones dentro de la llanura aluvial centenaria que fuera,⁶⁰ lo cual significaba que el pensamiento prevaleciente (es decir, la idea de que al gestionar la llanura aluvial uno gestiona, por ende, las inundaciones) no reflejaba la realidad de las inundaciones urbanas en Chicago. Algunos informes subsiguientes han revelado que las inundaciones urbanas son un problema a nivel nacional.^{61,62} Dado que el 86% de la población de los EE. UU. vive en zonas metropolitanas o adyacentes,⁶¹ la relevancia de estos estudios es extraordinaria.

LA SALUD Y LA SEGURIDAD:

LOS EFECTOS DE LAS INUNDACIONES

Entre los fenómenos meteorológicos extremos, las inundaciones repentinas son la segunda causa de muerte en los Estados Unidos, solo por detrás del calor extremo.³³ En el destacamento militar de Fort Hood, en Tejas, murieron nueve soldados debido a las inundaciones repentinas durante un ejercicio de capacitación en junio del 2016.⁷⁹ Desde entonces, Fort Hood ha instalado seis medidores de caudal del USGS para predecir este tipo de inundación.^{79,80}

Asimismo, en una encuesta a 100 residentes del condado de Cook, Illinois que vivieron una inundación en los últimos cinco años, el 84% respondió que la inundación les causó estrés, además de un 13% que afirmó que la inundación empeoró la salud de un miembro del hogar.⁶⁰





En su papel actual como gerente de Higher Ground, Festing también ha ayudado a crear enlaces entre comunidades urbanas en riesgo de inundación y científicos mediante sus contactos en el Thriving Earth Exchange de la AGU. Así fue como Joe Schulenberg, profesor clínico en la Universidad de Illinois en Chicago, conoció a Delia Barajas, directora de Ixchel, una organización de base que promueve la equidad racial en la educación y la justicia ambiental para las comunidades de color en el pueblo de Cicero, en las afueras de Chicago. Juntos se propusieron brindar opciones de mitigación factibles para los residentes de Cicero y la ciudad cercana Berwyn, cuyos atascos constantes del saneamiento provocan inundaciones en los sótanos y el atoramiento del alcantarillado. Estas inundaciones tienen consecuencias aún más drásticas para estas dos comunidades, ya que el alto coste de vida y la

desigualdad de ingresos fuerza a varias familias a compartir viviendas unifamiliares.

Schulenberg, junto con un equipo de sus alumnos, se propuso realizar un análisis de ingeniería y diseños alternativos para abordar las inundaciones en Cicero y Berwyn, pero pronto se dieron cuenta de que no sería tan sencillo. Descubrieron que, en los aparcamientos de las dos municipalidades, una media del 70% está pavimentada o edificada.⁶³ Esta falta de espacios abiertos, unida a la falta de fondos municipales y de recursos de los propietarios residenciales, hizo que las soluciones propuestas por los alumnos para limitar las inundaciones, como por ejemplo la construcción de jardines infiltrantes o drenajes sostenibles (un dique poco profundo e inclinado cubierto de pasto u otras plantas) fueran poco factibles.

Asimismo, la falta de información limita la capacidad de Barajas y Schulenberg para mitigar las inundaciones urbanas en Cicero. A diferencia de Berwyn, ciudad que cuenta con un Plan de Administración de Aguas Pluviales desarrollado en conjunto con la Agencia Metropolitana para la Planificación de Chicago, Cicero no tiene a su disposición un plan de este tipo. Además, mientras que los mapas del alcantarillado de Berwyn están digitalizados en el software del Sistema de Información Geográfica, los de Cicero no son sino escaneos de esbozos de los años treinta. A falta de mapas y planificación actualizados, Schulenberg y otros ingenieros están obligados a empezar desde cero al abordar las inundaciones en Cicero.

El mayor desafío para Schulenberg y sus alumnos fue el de abordar el tema de las inundaciones urbanas desde la perspectiva de la justicia ambiental. “Uno puede realizar todos los estudios que quiera, pero si no lo ve desde la perspectiva de la justicia racial, le falta la clave”, dijo Barajas. Muchas comunidades de bajos ingresos o de etnias

minoritarias tienen que lidiar con problemas como escaso acceso a financiación, espacios abiertos e información, o con que se les niegue tenerlos, lo cual amplifica los efectos de las inundaciones sufridos por los residentes de Cicero y Berwyn y los hace más vulnerables ante otras amenazas ambientales. Por ejemplo, Cicero se encuentra corriente abajo de una estación ferroviaria y una planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual empeora la calidad del aire por el hollín y los olores nocivos que emiten, respectivamente.^{64,65} Asimismo, algunos análisis independientes han revelado la presencia de plomo en el agua potable de Cicero, resultado de las tuberías viejas del sistema de distribución de agua.⁶⁶ Los integrantes de Ixchel cuentan con pocos recursos para lidiar con las inundaciones y la calidad del aire y del agua en sus comunidades. Pero conforme aparezcan más ingenieros que, como Schulenberg y sus alumnos, estén dispuestos a analizar y recopilar datos que reconozcan la interrelación de estos efectos y otras barreras sistémicas de mayor envergadura, contarán con más ayuda en un futuro.





NUEVAS SOLUCIONES A UN PROBLEMA DE LARGA DATA

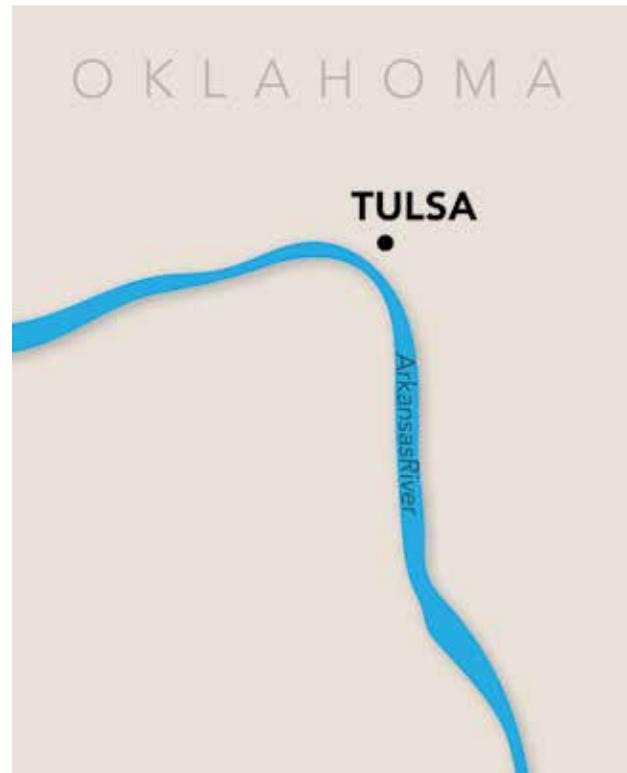
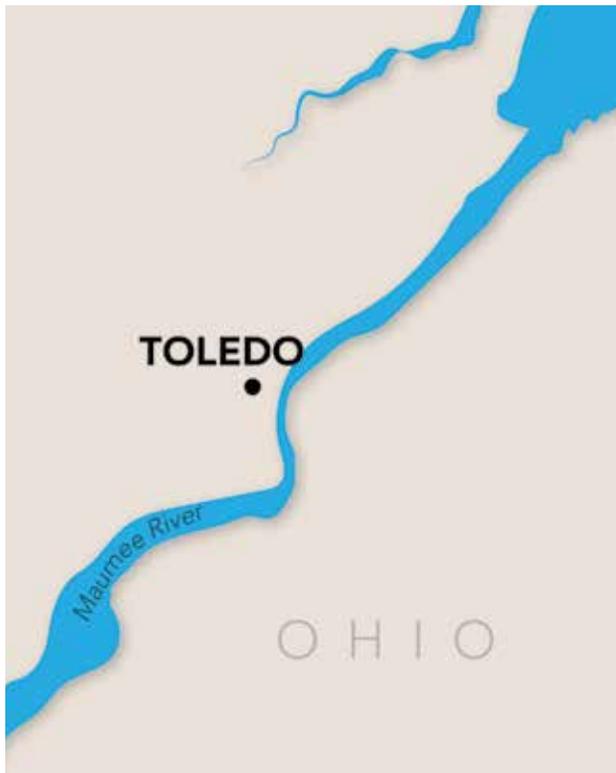
Hay cada vez más comunidades en busca de nuevas soluciones a las inundaciones. Muchas optan por lo que se estila llamar la infraestructura “verde”, que funciona permitiendo que la tierra absorba las aguas pluviales o ralentizando la liberación del agua corriente abajo. Algunos ejemplos de esto son los jardines infiltrantes, el pavimento permeable y el drenaje sostenible. Estos esfuerzos tienen como base un nuevo entendimiento de la reducción y la gestión de inundaciones, a diferencia de la tradicional infraestructura “gris”, como las alcantarillas pluviales de las calles de una ciudad o los diques que separan ciudad y río, los cuales desvían el agua corriente abajo lo más rápido posible.

La ciudad de Toledo, Ohio, situada en la punta occidental del lago Erie, empezó a considerar la infraestructura verde tras las grandes inundaciones del 2006.⁶⁷

Con financiación procedente de la Agencias para la Protección del Medio Ambiente (EPA), la Iniciativa para la Restauración de los Grandes y la NOAA, la municipalidad realizó un estudio que determinó que si la infraestructura verde disminuyera en un 10% el caudal máximo del arroyo Silver, se podrían reducir en un 46% los daños económicos derivados de una tormenta centenaria.^{67,68} Alentados por este estudio, la municipalidad y la EPA colaboraron para instalar un sistema de drenaje sostenible.⁶⁷

En la ciudad de Tulsa, Oklahoma, los diques y la represa construidos sobre el río Arkansas por el USACE en los 40 y los 50 no pudieron prevenir las inundaciones y solo le dieron a la comunidad un falso sentido de seguridad. En su búsqueda de nuevas soluciones a un problema antiguo, la municipalidad fundó el Departamento para la Gestión de Aguas Pluviales en el 1984,⁶⁹ y utilizó los fondos procedentes de la FEMA para comprar y convertir terrenos inundados en espacios verdes, los cuales se usan hoy en día para reducir los riesgos de inundaciones y para fines recreativos.⁶⁹ Asimismo, agregó zonas de reserva que proporcionan más beneficios ambientales, junto con cuencas de detención que pueden almacenar más agua durante las tormentas.⁶⁹ Tanto Toledo como Tulsa son ejemplo del éxito que pueden tener las zonas urbanas al usar la infraestructura verde cuando la gris por sí sola no resuelve el problema.

Las inundaciones en la primavera del 2019 a lo largo del río Misuri llevaron al USACE a pedir que el Congreso autorizara un estudio actualizado de la región, pero aún está por verse cómo los funcionarios responsables de políticas junto con otros actores responden ante este desastre. La gestión de los riesgos de inundaciones a lo largo de cualquier río es un problema complejo que requiere una gestión holística de cuencas fluviales para no aplazar el abordaje del problema del agua crecida y el riesgo asociado, junto con un modelado de alto nivel que tenga en cuenta datos a largo plazo y constantemente actualizados. Gracias a los esfuerzos combinados de los científicos que han dedicado sus carreras al estudio de los ríos y los arroyos, así como el compromiso de ciudadanos y organizadores en todo el país que se han hecho escuchar y exigido mejores soluciones para sus comunidades, se ha avanzado en el abordaje de los retos que plantea nuestro cambiante mundo.



RESUMEN



Las inundaciones continentales asumen muchas formas. Desde las inundaciones fluviales en las zonas rurales y las ciudades portuarias, hasta las inundaciones urbanas en zonas metropolitanas densamente pobladas y las zonas suburbanas, ninguna está a salvo del coste de las inundaciones continentales.



Los datos básicos del USGS sobre caudales y topografía son imprescindibles para que las comunidades sepan dónde y con qué frecuencia puedan ocurrir las inundaciones.



Los científicos desarrollan cada vez más técnicas para pronosticar las inundaciones, como por ejemplo el Modelo Acuático Nacional financiado por la NSF, que permite pronósticos de cualquier caudal del país, y el modelo FLASH de la NOAA, un sistema de aviso anticipado de inundaciones repentinas.



Vivimos en un mundo en evolución, algo que ya reconocen las comunidades y los científicos cuyo trabajo gira en torno a las inundaciones. Hemos de seguir investigando nuevas soluciones, tales como las alternativas naturales para la mitigación de inundaciones, para adaptarnos.

LAS INUNDACIONES COSTERAS

LOS BARRIOS SE CONVIERTEN EN MARES

Al asomarse a la ventana después de que el huracán Matthew emprendiera una trayectoria inesperada por Virginia Beach, Virginia, en octubre del 2016, la señora Virginia Wasserberg y sus vecinos vieron coches sumergidos hasta los faros.^{81,82} Se fue la luz en la casa en la que vivía con su esposo y sus dos hijos, y solo se percataron de los daños al amanecer. Vieron coches abandonados en el jardín, arrastrados hasta allí por la corriente. El porche estaba inundado, y el interior de la casa tampoco estaba mucho mejor. El primer

piso se inundó con casi dos pies de agua, un desastre que un contratista tardaría dos meses en reparar.

Incluso antes de que el huracán Matthew asolara la ciudad, las inundaciones eran un problema persistente en el barrio de la señora Wasserberg. Poco después de que se mudara con su familia a Virginia Beach en el 2014, amanecieron con el jardín inundado después de la lluvia de la noche anterior. Su hijo señalaba las olas que llegaban casi hasta el umbral de la puerta, y decía: "Parece el mar".



LOS DESASTRES CONSECUENTES DE INUNDACIONES INUNDACIONES SON MOTIVO DEL 73% DE LAS DECLARACIONES DE DESASTRE EMITIDAS DESDE LA PRESIDENCIA

(The Pew Charitable Trusts, 2019)

La intersección frente a su casa se inundaba con frecuencia, llevando a los coches e incluso autobuses a intentar esquivar el agua atajando por el jardín de los Wasserberg. Siguiendo el ejemplo de los vecinos, compraron estacas de metal para ayudar a los conductores a distinguir entre jardín y camino, y aunque no funcionó, era mejor que sentirse impotentes.

Para la señora Wasserberg, madre ama de casa que educa a sus hijos en el hogar, el huracán Matthew fue la gota que colmó el vaso. En marzo del 2017, cuando los concejales dijeron a los propietarios que sacaran fotos para documentar el problema, creó una página en Facebook bajo el título "Stop the Flooding NOW" ("Paren las inundaciones YA"), que se ha convertido en un foro para exigir a los legisladores municipales que actúen.

Al principio, Wasserberg se empeñaba en encontrar soluciones para su barrio, como podría ser la financiación municipal para instalar compuertas de retención sobre la ensenada hacia la cual fluye la escorrentía del terreno del vecino o las instalaciones de bombeo recomendados por los ingenieros municipales. El ayuntamiento buscaba mecanismos para financiar estos proyectos, hacía caso a Wasserberg y los demás vecinos al limpiar las alcantarillas pluviales y dragar las zanjas y los canales de la zona. No obstante, cuanto más estudiaba el tema la señora Wasserberg, más se percataba de que el problema no estaba tan limitado como pensaba. "No es solo un problema del barrio, sino de la ciudad", dice de su epifanía. "Y pronto nos dimos cuenta de que era un problema regional".

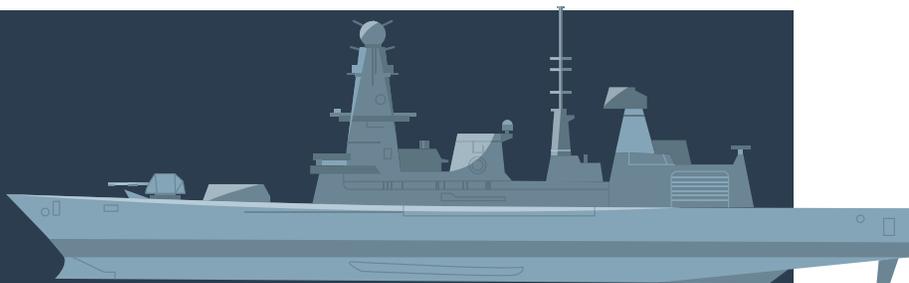


LA SEGURIDAD NACIONAL: EL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

La región de Hampton Roads abarca las zonas metropolitanas de Virginia Beach, Norfolk y Newport News, y tiene más de 1.7 millones de habitantes.⁹⁸ Asimismo, en las palabras del ex Secretario de Defensa Leon Panetta, allí yace «lo que podría ser la mayor concentración de fuerza militar del mundo»,⁹⁹ ya que la región alberga más de 38 sitios militares o de apoyo militar, y más de 100,000 militares y 40,000 civiles están apostados allí.¹⁰⁰ Las bases de mayor envergadura son la Base Conjunta Langley-Eustis y la Estación Naval de Norfolk, que apoya la Flota Atlántica de los EE. UU. en su totalidad.¹⁰⁰ Ninguna de las bases está a más de diez pies por encima del nivel medio del mar y ya están sufriendo

inundaciones continuas, agravadas por el hundimiento del terreno.^{80,100,101}

La Fuerza Aérea calificó la Base Conjunta Langley-Eustis como una de las primeras 10 bases, de las 36 consideradas prioritarias, más afectadas por los fenómenos meteorológicos extremos, incluyendo las inundaciones costeras y continentales, el calor extremo y la sequía.¹⁰² Un análisis de la NASA señaló tasas de hundimiento de tierra en el Astillero Naval de Norfolk mucho más altas que las tasas medias.¹⁰¹ Según el Vicealmirante retirado David Titley, que dirigió el Grupo de Trabajo de la Marina sobre el Cambio Climático, “creo que Norfolk está luchando por su propia supervivencia a largo plazo.”¹⁰³



CÓMO USAR LA CIENCIA PARA DAR VOZ A LA GENTE

Michelle Covi, profesora en la Universidad Old Dominion y miembro del personal de la filial de Virginia del programa Subvenciones Marítimas de la NOAA, contribuyó mucho a este descubrimiento. En su investigación sobre el cambio climático y la comunicación y la percepción del riesgo del aumento del nivel del mar, Covi divulga sus mensajes científicos a muchos públicos. Se encuentra trabajando con el ayuntamiento de Virginia Beach para hacer partícipes a los vecinos a medida que el ayuntamiento desarrolla un plan de acción ante el aumento del nivel del mar y las inundaciones recurrentes.

Covi no se limita a informar a los residentes de los desafíos que depara el aumento del nivel del mar, sino que también informa a los funcionarios públicos sobre la incorporación de los datos en la toma de decisiones respecto la adaptación frente a las inundaciones, lo cual da voz a más residentes de Hampton Roads. Por ejemplo, en un estudio realizado por Covi y un doctorando en la ciudad de Portsmouth,

lugar donde, según Covi, algunos residentes manifestaban altos niveles de desconfianza en el gobierno, se determinó que los hogares de bajos ingresos e ingresos medios tenían una mayor probabilidad de sufrir inundaciones de la red vial pública que los hogares de altos ingresos. 83 Asimismo, era más probable que no contaran con los medios para salir del barrio durante una inundación.⁸³ Covi y su equipo entregaron un conjunto de propuestas al ayuntamiento de Portsmouth para mejorar la comunicación con estos hogares vía sus medios de comunicación preferidos.⁸³ Los resultados podrían proporcionar conocimiento de causa a los planes de mitigación de inundaciones y las intervenciones en casos de emergencia en Portsmouth.

El programa Thriving Earth Exchange de la AGU aprovechó la pericia de Covi al incorporarla como recurso para Wasserberg y la iniciativa Stop the Flooding NOW. La profesora ha trabajado con Wasserberg en lo que se ha convertido en un proyecto de educación pública, al ayudarla a explicar la ciencia detrás de las inundaciones de Virginia Beach: a medida que se retira agua del acuífero del río Potomac para proveer agua potable a la región, se hunde la tierra, una coyuntura empeorada por el aumento global del nivel del mar.



LA CIENCIA CLIMÁTICA:

¿EN QUÉ CONSISTE EL AUMENTO GLOBAL DEL NIVEL DEL MAR?

Hay dos factores principales que explican el aumento global del nivel del mar, los cuales están relacionados con el cambio climático derivado de la actividad humana: **1.** la expansión del agua oceánica existente conforme va aumentando su temperatura y **2.** el derretimiento de las láminas de hielo, lo cual añade más agua al océano.⁹ El nivel del mar lo miden los satélites y la red de medidores de caudal de la NOAA, los cuales calculan la media a partir del nivel del mar de varios lugares en todo el mundo.¹⁰⁴ Entre el 1900 y el 1993, el nivel del mar global subió entre cuatro y cinco pulgadas, y tres más desde el 1993.⁹ El nivel del mar puede subir más rápido o más despacio que la media global, dependiendo de cada lugar.¹⁰⁵ El cambio climático derivado de la actividad humana ha contribuido a la tasa de aumento del nivel del mar en todo ese período, tasa que no se ha visto



en al menos 2.800 años.⁹ Como resultado directo del aumento del nivel del mar, se ha multiplicado entre cinco y 10 el número de inundaciones menores o “molestas” en las ciudades costeras desde los 1960.⁹

Wasserberg, a su vez, representa a su comunidad y le sirve de fuente de información sobre las inundaciones y la ciencia climática. Asimismo, Covi considera que ayuda a promover un cambio real entre las comunidades que a veces recelan de los peritos procedentes de otros lugares. “Virginia mantiene conversaciones con un colectivo distinto al que vendría a petición mía si yo fuera a organizar una reunión, y consigue hablar con la gente de otra manera distinta a la mía”, dice Covi. Wasserberg sigue presionando

a los funcionarios públicos locales a fin de que financien los proyectos de mitigación de inundaciones, pero no deja de tener en cuenta que la educación sobre la comunicación, la comunicación y el activismo de base son claves para avanzar en la mitigación de inundaciones en la región. Tanto Covi como Wasserberg hicieron del aumento del nivel del mar el foco de atención en sus comunidades, y juntas convirtieron ese foco en conocimiento con la capacidad para mejorar la vida.

PARA ENTENDER EL RIESGO SE NECESITA UN MAR DE DATOS

Al igual que las comunidades que se enfrentan a las inundaciones fluviales pueden empezar a entender el riesgo al medir con un medidor de caudal la frecuencia de los distintos niveles de agua, las comunidades costeras pueden calcular la probabilidad de una inundación aprovechando el mismo dispositivo. La NOAA mantiene la Red Nacional para la Observación del Nivel del Agua, una red de 210 estaciones de aforo permanente en las dos costas y los Grandes Lagos, para observar el nivel de marea y realizar predicciones de marea para todo el país.⁸⁴

La red de medidores mareales de la NOAA la suplementan medidores locales instalados por el USGS. Como respuesta a la posibilidad de inundaciones costeras en Virginia, el USGS instaló unos 24 medidores de marea en el 2015 y el 2016, incluyendo 10 en Virginia Beach.^{85,86} La organización manda datos de los medidores al Servicio Meteorológico Nacional, lo cual ayuda a realizar pronósticos locales más precisos y permite que los gestores de emergencias tomen decisiones localizadas, como la determinación de rutas de evacuación.⁸⁵



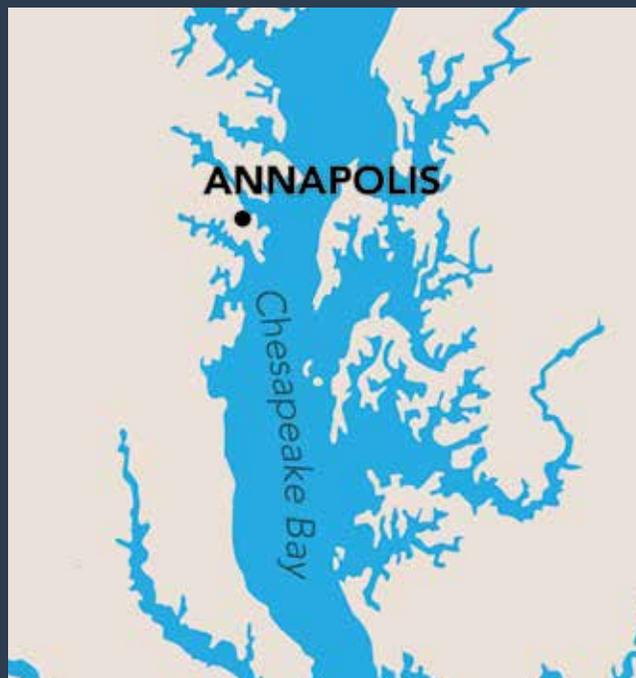
Hay otros grupos en el estado que están trabajando para abordar las inundaciones provocadas por el aumento del nivel del mar y mejorar la precisión de los pronósticos locales. El Centro Commonwealth para la Resiliencia ante las Inundaciones Recurrentes (CCRFR) y el Instituto de la Ciencia Marítima de Virginia (VIMS) mantienen medidores

de marea en la red Tidewatch en la bahía de Chesapeake, a lo largo de la costa este de Virginia. La red realiza pronósticos en la región de Hampton Roads a nivel de carreteras y edificaciones específicas⁸⁷ y predice alturas de marea y las inundaciones asociadas con 36 horas de anticipación.⁸⁸

LA ECONOMÍA: LOS EFECTOS DE LAS INUNDACIONES «MENORES»

Una sola inundación extrema puede causar daños de miles de millones de dólares, si bien la probabilidad de tal fenómeno es muy baja. Si bien una crecida menor en la costa provoca daños económicos menores en aislamiento, estos fenómenos son frecuentes y acarrearán un gran coste con el tiempo. En un estudio sobre los posibles daños económicos a consecuencia de inundaciones extremas o menores en 11 ciudades costeras en los Estados Unidos, en cinco de ellas (Nueva York, Washington, D. C., Miami, San Francisco y Seattle) el riesgo de daños económicos por efecto acumulado de inundaciones menores era mayor que el de daños económicos por inundaciones extremas.¹⁰⁶

Asimismo, las inundaciones menores también pueden tener un efecto grave sobre los residentes y los negocios. La ciudad de Annapolis, capital de Maryland y ubicada en la bahía de Chesapeake, depende de los turistas que visitan el centro histórico. Un estudio sobre las inundaciones por marejadas en un área de aparcamiento en el centro de Annapolis



determinó que las inundaciones provocaron que casi 3,000 turistas dejaran de utilizar el aparcamiento y que los negocios colindantes perdieran entre \$86,000 y \$172,000, es decir, entre el 0.7% y el 1.4% de sus ingresos anuales.^{107,108}

PROTEGER LAS CULTURAS FRENTE AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

En la costa oeste de los EE. UU., el modelo del Sistema para el Monitoreo de Tormentas Costeras (Cosmos) pronostica las inundaciones provocadas por tormentas y el aumento del nivel del mar provocado por el cambio climático.^{91,92} El modelo CoSMoS hace uso de los datos de viento y presión procedentes del Servicio Meteorológico Nacional para predecir los efectos de las tormentas en curso y depende los modelos climáticos globales para pronosticar las tormentas a futuro.^{93,94}

El modelo CoSMoS lo desarrolló el USGS en un principio para las condiciones de alta energía mareomotriz de la costa californiana. En una asociación con la EPA, el USGS también ha desarrollado una versión del CoSMoS para la costa del mar Salish, una red de aguas continentales que se extiende por el estado de Washington y parte de Canadá. Uno de los cuerpos de agua principales del mar Salish es el estrecho de Puget, en el estado de Washington. El delta del río Skagit al extremo norte del estrecho de Puget ha sido la madre patria del pueblo Swinomish durante miles de años.

El pueblo Swinomish resistió tres tormentas destructivas en cuatro años. La última, en diciembre del 2018, destruyó edificaciones de la orilla y dejó a los Swinomish preguntándose con qué frecuencia ocurrirían tormentas de esa magnitud. La intensificación de las inundaciones fluviales y costeras no solo ha inundado los hogares de los Swinomish, sino que también ha puesto en peligro su acceso a zonas

de pesca y lugares culturales significantes, si no su identidad en sí.⁹⁵ El anciano tribal Larry Campbell dijo al USGS que la dieta pescatariana de la tribu no solo refleja la tradición, sino que “para nosotros son alimentos espirituales”, explicaba Campbell. “Decimos que estamos alimentando el espíritu al consumir estos alimentos”.⁹⁵ Los Swinomish, al igual que otras tribus que tienen reservas, se enfrentan a la disminución de sus terrenos ya que sus fronteras son estáticas y no cambian a pesar del aumento del nivel del mar.⁹⁵

El pueblo Swinomish resistió tres tormentas destructivas en cuatro años. La última, en diciembre del 2018, destruyó edificaciones de la orilla y dejó a los Swinomish preguntándose con qué frecuencia ocurrirían tormentas de esa magnitud. La intensificación de las inundaciones fluviales y costeras no solo ha inundado los hogares de los Swinomish, sino que también ha puesto en peligro su acceso a zonas de pesca y lugares culturales significantes, si no su identidad en sí.⁸⁵



El anciano tribal Larry Campbell dijo al USGS que la dieta pescatariana de la tribu no solo refleja la tradición, sino que “para nosotros son alimentos espirituales”, explicaba Campbell. “Decimos que estamos alimentando el espíritu al consumir estos alimentos”.⁹⁵ Los Swinomish, al igual que otras tribus que tienen reservas, se enfrentan a la disminución de sus terrenos ya que sus fronteras son estáticas y no cambian a pesar del aumento del nivel del mar.⁹⁵

De estas inquietudes surgió una colaboración singular entre Eric Grossman, hidrólogo en el USGS, y Jamie Donatuto, un científico ambiental empleado por la tribu Swinomish. Grossman utilizó el modelo CoSMoS para determinar qué zonas de la reserva Swinomish estaban en situación de riesgo debido al aumento del nivel del mar y las tormentas por venir. Sin embargo, las inquietudes de los Swinomish iban más allá de la preservación de la tierra y los recursos. Como dice Donatuto, para los Swinomish “la salud viene de la cultura, y la cultura, de la tierra, el agua y el aire”. Por

ende, Donatuto trabajó con los Swinomish para identificar las prioridades sanitarias de la tribu, que incluían la preservación de sus alimentos tradicionales, incluyendo la almeja, el cangrejo y el salmón, además de resucitar la educación intergeneracional enfocada en la tierra. Habiendo definido estas prioridades sanitarias, los Swinomish pudieron aprovechar los resultados del modelo CoSMoS y priorizar las zonas que había que proteger. Asimismo, surgió un plan de estudios informal que enfatiza que los ancianos enseñen la administración terrestre a la juventud.

La toma de decisiones en base tanto a los valores como en la ciencia no es nada nuevo para los Swinomish. A medida que más científicos como Grossman y Donatuto se esfuerzan en entender las prioridades de las comunidades con las que trabajan, podemos anticipar más soluciones colaborativas, sostenibles y eficaces a los problemas climáticos a los que se enfrenta nuestro país.

LA TECNOLOGÍA: LA COSTA DIGITAL



Desde 2007, la NOAA ha apoyado a los administradores costeros en las costas de los océanos Atlántico y Pacífico y de los Grandes Lagos al ofrecerles acceso gratis a sus productos Costa Digital.¹⁰⁹ La Costa Digital es un depósito de información y productos contrastados para administradores de costas procedente de muchas fuentes, que brinda a los usuarios más de 70 terabytes de datos y 50 herramientas, tal como el Sea Level Rise Viewer (Observador del Aumento del Nivel del Mar), que ayuda a los usuarios a visualizar los datos.^{109,110} Estas herramientas facilitan el acceso a los datos y el uso de los mismos por parte de los administradores de costas

estatales y locales responsables de decisiones de planificación estratégica.

Una amplia gama de usuarios utiliza Digital Coast. Por ejemplo, el Departamento de Defensa lo utilizó en su evaluación inicial de bases militares y su riesgo de inundación a consecuencia del aumento del nivel del mar.¹¹⁰ En menos de dos años desde su creación, la base de datos ya había demostrado su valor, puesto que los beneficios económicos netos han superado el coste neto.¹¹⁰ Para el 2028, se estima que el beneficio neto de Digital Coast alcanzará los \$117 millones, lo cual supondría un rendimiento del 411% de la inversión.¹¹⁰



EL PAPEL DE LAS POLÍTICAS

En Virginia Beach está ganando fuerza un cambio político. La municipalidad contrató a una empresa de ingeniería para que realizara un estudio sobre la precipitación regional. Tras un análisis de la precipitación de los últimos 70 años, los ingenieros determinaron que la intensidad de la precipitación en la región había aumentado en un 5% de década en década, además de un aumento parecido a lo largo de toda la costa del nordeste estadounidense⁹⁶ Por tanto, recomendaron un aumento del 20% en los valores de precipitación usados en el diseño de la infraestructura, cuya vida útil ha de ser de 40 años, una vida útil estándar.⁹⁶

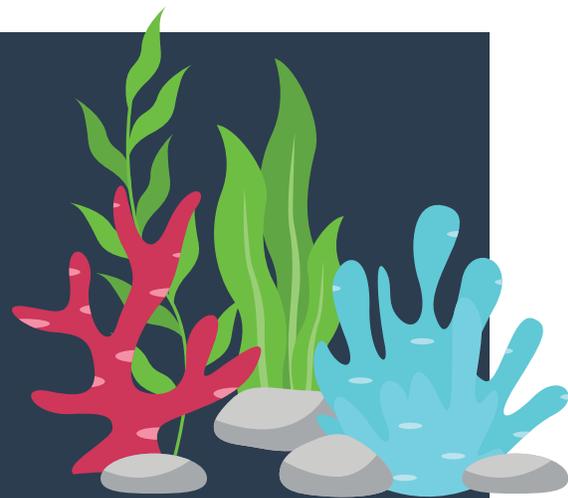
El informe también influyó en la decisión del Consejo Municipal de Virginia Beach

de incorporar la predicción científica de inundaciones a la hora de tomar decisión respecto al desarrollo y la normativa urbanística. Hace poco, un juzgado sostuvo la decisión del Consejo de rechazar la petición de un promotor inmobiliario para cambiar la normativa que designaba un terreno como propenso a la inundación para construir viviendas sobre el mismo, afirmando así el derecho de los legisladores de valerse de los datos climáticos y promover políticas basadas en datos respecto a las inundaciones. Esta victoria ha demostrado cómo el trabajo en aras de empoderar a la comunidad mediante los datos y las ciencias, coordinado entre científicos, los ciudadanos de a pie y los cargos electos, puede dar lugar a un cambio positivo.

TECNOLOGÍA DE OTRA ÍNDOLE: LA MITIGACIÓN NATURAL DE LAS INUNDACIONES COSTERAS

Las bases Eglin y MacDill de la Fuerza Aérea están sufriendo los efectos de las inundaciones costeras y la erosión. En el 2019, la Fuerza Aérea situó estas bases entre las primeras 10 con más riesgo de sufrir los efectos de fenómenos meteorológicos extremos tales como las inundaciones costeras, el calor extremo o las sequías.¹⁰² Eglin ocupaba el segundo puesto y MacDill, el octavo.¹⁰² En asociación con algunos grupos comunitarios, ambas bases recurrieron a los arrecifes de ostras para mitigar la erosión costera.⁸⁰ Otras bases también se han valido de la mitigación «natural» de las inundaciones costeras; el interés aumenta de la mano de la investigación científica que demuestra que los métodos de mitigación naturales, como la presencia de pantanos y arrecifes, protegen la orilla contra los daños por inundaciones.^{111,112}

Durante el huracán Irene, aproximadamente el 76% de los muros marinos de los Bancos Externos (una cadena de islas de Carolina del Norte) quedó dañado, pero no hubo daños en las orillas con pantanos a menos de 15.5 millas del aterrizaje del huracán.¹¹¹ Los arrecifes coralinos son otra forma de protección natural. Una cuantificación de los beneficios de los arrecifes coralinos en los estados de Hawaii y la Florida, los territorios de Guam, la Samoa Estadounidense, Puerto Rico y las Islas Vírgenes, junto con la Mancomunidad de las Islas Marianas del Norte, determinó que los arrecifes coralinos aportan un valor anual de 1.8 mil millones de dólares en daños por inundaciones evitados.¹¹² Asimismo, protegen a 18,000 personas de los efectos de las inundaciones.¹¹²



Wasserberg no ha dejado de defender los intereses de los residentes de Virginia Beach, pero se ha mudado del barrio porque no podía con la carga financiera y emocional. Parecía inevitable otra inundación como la del 2016, y su familia no podría sufrir otra. El año pasado en la web de Stop the Flooding NOW, Wasserberg compartió su historia e instó a los demás residentes de Virginia Beach a votar en

las próximas elecciones. «Una inundación no solo llena de agua una casa», escribía. «La ensucia y le arranca a la fuerza su belleza, perjudica y desplaza a la familia y la hace cargar con un montón de estrés. Barre toda una vida de labor en cuestión de segundos». Le dio las gracias a su comunidad y terminó en positivo, «¡Inundemos y votemos!»

RESUMEN



Las inundaciones de marea alta, en «días soleados» o «molestas» aquejan las costas este, oeste y de los Grandes Lagos de los EE. UU.



La NOAA, el USGS y otras agencias federales recopilan datos que los científicos aplicarán en la predicción de las condiciones costeras.



La adaptación es un tema tanto social como técnico, y exigirá que los científicos y las comunidades unan fuerzas para entender las prioridades y las posibles soluciones.



Se aprecia que la ciencia empieza a ser la base de las políticas respecto a las inundaciones en todo el país, una señal alentadora para el futuro de la nación.

PROPUESTAS

Para hacer frente a los complejos desafíos de las inundaciones y los fenómenos meteorológicos extremos en los EE. UU., las partes interesadas tendrán que trabajar de la mano en distintos sectores y niveles gubernamentales. Como elemento clave de las soluciones, los científicos deben hacer investigación pertinente y accesible y trabajar de manera estrecha con las comunidades. Con ese fin, deben contar con el apoyo de los gobiernos federales y locales.

Ni los datos ni las herramientas aportadas por los científicos en las comunidades

mencionadas en este estudio hubieran sido tan eficaces sin el conocimiento de los líderes locales en torno a sus prioridades, cultura y la capacidad de reacción existente. La ciencia solo tendrá en cuenta a la comunidad si primero se genera confianza mutua, comunicación bidireccional y relaciones científico-comunidad fuertes. Se trata de una inversión a largo plazo que requerirá paciencia y compromiso por ambos lados. El programa Thriving Earth Exchange de la AGU pone a disposición del usuario una biblioteca de recursos.

Con el fin de preparar nuestra nación de cara a los desafíos que traerán las inundaciones y los efectos de otros fenómenos meteorológicos extremos, proponemos las siguientes recomendaciones para los funcionarios responsables de la política, los científicos, los líderes comunitarios y el ciudadano de a pie:

- **Empoderar a las comunidades** para que tomen decisiones sobre su futuro con conocimiento de causa;
- **Empoderar a los científicos** para que investiguen y recopilen datos de alta calidad sobre las inundaciones y demás asuntos relacionados; y
- **Priorizar asociaciones** que promuevan la colaboración, el intercambio de conocimiento y una mejor comunicación entre los científicos que estudian el mundo físico y el comportamiento humano y entre científicos y legos.

Juntos podemos estar
a la altura de las crecidas.



EL CONGRESO PUEDE

Financiar a las agencias federales científicas pertinentes:

- Financiar totalmente las agencias y los programas que proporcionen ayuda inmediata en caso de inundaciones, bajo el entendimiento que una solución sostenible y a largo plazo requiere la coordinación y la colaboración de muchas partes interesadas.
- Promover la financiación sólida y con aumentos exponenciales de las agencias científicas para que estas recopilen datos a largo plazo sobre cuencas fluviales e investiguen cómo funcionan los mecanismos y cuáles son las opciones para la mitigación de inundaciones. Esta financiación debe ser igual a la cantidad recomendada por La Academia Nacional de las Ciencias, a saber, al menos el 4% del crecimiento real.

Invertir en centros y programas científicos transversales, incluyendo:

- Centros de investigación científica regionales que se dediquen a estudiar los riesgos por inundaciones de región en región. Algunos ejemplos a nivel federal son los ocho [Centros Científicos para la Adaptación Climática del USGS](#), los 28 Centros de Ciencia Hidrológica, los 54 Institutos para el [Estudio de los Recursos Hidrológicos](#) y la [Oficina de los Centros Colaborativos para la Predicción Hidrológica de la NOAA](#). Un ejemplo a nivel estatal sería el Centro para el [Estudio de las Inundaciones de Iowa](#).

- Programas que fomenten la construcción de relaciones a largo plazo y la comunicación bidireccional de los problemas y las soluciones entre científicos y sus comunidades. Algunos ejemplos a nivel federal son el [Programa Universitario Nacional para Subvenciones Marítimas de la NOAA](#) y los [Servicios de Extensión de Cooperativas del Instituto Nacional Alimenticio y Agrícola de la USDA](#).

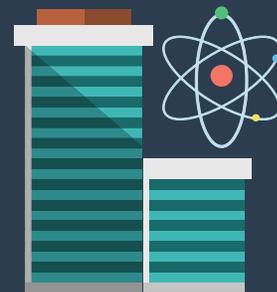
Apostar por políticas fundadas en datos contrastados:

- Apostar por legislación que proteja el uso y el papel de la ciencia en la toma de decisiones y garantizar que se lleve a cabo la ciencia investigación de manera libre, abierta y sin injerencia política.

Hacer hincapié en la planificación de cara al futuro:

- Desarrollar políticas gubernamentales para gestionar las inundaciones, sus efectos y los cambios que están provocando en el mundo, además de incorporar la mejor investigación científica en el clima, la salud humana y el desarrollo de pronósticos.

LAS AGENCIAS FEDERALES, JUNTO CON LOS CENTROS CIENTÍFICOS UNIVERSITARIOS O GUBERNAMENTALES PUEDEN



Priorizar las asociaciones y la colaboración:

- Profundizar la comunicación y colaboración, para que superen las fronteras disciplinarias y organizacionales tradicionales (la microbiología, las ciencias sociales y la salud humana, por ejemplo).
- Crear centros unificados de colaboración multidisciplinaria entre grupos que lleven a cabo investigación científica sobre inundaciones, para así crear una red nacional de centros climáticos, sanitarios e hidrológicos.

Hacer partícipes a las comunidades:

- Aumentar la divulgación de las medidas que pueden tomar las comunidades para prepararse frente a las inundaciones y acceder a fondos para la mitigación y la recuperación de inundaciones.

- Establecer programas que unan los ciudadanos de a pie con los científicos para promover la comunicación bidireccional de problemas y soluciones y conectar a las comunidades con importantes recursos técnicos y gubernamentales.

Enfocarse en ámbitos de investigación y planificación críticos:

- Enfocar la investigación en el modelado meteorológico y climático, en el de la cantidad del agua y del cambio en el uso de la tierra, la teledetección, la salud humana y agrícola, las perspectivas socioeconómicas de los riesgos por inundaciones y la determinación de las mejores prácticas en la comunicación de los riesgos, sobre todo los de largo plazo.
- Incorporar en todas las políticas la mejor ciencia climática y las mejores predicciones del desarrollo climático.

LOS CIENTÍFICOS PUEDEN

Hacer partícipes a las comunidades:

- Empezar a hablar con su comunidad y, más importante aún, escucharla. Enterarse de sus prioridades y determinar cómo ayudar a cumplirlas.
- Ofrecerse voluntarios en programas que brinden apoyo científico a las comunidades que se enfrentan a inundaciones y otros problemas ambientales. Se puede hacer voluntariado en el Thriving Earth Exchange o cualquiera de las redes para el [Reconocimiento de Fenómenos Meteorológicos Extremos fundadas por la NSF](#).

- Buscar y compartir hallazgos científicos con quienes estén trabajando en la gestión de inundaciones y de sus riesgos, sobre todo con personas de otra disciplina.
- Insistir en la colaboración entre científicos físicos y sociales para promover las prácticas que más garantizan la seguridad ciudadana.



LAS COMUNIDADES PUEDEN



Aprovechar recursos existentes:

- Buscar y utilizar estructuras existentes de apoyo gubernamental para la gestión de inundaciones. En los Estados Unidos, por ejemplo, uno puede determinar si su estado cuenta con un programa de [Silver Jackets](#).
- Aprovechar aquellos programas, tal como el *Thriving Earth Exchange* (Intercambio para una Tierra Próspera) de la AGU, que brinden apoyo científico a aquellas comunidades que tienen que lidiar con inundaciones y otros problemas ambientales.
- Fundar o unirse a organizaciones que creen vínculos entre las comunidades afectadas por inundaciones, por ejemplo, [Higher Ground](#).

LOS INDIVIDUOS PUEDEN



Informarse de:

- La probabilidad de inundación en su barrio usando El Centro para el Servicio de los [Mapas de Inundaciones](#).
- Los tipos de [ayuda en caso de desastre](#) de la FEMA y cómo solicitarlas.
- Prestar atención y hacer caso a los avisos en pronósticos y alertas móviles procedentes de las emisoras meteorológicas locales y el Servicio Nacional de Meteorología.

Crear un plan:

- Si su comunidad corre riesgo de inundación, cree un plan de emergencia ya. Esta página dispone de algunas sugerencias www.ready.gov/floods.
- Incorpore su comunidad en el plan. ¿Hay algún vecino que necesitaría ayuda de tener que evacuar? ¿Cuáles son las organizaciones de gestión de emergencias y qué servicios prestan?

Apostar por la ciencia:

- Comuníquese con los funcionarios responsables de políticas de todos los niveles de gobierno sobre la necesidad de invertir en la ciencia y en políticas basadas en la ciencia.

AGRADECIMIENTOS

AUTORA PRINCIPAL: Allison M. Truhlar, PhD, oficial de investigación, AGU

COAUTORA: Caitlin Bergstrom, analista de políticas, AGU

EDITORA: Stephanie Berrong, Line Edit Communications

Manifestamos nuestro más sincero agradecimiento a los científicos y los profesionales que en la forma de llamadas telefónicas, reuniones y correos electrónicos, prestaron su tiempo y su pericia a este informe. Estas conversaciones han moldeado nuestro entendimiento de lo requerido para impulsar la ciencia de las inundaciones y siguen moldeando las políticas con base empírica. Asimismo, las historias, los contactos, los datos y las publicaciones compartidos por la arriba mencionada comunidad de científicos y profesionales imbuyeron de profundidad y diversidad la narrativa del informe. Abajo figuran los nombres de estas personas, en orden alfabético por apellido.

Paula Arbuthnot; Co-founder, Citizens' Committee for Flood Relief

Mary Austerman; Great Lakes Coastal Community Development Specialist, New York Sea Grant, Wayne County Cooperative Extension

Kendra Baldazo-Tudon; Worker Justice Organizer, Fe y Justicia Worker Center

Delia Barajas; Founding Director, Ixchel

Adrienne Bartlewitz, PhD; Chief of Staff, Water Mission Area, US Geological Survey

Cindi Barton, PhD; Center Director, Washington Water Science Center, US Geological Survey

Michael W. Beck, PhD; Research Professor, Institute of Marine Sciences, UC Santa Cruz

Mark Bennett; Director, Virginia-West Virginia Water Science Center, US Geological Survey

Amy Beussink; Director, Central Midwest Water Science Center, US Geological Survey

Rob Breaul; Director, New York Water Science Center, US Geological Survey

Katherine Bunting-Howarth, JD, PhD; Associate Director, New York Sea Grant, Cornell University

John "JB" Byrd; Vice President, Miller/Wenhold Capitol Strategies, LLC - John M. Palatiello & Associates, Inc., Organizer, USGS 3DEP Coalition

Russell Callender, PhD; Director, Washington Sea Grant, University of Washington

Lori Cary-Kothera; Operations Manager for the Science and Geospatial Solutions Division, Office for Coastal Management, NOAA

Catherine Courtier; Extension and Program Analyst, California Sea Grant, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego

Michelle Covi, PhD; Assistant Professor of Practice, Ocean, Earth & Atmospheric Sciences, Old Dominion University

Amanda Cox, PhD; Associate Professor of Civil Engineering, Parks College of Engineering, Aviation and Technology, Saint Louis University

Jamie Donatuto, PhD; Environmental Community Health Analyst, Swinomish Indian Tribal Community

Sarah Edwards, JD; Associate, Flood-Prepared Communities, The Pew Charitable Trusts

Li Erikson, PhD; Research Oceanographer, Pacific Coastal and Marine Science Center, USGS

Susannah Erwin, PhD; Research Hydrologist, Columbia Environmental Research Center, US Geological Survey

Harriet Festing; Co-founder, Anthropocene Alliance

Jenn Fogel-Bublick, JD; Spokesperson, Smarter Safer Coalition

Jim Fox; Director, National Environmental Modeling and Analysis Center, UNC Asheville

Kevin Fries, PhD; Data Scientist, One Concern

David Frost, PhD; Elizabeth & Bill Higginbotham Professor, Geosystems Engineering, Georgia Institute of Technology

Matt Fuchs, JD; Officer, Flood-Prepared Communities, The Pew Charitable Trusts

Eric Grossman, PhD; Research Geologist, Pacific Coastal and Marine Science Center, US Geological Survey

Dan Hanes, PhD; Professor, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Saint Louis University

David Herring; Communication, Education, & Engagement Division Chief, Climate Program Office, NOAA

Robert Jacobson, PhD; Chief of the River Studies Branch, Columbia Environmental Research Center, US Geological Survey

Kris Johnson, PhD; Associate Director for Science and Planning, North America Agriculture Program, The Nature Conservancy

Jennifer Jurado, PhD; Director and Chief Resiliency Officer, Environmental Planning and Community Resilience Division, Broward County, Florida

Tracy Kijewski-Correa, PhD; Leo E and Patti Ruth Linbeck Collegiate Chair and Associate Professor, Department of Civil & Environmental Engineering & Earth Sciences and Keough School of Global Affairs, University of Notre Dame

Jason Lewis; Director, Oklahoma Water Science Center, US Geological Survey

Susan Liley; Co-founder, Citizens' Committee for Flood Relief

Rob Moore; Director, Water and Climate Team, Natural Resources Defense Council

Sarah Murdock; Director, US Climate Resilience and Water Policy, The Nature Conservancy

Timothy H. Raines; Director, Texas Water Science Center, US Geological Survey

Eric Reichard, PhD; Director, California Water Science Center, US Geological Survey

Janelle Rios, PhD; Director and Associate Faculty, Office of Public Health Practice, University of Texas Health Science Center (UTHealth) School of Public Health

Melissa Samet, JD; Senior Water Resources Counsel, National Wildlife Federation

Joel Scata, JD; Attorney, Water and Climate Team, Natural Resources Defense Council

Joe Schulenberg, PhD; Clinical Assistant Professor, Civil and Materials Engineering, University of Illinois, Chicago

Rebecca Shuford, PhD; Director, New York Sea Grant, Stony Brook University

Charles Sidman, PhD; Deputy Director and Associate Director for Research, Florida Sea Grant, University of Florida

Lane Smith; Research Program Coordinator, New York Sea Grant, Stony Brook University

Nina Stark, PhD; Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech

Jeff Stone, GISP, CFM; Senior Research Manager, Flood Science Center, Association of State Floodplain Managers

LaDon Swann, PhD; Director, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium,

Stephanie Tennyson; Government Affairs Lead, One Concern

Natasha Udu-gama, PhD; Senior Specialist, Thriving Earth Exchange, AGU

Chris Wager Saldivar; Clinic Organizer, Fe y Justicia Worker Center

Virginia Wasserberg; Co-founder, Stop the Flooding NOW!

Anna Weber; Senior Policy Analyst, Water and Climate Team, Natural Resources Defense Council

Sarah Wilkins; Project Manager, Thriving Earth Exchange, AGU

Oliver Wing; PhD student, School of Geographical Sciences, University of Bristol

Andy Ziegler; Director, Kansas Water Science Center, US Geological Survey

David Herring; Communication, Education, & Engagement Division Chief, Climate Program Office, NOAA

Robert Jacobson, PhD; Chief of the River Studies Branch, Columbia Environmental Research Center, US Geological Survey

Kris Johnson, PhD; Associate Director for Science and Planning, North America Agriculture Program, The Nature Conservancy

Jennifer Jurado, PhD; Director and Chief Resiliency Officer, Environmental Planning and Community Resilience Division, Broward County, Florida

- Tracy Kijewski-Correa, PhD; Leo E and Patti Ruth Linbeck Collegiate Chair and Associate Professor, Department of Civil & Environmental Engineering & Earth Sciences and Keough School of Global Affairs, University of Notre Dame
- Jason Lewis; Director, Oklahoma Water Science Center, US Geological Survey
- Susan Liley; Co-founder, Citizens' Committee for Flood Relief
- Rob Moore; Director, Water and Climate Team, Natural Resources Defense Council
- Sarah Murdock; Director, US Climate Resilience and Water Policy, The Nature Conservancy
- Timothy H. Raines; Director, Texas Water Science Center, US Geological Survey
- Eric Reichard, PhD; Director, California Water Science Center, US Geological Survey
- Janelle Rios, PhD; Director and Associate Faculty, Office of Public Health Practice, University of Texas Health Science Center (UTHealth) School of Public Health
- Melissa Samet, JD; Senior Water Resources Counsel, National Wildlife Federation
- Joel Scata, JD; Attorney, Water and Climate Team, Natural Resources Defense Council
- Joe Schulenberg, PhD; Clinical Assistant Professor, Civil and Materials Engineering, University of Illinois, Chicago
- Rebecca Shuford, PhD; Director, New York Sea Grant, Stony Brook University
- Charles Sidman, PhD; Deputy Director and Associate Director for Research, Florida Sea Grant, University of Florida
- Lane Smith; Research Program Coordinator, New York Sea Grant, Stony Brook University
- Nina Stark, PhD; Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech
- Jeff Stone, GISP, CFM; Senior Research Manager, Flood Science Center, Association of State Floodplain Managers
- LaDon Swann, PhD; Director, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium,
- Stephanie Tennyson; Government Affairs Lead, One Concern
- Natasha Udu-gama, PhD; Senior Specialist, Thriving Earth Exchange, AGU
- Chris Wager Saldivar; Clinic Organizer, Fe y Justicia Worker Center
- Virginia Wasserberg; Co-founder, Stop the Flooding NOW!
- Anna Weber; Senior Policy Analyst, Water and Climate Team, Natural Resources Defense Council
- Sarah Wilkins; Project Manager, Thriving Earth Exchange, AGU
- Oliver Wing; PhD student, School of Geographical Sciences, University of Bristol
- Andy Ziegler; Director, Kansas Water Science Center, US Geological Survey
- Paula Arbuthnot; Co-founder, Citizens' Committee for Flood Relief
- Mary Austerman; Great Lakes Coastal Community Development Specialist, New York Sea Grant, Wayne County Cooperative Extension
- Kendra Baldazo-Tudon; Worker Justice Organizer, Fe y Justicia Worker Center
- Delia Barajas; Founding Director, Ixchel
- Adrienne Bartlewitz, PhD; Chief of Staff, Water Mission Area, US Geological Survey
- Cindi Barton, PhD; Center Director, Washington Water Science Center, US Geological Survey
- Michael W. Beck, PhD; Research Professor, Institute of Marine Sciences, UC Santa Cruz
- Mark Bennett; Director, Virginia-West Virginia Water Science Center, US Geological Survey
- Amy Beussink; Director, Central Midwest Water Science Center, US Geological Survey
- Rob Breaul; Director, New York Water Science Center, US Geological Survey
- Katherine Bunting-Howarth, JD, PhD; Associate Director, New York Sea Grant, Cornell University
- John "JB" Byrd; Vice President, Miller/Wenhold Capitol Strategies, LLC - John M. Palatiello & Associates, Inc., Organizer, USGS 3DEP Coalition
- Russell Callender, PhD; Director, Washington Sea Grant, University of Washington
- Lori Cary-Kothera; Operations Manager for the Science and Geospatial Solutions Division, Office for Coastal Management, NOAA
- Catherine Courtier; Extension and Program Analyst, California Sea Grant, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego
- Michelle Covi, PhD; Assistant Professor of Practice, Ocean, Earth & Atmospheric Sciences, Old Dominion University
- Amanda Cox, PhD; Associate Professor of Civil Engineering, Parks College of Engineering, Aviation and Technology, Saint Louis University

Quisiéramos también agradecer a los científicos y los ingenieros que fungieron en el comité asesor. En esta función, ofrecieron retroalimentación crítica sobre la precisión científica del informe y asesoría sobre la investigación científica pertinente que debía incluirse. Abajo figuran los nombres de estas personas, en orden alfabético por apellido.

Ana Barros, PhD; Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Duke University

Bill Brown; Director, Flood Science Center, Association of State Floodplain Managers

Jennifer Collins, PhD; Professor, School of Geosciences, University of South Florida

Dave Fowler, CFM; Senior Project Manager, Flood Science Center, Association of State Floodplain Managers

Gerry Galloway, PhD; Research Professor, Civil and Environmental Engineering, University of Maryland

Jonathan (JJ) Gourley, PhD; Research Hydrologist, National Severe Storm Laboratory, NOAA

Denise Hills; Director, Energy Investigations Program, Geological Survey of Alabama

Antarpreet Jutla, PhD; Associate Professor, Dept. of Environmental Engineering Sciences, University of Florida

Witold Krajewski, PhD; Director, Iowa Flood Center

Coraggio Maglio, CFM; Research Civil Engineer, Engineering Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, USACE

Julie Vano, PhD; Project Scientist, Hydrometeorological Applications Program, National Center for Atmospheric Research

Donald J. Wuebbles, PhD; The Harry E. Preble Professor of Atmospheric Sciences, Department of Atmospheric Sciences, University of Illinois [reviewer for "Floods and Our Changing Climate"]

REFERENCIAS

1. Cappucci, M. (2019), A water double whammy: Barry's rain and storm surge could inundate New Orleans, *Washington Post*, https://www.omaha.com/news/nebraska/wood-river-advised-to-evacuate-flooding-reaches-gibbon-as-streams/article_25652fe3-6555-595e-bdbd-f0f330c8b729.html.
2. AbdelHameid, D. (2019), Today's rainfall broke a 148-year record, DCist, <https://dcist.com/story/19/07/08/todays-rainfall-broke-a-148-year-record/>. (Accessed 11 July 2019)
3. Cole, K. (2019), Wood River advised to evacuate, flooding reaches Gibbon as streams overflow in central Nebraska, *Omaha World-Herald*, 11 July, https://www.omaha.com/news/nebraska/wood-river-advised-to-evacuate-flooding-reaches-gibbon-as-streams/article_25652fe3-6555-595e-bdbd-f0f330c8b729.html.
4. Eller, D. (2019), Iowa highways closed by flooding could take months to reopen, *Des Moines Register*, <https://www.desmoinesregister.com/story/money/agriculture/2019/04/11/iowa-nebraska-flooding-closed-roads-dot-road-conditions-council-bluffs-omaha-interstate-29-traffic/3435668002/>. (Accessed 15 May 2019)
5. National Groundwater Association (2019), The National Ground Water Association reports thousands of wells potentially affected by midwestern flooding, 2019 Press Releases, 25 Mar., <https://www.ngwa.org/publications-and-news/Newsroom/2019-press-releases/ngwa-reports-thousands-of-wells-potentially-affected-by-midwestern-flooding>. (Accessed 12 July 2019)
6. U.S. Army Corps of Engineers (2019), Weekly Missouri Basin flood response update for key stakeholders—8/1, *News Releases*, 1 Aug., <https://www.nwd.usace.army.mil/Media/News-Releases/Article/1923686/weekly-missouri-basin-flood-response-update-for-key-stakeholders-8-1/>. (Accessed 12 August 2019)
7. Liewer, S. (2019), Air Force seeks \$4.9 billion in emergency funds for storm-ravaged Offutt, Tyndall, *Omaha World-Herald*, 28 Mar., https://www.omaha.com/news/military/air-force-seeks-billion-in-emergency-funds-for-storm-ravaged/article_0f70d1ea-1206-5291-9d19-1a981b45608a.html. (Accessed 15 May 2019)
8. Liewer, S. (2019), Work to raise Offutt's levees was just weeks away from starting. The devastating floods came first, *Omaha World-Herald*, 23 Mar., https://www.omaha.com/news/military/offutt/work-to-raise-offutt-s-levees-was-just-weeks-away/article_7279d7e0-9c51-59fc-b88b-c010fb7b453c.html. (Accessed 17 June 2019)
9. U.S. Global Change Research Program (2018), *Fourth National Climate Assessment*, vol. 2, *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States*, Washington, D.C., <https://nca2018.globalchange.gov>. (Accessed 19 June 2019)
10. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2019), U.S. billion-dollar weather and climate disasters, Natl. Cent. for Environ. Inf., Asheville, N.C., <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/>. (Accessed 23 July 2019)
11. Wing, O. E. J., et al. (2018), Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States, *Environ. Res. Lett.*, 13, 034023, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaac65>.
12. U.S. Geological Survey (USGS). Floods and recurrence intervals, *Water Science School*, https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/floods-and-recurrence-intervals?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. (Accessed 23 July 2019)
13. Begley, D. (2017), Harvey will make history books for nation's wettest storm, *Houston Chronicle*, 16 Sept., <https://www.houstonchronicle.com/news/article/Harvey-will-make-the-history-books-for-nation-s-12201641.php>. (Accessed 26 April 2019)
14. Theodore, N. (2017), After the storm: Houston's day labor markets in the aftermath of Hurricane Harvey, 20 pp., Great Cities Inst., Univ. of Ill. at Chicago, https://greatcities.uic.edu/wp-content/uploads/2017/11/After-the-Storm_Theodore_2017.pdf.
15. Cordero-Guzman, H., E. Pantaleon, and M. Chavez (2013), Day labor, worker centers & disaster relief work in the aftermath of Hurricane Sandy, 32 pp., Sch. of Public Affairs, Baruch Coll., City Univ. of N. Y., New York, https://www.gc.cuny.edu/CUNY_GC/media/365-Images/Aftermath-of-Hurricane-Sandy-Report-FINAL-11-4-13.pdf.
16. Delp, L., L. Podolsky, and T. Aguilar (2009), Risk amid recovery: Occupational health and safety of Latino day laborers in the aftermath of the Gulf Coast hurricanes, *Organ. Environ.*, 22, 479–490, <https://doi.org/10.1177/1086026609347193>.
17. National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) (2018), Providing training and tools for Hurricane Harvey recovery, Research Triangle Park, N.C., <https://www.niehs.nih.gov/research/supported/success/2018/rios/index.cfm>. (Accessed 30 April 2019)
18. National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) (2019), Environmental health outcomes: Research among Hurricane Harvey survivors, https://tools.niehs.nih.gov/portfolio/index.cfm/portfolio/grantDetail/grant_number/R21ES029616. (Accessed 12 August 2019)
19. Chiu, M. (2019), Researchers share Harvey health impact findings at symposium, Baylor Coll. of Medicine, Houston, Texas, <https://www.bcm.edu/news/environmental-health/harvey-health-impacts-findings-symposium>. (Accessed 12 August 2019)
20. Murphy, J. (2018), August/September 2017 Hurricane Harvey, Natl. Weather Serv., Natl. Oceanic and Atmos. Admin., Silver Spring, Md., <https://www.weather.gov/media/publications/assessments/harvey6-18.pdf>.
21. Zhang, F., et al. (2019), Improving Harvey forecasts with next-generation weather satellites: Advanced hurricane analysis and prediction with assimilation of GOES-R all-sky radiances, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 100, 1,217–1,222, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0149.1>.
22. Morrow, B. H., and J. K. Lazo (2015), Effective tropical cyclone forecast and warning communication: Recent social science contributions, *Trop. Cyclone Res. Rev.*, 4, 38–48, <https://doi.org/10.6057/2015TCRR01.05>.
23. Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER) Association. About GEER, <http://www.geerassociation.org/about-geer>. (Accessed 13 May 2019)
24. O'Shaughnessy, B. (2017), Shelter and the storm, <https://www.nd.edu/stories/harvey/>. (Accessed 29 April 2019)
25. Structural Extreme Events Reconnaissance (StEER) Network (2018), Official StEER products, <https://www.steer.network/products>. (Accessed 12 July 2019)
26. Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER) Association. Reconnaissance reports, <http://www.geerassociation.org/reconnaissance-reports>. (Accessed 12 July 2019)
27. Stark, N., et al. (2018), GEER Hurricane Harvey reconnaissance—initial data collection, doi:10.17603/DS2XD4C.
28. Roueche, D. B., et al. (2018), Collection of perishable data on wind- and surge-induced residential building damage during Hurricane Harvey (TX), doi:10.17603/DS2DX22.
29. Kijewski-Correa, T., et al. (2018), Hurricane Harvey (Texas) supplement—Collaborative research: Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER) Association: Turning disaster into knowledge, doi:10.17603/DS2Q38J.
30. Frost, D., personal communication, 2019.
31. RAPID Facility (2019), NHERI RAPID Facility deploys, DesignSafe-CI, <https://www.designsafe-ci.org/community/news/2019/february/nheri-rapid-facility-deploys/>. (Accessed 13 May 2019)

32. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2018), Next Generation Global Prediction System (NGGPS), Natl. Weather Serv., Silver Spring, Md., https://www.weather.gov/sti/stimodeling_nggps. (Accessed 30 April 2019)
33. Cikanek, H., et al. (2019), 2018 NOAA Science Report, 128 pp., NOAA Res. Council, Silver Spring, Md.
34. Marks, F. (2016), Using observations to improve HWRF forecast guidance, http://www.imetsociety.org/wp-content/pdf/docs/tropmet2016/Plenary_20.pdf.
35. Considine, T. J., et al. (2004), The value of hurricane forecasts to oil and gas producers in the Gulf of Mexico, *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 43, 12, [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043%3c1270:TVOHFT%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043%3c1270:TVOHFT%3e2.0.CO;2); [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<1270:TVOHFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<1270:TVOHFT>2.0.CO;2)
36. Rappaport, E. N., et al. (2009), Advances and challenges at the National Hurricane Center, *Weather Forecasting*, 24, 395–419, <https://doi.org/10.1175/2008WAF2222128.1>.
37. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2019), COASTAL Act, Natl. Weather Serv., Silver Spring, Md., <https://www.weather.gov/sti/coastalact>. (Accessed 13 May 2019)
38. Risser, M. D., and M. R. Wehner (2017), Attributable human-induced changes in the likelihood and magnitude of the observed extreme precipitation during Hurricane Harvey, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 12,457–12,464, <https://doi.org/10.1002/2017GL075888>.
39. van Oldenborgh, G. J., et al. (2017), Attribution of extreme rainfall from Hurricane Harvey, August 2017, *Environ. Res. Lett.*, 12, 124009, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ef2>.
40. Congressional Budget Office (2019), Expected costs of damage from hurricane winds and storm-related flooding, 48 pp., Washington, D.C.
41. Siebenack, T., and C. Wang (2019), Gross domestic product by state, fourth quarter and annual 2018, *Bur. of Econ. Anal.*, U.S. Dep. of Commer., Washington, D.C., <https://www.cbo.gov/publication/55019>.
42. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and NASA. Geostationary Operational Environmental Satellites-R Series, <https://www.goes-r.gov/>. (Accessed 12 July 2019)
43. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2017), JPSS-1: New satellite, even better data, *Natl. Cent. for Environ. Inf. (NCEI) News*, <http://www.ncei.noaa.gov/news/jpss-1-new-satellite-even-better-data>. (Accessed 19 June 2019)
44. U.S. Government Accountability Office (2019), Substantial efforts needed to achieve greater progress on high-risk areas, *GAO-19-157SP*, 293 pp., Washington, D.C.
45. Lazo, J. K., and D. Waldman (2011), Valuing improved hurricane forecasts, *Econ. Lett.*, 111, 43–46, <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2010.12.012>
46. Upper Joachim Creek Floodplain Management Planning Partners (2019), Draft Upper Joachim Creek Floodplain Management Plan, U.S. Army Corps of Eng.
47. U.S. Geological Survey (USGS) (2019), USGS current conditions for USGS 07019500 Joachim Creek at De Soto, Mo., *Natl. Water Inf. Syst.: Web Interface*, https://waterdata.usgs.gov/mo/nwis/uv/?site_no=07019500&PARAmeter_cd=00065.63160.00060. (Accessed 19 June 2019)
48. U.S. Army Corps of Engineers. About the Silver Jackets Program, Silver Jackets, <https://silverjackets.nrfmp.us/About-the-Silver-Jackets-Program.cfm> (Accessed 18 May 2019) <https://silverjackets.nrfmp.us/About-the-Silver-Jackets-Program.cfm>
49. Hassan, A. (2019), Why is there flooding in Nebraska, South Dakota, Iowa and Wisconsin?, *New York Times*, <https://www.nytimes.com/2019/03/18/us/nebraska-flooding-facts.html>. (Accessed 19 June 2019)
50. Davis, T. J. (2019), Runoff into the Missouri River west of Iowa in March demolished a 67-year-old record, says Army Corps of Engineers, *Des Moines Register*, <https://www.desmoinesregister.com/story/weather/2019/04/03/iowa-floods-sioux-city-record-runoffs-upper-missouri-river-basin-us-army-corps-engineers/3354017002/>. (Accessed 15 May 2019)
51. Jacobson, R. B., G. Lindner, and C. Bitner (2015), The role of floodplain restoration in mitigating flood risk, lower Missouri River, USA, in *Geomorphic Approaches to Integrated Floodplain Management of Lowland Fluvial Systems in North America and Europe*, edited by P. F. Hudson and H. Middelkoop, pp. 203–243, Springer, New York, https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9_9.
52. Mallakpour, I., and G. Villarini (2015), The changing nature of flooding across the central United States, *Nat. Clim. Change*, 5, 250–254, <https://doi.org/10.1038/nclimate2516>.
53. Carsell, K. M., N. D. Pingel, and D. T. Ford (2004), Quantifying the benefit of a flood warning system, *Nat. Hazards Rev.*, 5, 131–140, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2004\)5:3\(131\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2004)5:3(131)).
54. Normand, A. E. (2019), U.S. Geological Survey (USGS) Streamgaging Network: Overview and issues for Congress, *Congr. Res. Serv.*, Washington, D.C.
55. Gardener, J., M. Doyle, and L. Patterson (2017), Estimating the value of public water data, *Duke Univ.*, Durham, N.C.
56. U.S. Geological Survey (USGS), What is 3DEP? 3D Elevation Program (3DEP), <https://www.usgs.gov/core-science-systems/ngp/3dep/what-is-3dep>. (Accessed 16 May 2019)
57. Carswell, W. J., and V. Lukas (2018), The 3D Elevation Program—Flood risk management, U.S. Geol. Surv., Reston, Va., <https://www.usgs.gov/news/3d-elevation-program-flood-risk-management>.
58. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), What is LIDAR?, *Ocean Facts*, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>. (Accessed 16 May 2019)
59. Dewberry (2012), National enhanced elevation assessment, U.S. Geol. Surv., Reston, Va.
60. Center for Neighborhood Technology (2014), The prevalence and cost of urban flooding—A case study of Cook, County, IL, 32 pp., http://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_PrevalenceAndCostOfUrbanFlooding2014.pdf.
61. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019), *Framing the Challenge of Urban Flooding in the United States*, Natl. Acad. Press, Washington, D.C., <https://doi.org/10.17226/25381>.
62. Center for Disaster Resilience, University of Maryland, and Center for Texas Beaches and Shore, Texas A&M University, Galveston Campus (2019), The growing threat of urban flooding: A national challenge, <http://www.tamug.edu/newsroom/2018articles/UrbanFloodingReport.pdf>.
63. Schulenberg, J., personal communication, 2019.
64. Rizzo, M., et al. (2014), Cicero Rail Yard Study (CIRYS) Final Report, 159 pp., U.S. Environ. Prot. Agency, Washington, D.C.
65. Lotus, J. (2017), Water Reclamation District, EPA will address Stickney odor complaints, *Cook County Chronicle*, <https://chronicleillinois.com/news/cook-county-news/water-reclamation-district-epa-will-address-stickney-odor-complaints/>. (Accessed 12 August 2019)
66. Hawthorne, M. (2018), Flint researchers find alarming levels of lead in Cicero, Berwyn tap water, suggesting thousands of older homes at risk, *Chicago Tribune*, <https://www.chicagotribune.com/news/ct-met-cicero-berwyn-lead-water-testing-20180809-story.html>. (Accessed 12 August 2019)
67. Allen, T., L. Cary-Kothera, and K. Fahey (2015), Study explores green infrastructure's economic benefits for two Great Lakes cities, *Clear Waters*, 2 pp., <https://coast.noaa.gov/data/docs/digitalcoast/clear-waters.pdf>.
68. Eastern Research Group Inc. (2014), Economic assessment of green infrastructure strategies for climate change adaptation: Pilot studies in the Great Lakes Region, NOAA Coastal Serv. Cent., Silver Spring, Md.
69. Naturally Resilient Communities. Mingo Creek, Tulsa, Oklahoma. Explore Solutions & Case Studies, <http://nrnsolutions.org/tulsa-oklahoma/>. (Accessed 18 May 2019)
70. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), FLASH—Flooded Locations and Simulated Hydrographs Project, Natl. Severe Storms Lab., Norman, Okla., <https://blog.nssl.noaa.gov/flash/>. (Accessed 16 May 2019)
71. Young Landis, B. (2019), Streaming flash flood forecasts into the hands of emergency managers, *Thriving Earth Exchange*, <https://thrivingearthexchange.org/tex-stories/streaming-flash-flood-forecasts-hands-emergency-managers/>.
72. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), NSSL Research: Flooding, Natl. Severe Storms Lab., Norman, Okla., <https://www.nssl.noaa.gov/research/flood/>. (Accessed 24 July 2019)
73. Gourley, J. J. (2018), FLASH system transitioned to the National Weather Service, revolutionizes tools used for flash flood forecasting, FLASH—Flooded Locations and Simulated Hydrographs Project.
74. Eberts, S. M., et al. (2019), Monitoring the pulse of our nation's

- rivers and streams: The U.S. Geological Survey Streamgaging Network.
75. U.S. Environmental Protection Agency (2013), Rivers & Streams, EPA's web archive, <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/index-17.html>. (Accessed 23 May 2019)
 76. Dubrow, A. (2016), Flood forecasting gets major upgrade, *Natl. Sci. Found. Res. News*, https://www.nsf.gov/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=189556. (Accessed 18 May 2019)
 77. Villarini, G., et al. (2018), Floods and nonstationarity: A review, *CWTS 2018-01*, 88 pp., U.S. Army Corps of Eng., Washington, D.C., https://sites.tufts.edu/richardvogel/files/2019/04/2018_floodsAndNonstationarity.pdf.
 78. Milly, P. C. D., et al. (2008), Stationarity is dead: Whither water management?, *Science*, 319, 573–574, <https://doi.org/10.1126/science.1151915>
 79. Bryant, D. A. (2018), Fort Hood working to ensure safety after floodwater deaths, *Killeen Daily Herald*, http://kdhnews.com/military/fort-hood-working-to-ensure-safety-after-floodwater-deaths/article_7514c7b0-6068-11e8-9a30-7f3eaf7f627.html. (Accessed 10 May 2019)
 80. U.S. Department of Defense (2019), Report on effects of a changing climate to the Department of Defense, 22 pp., <https://media.defense.gov/2019/Jan/29/2002084200/-1/-1/1/CLIMATE-CHANGE-REPORT-2019.PDF>.
 81. Hankerson, M. (2017), Virginia Beach residents who were flooded during Hurricane Matthew will host flood insurance workshop, *Virginian-Pilot*, https://pilotonline.com/news/local/environment/article_05b99000-2d9d-5783-a03a-0f3282b5d3ae.html. (Accessed 22 May 2019)
 82. Hampton Roads Planning District Commission. Hurricane Michael overview, Chesapeake, Va.
 83. Council, D., et al. (2018), The new normal of flooding in Portsmouth, Virginia: Perspectives, experiences, and adaptive responses of residents and business owners in low-to-moderate-income communities, 25 pp., <https://raft.iem.virginia.edu/system/files/The%20New%20Normal%20of%20Flooding%20in%20Portsmouth.pdf>.
 84. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2018), How does NOAA monitor water levels around the nation?, *Ocean Facts*, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/nwlon.html>. (Accessed 24 May 2019)
 85. U.S. Geological Survey (2016), New tide gauges installed along Virginia Beach's coastline, <https://www.usgs.gov/news/new-tide-gauges-installed-along-virginia-beach-s-coastline>. (Accessed 24 May 2019)
 86. Mayfield, D. (2016), The push is on to improve tide forecasts across Hampton Roads, *Virginian-Pilot*, https://pilotonline.com/news/local/environment/article_8be430b8-e686-5e0e-af8b-10428f34406a.html. (Accessed 24 May 2019)
 87. Commonwealth Center for Recurrent Flooding Resiliency (2017), Water level predictions—Tidewatch, *Projects*, <https://www.floodingresiliency.org/projects/water-level-predictions/tidewatch/>. (Accessed 24 May 2019)
 88. Virginia Institute of Marine Science (2018), A deeper dive—Forecasting tidal flooding, *YouTube*, https://www.youtube.com/watch?time_continue=111&v=gYIDVbUJH0k. (Accessed 24 May 2019)
 89. Malmquist, D. (2012), Tidewatch forecasts go public, Va. Inst. of Mar. Sci., Gloucester Point, https://www.vims.edu/newsandevents/topstories/archives/2012/tidewatch_forecasts.php. (Accessed 24 May 2019)
 90. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes (SLOSH), Natl. Hurricane Cent., Miami, Fla., and Cent. Pac. Hurricane Cent., Honolulu, Hawaii, <https://www.nhc.noaa.gov/surge/slosh.php>. (Accessed 24 May 2019)
 91. Deltares and U.S. Geological Survey. CoSMoS Southern California, Southern California Coastal Hazards, <http://cosmos.deltares.nl/SoCalCoastalHazards/index.html#results?scenario=forecasts>. (Accessed 15 July 2019)
 92. Herdman, L., et al. (2016), Integrating fluvial and oceanic drivers in operational flooding forecasts for San Francisco Bay, *Geophys. Res. Abstr.*, 18, EPSC2016-18125.
 93. U.S. Geological Survey. PS-CoSMoS: Puget Sound Coastal Storm Modeling System, Pac. Coastal and Mar. Sci. Cent., Santa Cruz, Calif., https://www.usgs.gov/centers/pcmssc/science/ps-cosmos-puget-sound-coastal-storm-modeling-system?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. (Accessed 24 May 2019)
 94. Barnard, P. L., et al. (2019), Dynamic flood modeling essential to assess the coastal impacts of climate change, *Sci. Rep.*, 9, 4309, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40742-z>.
 95. U.S. Geological Survey (2017), Water is life for the Swinomish Indian tribal community, <https://www.usgs.gov/news/water-life-swinomish-indian-tribal-community>. (Accessed 24 May 2019)
 96. Dewberry (2018), Analysis of historical and future heavy rainfall, 97 pp., Dep. of Public Works, https://www.hrpdcva.gov/uploads/docs/5A_Attachment_AnalysisofHistoricalandFutureHeavyPrecipitation_Finalrev_20180326.pdf.
 97. Coutu, P. (2019), Judge rules Virginia Beach council can factor in sea level rise when deciding on new developments, *Virginian-Pilot*, https://pilotonline.com/news/government/local/article_f05e1e32-66e1-11e9-b07a-ff3214644d86.html. (Accessed 28 May 2019)
 98. U.S. Census Bureau (2017), American Community Survey demographic and housing estimates, Washington, D.C.
 99. U.S. Department of Defense. Secretary of Defense speech: Hampton Roads Chamber of Commerce, <https://archive.defense.gov/Speeches/Speech.aspx?SpeechID=1729>. (Accessed 22 May 2019)
 100. Connolly, M. (2015), Hampton Roads, Virginia, and the military's battle against sea level rise, 9 pp., Cent. for Clim. and Security, Washington, D.C., <https://climateandsecurity.files.wordpress.com/2015/10/hampton-roads-virginia-and-military-battle-against-sea-level-rise.pdf>.
 101. Greicius, T. (2017), NASA finds Virginia metro area is sinking unevenly, <http://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-finds-va-metro-area-is-sinking-unevenly>. (Accessed 22 May 2019)
 102. Conger, J. (2018), Hurricane Florence's impacts on military installations and missions in the Southeast, Cent. for Clim. and Security, Washington, D.C., <https://climateandsecurity.org/2018/09/19/hurricane-florences-impacts-on-military-installations-and-missions-in-the-southeast/>.
 103. U.S. Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs (2019), The cost of inaction: Failure to address financial costs of climate change will hurt taxpayers, Gov. Account. Off., Washington, D.C., https://www.hsgac.senate.gov/imo/media/doc/Climate%20Change%20Adaptation%20Report%20v12%20Final_COVER_FINAL.pdf.
 104. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2019), Is sea level rising?, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/sealevel.html>. (Accessed 19 June 2019)
 105. Valle-Levinson, A., A. Dutton, and J. B. Martin (2017), Spatial and temporal variability of sea level rise hot spots over the eastern United States, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 7,876–7,882, <https://doi.org/10.1002/2017GL073926>.
 106. Moftakhari, H. R., et al. (2017), Cumulative hazard: The case of nuisance flooding, *Earth's Future*, 5, 214–223, <https://doi.org/10.1002/2016EF000494>.
 107. Frank, T. (2019), Sea-level rise: Annapolis parking lot foreshadows future flood losses, *ClimateWire*, <https://www.eenews.net/stories/1060128369>. (Accessed 23 May 2019)
 108. Hino, M., et al. (2019), High-tide flooding disrupts local economic activity, *Sci. Adv.*, 5, eaau2736, <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau2736>.
 109. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), About Digital Coast, Off. for Coastal Manage., Charleston, S.C., <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/about/>. (Accessed 22 May 2019)
 110. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2015), Projected benefits and costs of the Digital Coast, 56 pp., Off. for Coastal Manage., Charleston, S.C., <https://coast.noaa.gov/data/docs/digitalcoast/benefits-costs.pdf>.
 111. Gittman, R. K., et al. (2014), Marshes with and without sills protect estuarine shorelines from erosion better than bulkheads during a Category 1 hurricane, *Ocean Coastal Manage.*, 102, 94–102, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.09.016>.
 112. Storlazzi, C. D., et al. (2019), Rigorously valuing the role of U.S. coral reefs in coastal hazard risk reduction, *USGS Open File Rep. 2019-1027*, vi + 42 pp., <https://doi.org/10.3133/ofr20191027>.

DA EL SIGUIENTE PASO.

Descargue y comparta recursos de *Marejadas En Crecida* en scienceisessential.org

AGU100 ADVANCING
EARTH AND
SPACE SCIENCE

2000 Florida Ave. NW, Washington, DC 20009

agu.org | scienceisessential.org