



ESTUARIO

PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

**Diagnóstico de vulnerabilidad de la
cuenca y el sistema del estuario de la bahía
de San Juan ante el impacto de huracanes**

Diagnóstico de vulnerabilidad de la cuenca y el sistema del estuario de la bahía de San Juan ante el impacto de huracanes



CONTENIDO

ESTUARIO

PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN



Este informe será citado como: Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2020). *Diagnóstico de vulnerabilidad de la cuenca y el sistema del estuario de la bahía de San Juan ante el impacto de huracanes*. San Juan, Puerto Rico.

Derechos reservados

Esta publicación es posible gracias al auspicio de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) bajo el acuerdo CE99206924 con la Corporación para la Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan. La información ofrecida en este documento no necesariamente representa la posición oficial de la USEPA. Todas las partes de esta publicación podrán reproducirse libremente, excepto para fines comerciales, con el debido crédito a sus autores.

INICIO

CONTENIDO

PRÓLOGO

Cuando tuve la honra de ser secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (1993-1996), emprendimos nuestra participación en el Programa Nacional de Estuarios estableciendo, en íntima cooperación con la Agencia de Protección Ambiental federal (EPA), el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ), que abarca los ocho municipios aledaños al estuario y sus comunidades adyacentes. Como miembro de la Conferencia de Manejo, junto con la administradora regional de la EPA en Nueva York y el presidente de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, solicitamos la afiliación del PEBSJ al Programa Nacional de Estuarios de Estados Unidos (NEP).

Para programar las medidas preventivas y correctivas que han de implementarse en un determinado cuerpo de agua, se debe comprobar periódicamente el cumplimiento de los Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico mediante un sistema de muestreo, análisis y evaluación de conformidad ambiental. Lamentablemente, el análisis de la bahía de San Juan que realizaba bienalmente la EPA —donde se evaluaba la eliminación de las descargas de la planta de tratamiento sanitario de Puerto Nuevo, de los mostos de la destilería Bacardí, del dragado del primer tramo del caño Martín Peña y del alcantarillado combinado del Viejo San Juan en la bahía de San Juan— se perdió en la burocracia gubernamental. En respuesta, el PEBSJ inició una investigación periódica para evaluar el cumplimiento de dichas normas en el estuario de la bahía de San Juan, único estuario tropical incluido en el NEP e, indudablemente, el estuario más importante de Puerto Rico.

Este informe pretende dar a conocer las ventajas del estuario y los problemas que enfrenta. Existe una íntima relación entre la situación de este cuerpo de agua y la de las comunidades cercanas, cuyo porvenir, en cuanto a seguridad, bienestar y salud, dependerá de la calidad de las aguas estuarinas. Sería imposible, por ejemplo, subsistir de manera segura en el caño Martín Peña con el ambiente hostil que reina en algunas de sus comunidades aledañas. El pasado deterioro del ecosistema es sumamente extenso. Por consiguiente, si deseamos avanzar por un sendero ambientalmente sostenible, es estratégicamente indispensable para la ciudad de San Juan aunar esfuerzos a fin de fortalecer nuestra capacidad de investigación.

Lo que hoy sabemos acerca del estuario de la bahía de San Juan es fruto del compromiso y entusiasmo de varios profesionales —mujeres y hombres— que hallaron en él no solo un objetivo de estudio, sino una ruta fértil para promover la valoración, la protección y el manejo de los ecosistemas acuáticos. El trabajo que presenta este informe es el resultado de un esfuerzo cooperativo de personas que, conscientes de la necesidad de estudiar en detalle la cuenca estuarina, no se amilanaron ante las dificultades y realizaron numerosas inspecciones de campo para conocer con precisión la calidad de sus aguas, su ecosistema y su gente.

Durante diez años, este grupo interdisciplinario de investigadores se aventuró a explorar el estuario más trascendental y productivo de Puerto Rico. Aquí se comparten los resultados de su ardua labor, que incluyen datos relacionados con la calidad del agua y conocimientos sobre los sistemas acuáticos costeros que nos permitirán combatir su creciente deterioro —efecto de múltiples actividades antrópicas— sin dejar de aprovechar el patrimonio natural y los recursos renovables que ennoblecen la protección del estuario.

Mis más sinceras felicitaciones a todas las personas que colaboraron en este valioso proyecto, cuyas páginas les invito a recorrer con el deseo de renovar nuestra esperanza en un mundo donde vivamos en armonía con la naturaleza.

Pedro A. Gelabert Marqués

INICIO

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO

POR BRENDA TORRES BARRETO

Eventos climáticos como los huracanes son parte del ciclo regenerador de la naturaleza. Los estuarios son ejemplos claros de cómo esa dinámica natural purifica, contiene, nutre y hace florecer los ecosistemas. Este principio sería aplicable a la sociedad si aprendiéramos a adaptar nuestras acciones al equilibrio que impone formar parte de un gran ecosistema.

Cuando la actividad humana altera nuestros recursos naturales, la dinámica de esos fenómenos pierde su esencia regeneradora. Lo vemos en forma del cambio climático: calentamiento global, aumento en el nivel del mar y alteración de patrones meteorológicos, como sequías o huracanes más intensos y frecuentes. Su impacto se multiplica por la saturación urbana, la deforestación y la degradación de cuerpos de agua y costas. También, por las políticas de planificación, inversión y desarrollo fragmentadas que desatienden la necesidad imperativa de balance, haciéndolas insostenibles.

El *Diagnóstico de vulnerabilidad de la cuenca y el sistema del estuario de la bahía de San Juan ante el impacto de huracanes* analiza la correlación entre la actividad humana y los recursos. Proporciona datos para entender qué causa y cómo evitar que eventos naturales se conviertan en desastres económicos y sociales. A lo largo de los artículos redactados por el equipo del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) y por colaboradores de organismos públicos y de la academia, el documento provee contextos, comparte aprendizajes y ofrece recomendaciones de política pública y acción ciudadana.

Este documento es una de varias herramientas para conocer el nivel de vulnerabilidad de la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan, en este caso, ante huracanes extremos. Junto a otros análisis que desarrollaremos, los datos guiarán un plan de mitigación comprehensivo actualizado.

Hallazgos principales en seis ejes de análisis

Hemos definido seis áreas de evaluación —que se identifican a continuación— para analizar los riesgos, vulnerabilidades y oportunidades de la cuenca y sus habitantes para prepararse, mitigar y sobreponerse mejor a eventos extremos.

El primer grupo de artículos de este informe expone datos sobre el estado actual de la calidad de las aguas, las amenazas y proyecciones sobre estos cuerpos con los que colinda el 76 % de las residencias metropolitanas. Además, exploramos los problemas estructurales y culturales que inciden sobre esos recursos. Al repasar la historia de las alteraciones de los cuerpos de agua, veremos la relación estrecha de su deterioro con la actividad humana, como los dragados, rellenos y descargas. También mostramos cómo una actividad humana más consciente y responsable aporta a mejorar la calidad de recursos que son tesoros indispensables para la vida.

INICIO

CONTENIDO



1 Calidad de agua y sedimentos

1.1. Las descargas de aguas residuales, como consecuencia del deterioro de la infraestructura sanitaria y la falta de servicio de alcantarillado sanitario convencional en comunidades metropolitanas, son las causas principales del deterioro de la calidad del agua en los sistemas acuáticos del estuario de la bahía de San Juan.

- Un total de 5,856 datos recopilados entre 2008 y 2018 en 13 cuerpos de agua reflejan que la calidad del agua del estuario es amenazada y contaminada con frecuencia por aguas sanitarias sin tratar. Las descargas de aguas sanitarias crudas representan un grave riesgo de salud para la población.
 - ▶ Los parámetros que con mayor frecuencia incumplieron los objetivos de calidad del agua fueron los de coliformes fecales, los de enterococos y los de aceites y grasas.
 - ▶ Alrededor de 1,530,000 habitantes del país no tienen servicio de alcantarillado sanitario. A ellos se suman otros 100,000 habitantes que no reciben servicio de agua potable ni servicio de alcantarillado sanitario de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.
 - ▶ Hay áreas urbanas cuyos sistemas sanitarios están conectados al alcantarillado pluvial, de manera que las aguas usadas sin tratar fluyen al cuerpo de agua más cercano.
 - ▶ Al alcanzar las playas, estas descargas afectan el atractivo turístico de la zona y contribuyen al deterioro de los ecosistemas coralinos y las praderas de yerbas marinas.
- El paso del huracán María complicó la situación: 22 de las 52 plantas de tratamiento de aguas residuales quedaron sin funcionamiento por falta de energía eléctrica o daños en la estructura física, lo que provocó que aguas severamente contaminadas afectaran la integridad ecológica de los ecosistemas estuarinos.
- Además de las aguas residuales, miles de toneladas de desperdicios sólidos y residuos vegetativos fueron arrastrados a los ríos obstruyendo su flujo y causando un impacto grave a la calidad del agua.
 - ▶ Los análisis demuestran que los cuerpos de agua con mejor circulación, como la laguna del Condado y la bahía de San Juan, exhiben una mejor condición, mientras que los cuerpos de agua con poca circulación, como el caño Martín Peña y el canal La Malaria, están gravemente deteriorados.
- El cambio climático aumentará el impacto de estas descargas sobre la calidad de los cuerpos de agua estuarinos y, con ello, el riesgo de enfermedades.

1.2. Puerto Rico ha perdido en promedio el 10 % de la capacidad de almacenaje de los embalses. Esto le hace más vulnerable a sequías.

- La deforestación y la sedimentación arrastrada por escorrentías e inundaciones provocadas por el huracán María han comprometido el sistema de embalses y represas.

Conclusiones / Recomendaciones

- Rediseñar y actualizar la infraestructura del sistema de distribución y recolección de aguas pluviales y residuales, particularmente en las zonas de mayor riesgo a inundaciones o inestabilidad del terreno, para prevenir riesgos a la salud de la ciudadanía y de los ecosistemas estuarinos.
 - ▶ Establecer un programa de telemetría para diagnosticar fallas en la operación de las estaciones de bombas de aguas servidas.
 - ▶ Adoptar estrategias para identificar y notificar a la comunidad sobre desbordamientos sanitarios críticos y averías, mediante protocolos uniformes y transparentes que integren la participación de organizaciones de base comunitaria.
 - ▶ Intensificar el programa de mantenimiento preventivo en la infraestructura sanitaria antes de la temporada de huracanes, haciendo énfasis en las zonas más vulnerables de la red.
- Proveer alternativas energéticas al sistema de acueductos para asegurar la continuidad de funcionamiento durante y después de eventos naturales.
- El tratamiento de aguas usadas de las comunidades que carecen de servicio de alcantarillado sanitario convencional merece una alta prioridad.
 - ▶ Estas descargas son responsables del incumplimiento de las normas de calidad del agua en el 60 % de los ríos y quebradas, así como en los embalses.

Dedicamos otra sección de este documento a analizar el impacto del manejo de desperdicios y escombros, que aumentan la vulnerabilidad de la población y los recursos naturales, particularmente ante un evento atmosférico. Confiamos en que esta información permita entender que una política pública por sí sola es insuficiente para lograr cambios. Por ejemplo, Puerto Rico cuenta con una ley para adoptar prácticas sostenibles de manejo de desperdicios —reutilizar, reciclar, compostar y reducir— con cambios en los patrones de producción y consumo. No obstante, los datos oficiales revelan que cada habitante genera casi seis libras de residuos sólidos al día, lo que hace de la isla uno de los mayores productores de residuos per cápita en el mundo. Este comportamiento agrava la vulnerabilidad ante eventos naturales, como evidencia el presente informe.

2 Desechos acuáticos y desperdicios sólidos

2.1. A Puerto Rico podrían quedarle de 1 a 3 años de capacidad futura para el depósito de desperdicios sólidos en sus vertederos si no se toman acciones urgentes para atender el manejo integrado de estos residuos.

- La falta de estrategias para el manejo responsable de desperdicios y escombros en la emergencia por el huracán María redujo entre uno y dos años la capacidad de los vertederos y sistemas de relleno sanitario, ya saturados.
 - ▶ La mayoría de al menos 12 millones de yardas cúbicas de escombros recogidos, relacionados con el huracán María, fueron escombros de construcción y residuos vegetativos, seguidos de materiales mixtos.
 - ▶ En solo seis meses, entre noviembre de 2017 y abril de 2018, una misión federal de apoyo a esfuerzos locales documentó el recogido de más de 322,148 contenedores de residuos domésticos peligrosos que hubiesen terminado en nuestros vertederos y sistemas de relleno sanitario.
 - ▶ Se estima que apenas una tercera parte del material vegetativo recolectado se aprovechó como viruta para fincas, viveros de árboles, generación de composta o como cubierta en vertederos y sistemas de relleno sanitario.

- ▶ Los datos no consideran la posible generación de escombros debido a los procesos de recuperación y reconstrucción.
- ▶ A este escenario se añade un estimado de hasta 15,000 puntos de depósito de basura o vertederos clandestinos en áreas cercanas a ríos y quebradas, que aumentan la presión sobre los recursos naturales.
- Esfuerzos conjuntos de agencias locales, federales y municipales permitieron remover 35,000 galones de residuos de aceite, así como tanques de gasolina y desperdicios peligrosos de al menos 377 embarcaciones encalladas o hundidas en las aguas costeras de Puerto Rico tras el paso de los huracanes Irma y María.
- A nivel de las zonas urbanas, un análisis de un tramo de la calle Loíza en Santurce identificó deficiencias en la infraestructura para el manejo de desperdicios, además de prácticas y omisiones que facilitan la disposición inadecuada de desperdicios sólidos. Muchos de esos desperdicios ganan acceso a las alcantarillas de aguas pluviales y, a través de ellas, a nuestros cuerpos de agua. Las soluciones identificadas pueden replicarse en otras áreas donde confluye la actividad comercial y residencial.

Conclusiones / Recomendaciones

- Puerto Rico necesita un Plan Integral de Manejo de Residuos Sólidos para implementar antes, durante y después de los desastres.
 - ▶ Hay que identificar una visión de futuro para el manejo integral y sustentable de los residuos sólidos que incluya la reducción en la fuente, la reutilización, el reciclaje, el compostaje y la disposición o manejo final de estos desperdicios.
 - ▶ Dicha visión debe desarrollarse a través de un esfuerzo multisectorial que incluya a los Gobiernos municipales, central y federal, al sector privado, a entidades sin fines de lucro y a la academia. La visión debe ir acompañada de mecanismos para lograr su implementación, monitoreo de progreso y evaluación.
 - ▶ El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales recibirá \$40 millones de fondos, otorgados por el Congreso de Estados Unidos luego del desastre, para fortalecer su programa de manejo de residuos municipales y desarrollar las bases para delinear la visión de futuro mediante la actualización del estudio de caracterización de los residuos sólidos en Puerto Rico, el desarrollo de un Plan Integral de Manejo de Residuos Sólidos y la implantación de estudios de mercado para industrias de reciclaje, entre otras posibles iniciativas y proyectos demostrativos.
- Fortalecer el Programa de Manejo de Residuos Municipales para atender las necesidades de cumplimiento y permisos en los vertederos y sistemas de relleno sanitario de la isla.
 - ▶ Hay que fortalecer la planificación y gestión del manejo de escombros generados por desastres naturales actualizando los Planes de Manejo de Escombros por Desastres.
 - ▶ Es importante identificar y designar centros temporeros de acopio y manejo de escombros en los municipios.
- Debe tomarse en cuenta la geografía de los desperdicios sólidos.
 - ▶ Cada municipio en la cuenca estuarina tiene una demografía, espacios y sistemas de manejo de desperdicios sólidos diferentes. El manejo correcto de los mismos evita el despilfarro económico en su transporte y disposición, además de prevenir el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua.
- Es necesario educar a la ciudadanía y al comercio sobre las consecuencias que tiene, sobre la salud humana y del ecosistema, arrojar desechos contaminantes por las alcantarillas pluviales y sanitarias.

- ▶ Es indispensable promover mensajes consecuentes con la responsabilidad moral, social y legal de todos los actores sociales involucrados en el manejo y disposición de materiales.
- ▶ También, es preciso fomentar formas de producción, comercialización y consumo sostenibles, así como garantizar las condiciones necesarias para reducir los desechos —o al menos separar el material reciclable en la fuente— y asegurar el manejo adecuado de lo que es basura.

El tercer tópico de nuestro análisis expone el impacto de la actividad humana y los fenómenos atmosféricos sobre el hábitat que compartimos con cientos de especies de flora y fauna. Los huracanes de 2017 desfoliaron más de 30 millones de árboles, que tardarán décadas en recuperar las condiciones que tenían antes de los temporales. Esa deforestación de bosques y humedales, tanto como la destrucción de los arrecifes de coral, tienen repercusiones sobre la vida silvestre y marina e impactan el bienestar de la población y la economía.

3 Hábitat, peces y vida silvestre

3.1. En costas y tierra adentro, el huracán María alteró la estructura y composición de bosques, manglares y arrecifes coralinos, lo que redujo la diversidad de especies de flora y fauna, según pudo medirse en áreas de San Juan. Estas alteraciones aumentan la vulnerabilidad de la población humana.

La reestructuración de los ecosistemas llevará a muchas especies a adaptarse a cambios en la disponibilidad de hábitat, el alimento y la competencia con especies pioneras e invasivas.

La destrucción de arrecifes de coral alcanzó en algunas áreas de la costa metropolitana el 100 % de mortalidad de algunas especies coralinas.

Las playas presentaron cambios estructurales debido al transporte de sedimentos, la reducción de dunas y la pérdida de vegetación.

En octubre de 2017, un censo informó una pérdida total de cobertura del dosel de manglar del 50 %. Aunque se espera que los manglares del estuario se recuperen en los próximos cinco años, existen ciertas vulnerabilidades que afectarían esta recuperación que deben ser monitoreadas.

Los manglares negros aparentan ser más vulnerables a los huracanes en las zonas más urbanas del estuario. La alta mortalidad de los manglares negros, que ya son poco comunes, puede sugerir que esta especie sufrirá una presión poblacional a largo plazo, lo que cambiaría la composición de árboles en el estuario.

Las mediciones de aves y ranas en los manglares antes y después de los huracanes identificaron vulnerabilidades potenciales en esas comunidades animales. Las grabaciones acústicas sugieren que tanto el número de detecciones como el total de especies detectadas disminuyeron después de los huracanes Irma y María. Hubo especies que no se detectaron en ninguno de los sitios.

Todas estas especies utilizan los manglares como hábitat, lo que significa que su desaparición puede deberse a la mortalidad y la pérdida de cobertura del dosel de los mangles.

Conclusiones / Recomendaciones

- Llevar a cabo una evaluación rápida para conocer la magnitud y extensión de los impactos de los huracanes en las comunidades coralinas del estuario y los hábitats asociados. La restauración de emergencia puede reducir en gran medida la cantidad de colonias de coral perdidas por el impacto de los huracanes.
- ▶ Iniciativas como los arrecifes artificiales y la siembra y cultivo de corales propician la restauración de los ecosistemas marinos.

- ▶ Estimular el crecimiento de corales proveerá, a largo plazo, mayor protección a las comunidades y la infraestructura costera ante eventos atmosféricos como los huracanes.
- Acciones para proteger los manglares:
 - ▶ Monitoreos frecuentes para cuantificar su recuperación y vigilar los componentes más vulnerables en el estuario.
 - ▶ Aumentar su hábitat y las áreas de amortiguamiento alrededor de la ciudad para incrementar su resiliencia.
 - ▶ Reforzar el cumplimiento de las leyes que criminalizan la deforestación de manglares para limitar la fragmentación.
 - ▶ Establecer programas que promuevan su crecimiento en áreas abandonadas.
- Comprender mejor la salud y la capacidad de recuperación de los ecosistemas de yerbas marinas, realizar una evaluación ampliada de los impactos de los huracanes y recuperar los recursos perdidos ayudarán a asegurar la sostenibilidad de las contribuciones económicas y ecológicas de las praderas de yerbas marinas.
- Preservar y ampliar los bosques urbanos. Las observaciones indican que, mientras más grandes son los parches de esta infraestructura verde, mayor es la abundancia y la riqueza de especies de aves.

La infraestructura natural ofrece a Puerto Rico un servicio tan vital como la infraestructura eléctrica, de acueductos y alcantarillados. Provee oxígeno, nutre nuestros suelos, purifica las aguas y sirve como barrera natural ante eventos extremos, entre otros servicios analizados en este informe. La infraestructura, bajo presión intensa por la actividad humana, fue nuestra primera línea de defensa ante los huracanes y debe ser parte integral de los planes de reconstrucción.

4 Infraestructura natural

4.1. La pérdida de la cobertura vegetal como consecuencia del huracán María redujo los servicios ecosistémicos necesarios para la resiliencia y el bienestar de las comunidades de la cuenca del estuario. Esto las hace más vulnerables a eventos climáticos futuros.

- Las zonas boscosas en la cuenca del estuario —entre ellas, el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico, el Bosque Urbano del Nuevo Milenio, la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas, el caño Martín Peña y el Bosque Estatal de Piñones— perdieron en promedio casi una cuarta parte de la cobertura. En la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas se documentó la pérdida del 76 %.
- Se estima que se perdieron aproximadamente 132,147 toneladas de carbono en forma de dióxido de carbono almacenadas en el tejido vegetal (biomasa). Esta disminución reduce la calidad del aire que respira la ciudadanía.
- Con la pérdida de cobertura vegetal, análisis estiman una reducción del 35.2 % en la capacidad de la vegetación para eliminar contaminantes atmosféricos dañinos para la salud.
- Nuevos resultados sugieren que, sin un manejo adecuado, la condición actual de los árboles en los bosques urbanos del estuario de la bahía de San Juan (EBSJ) después de los huracanes de 2017 los hará más vulnerables a disturbios futuros.
- La pérdida de infraestructura verde hace a las comunidades más susceptibles a inundaciones: a menor cantidad de árboles y arbustos, más escorrentías. Los mangles, por ejemplo, funcionan como una especie de escudo durante las tormentas, ya que evitan la erosión en las zonas costeras y frenan las marejadas y los vientos huracanados, lo cual protege a las comunidades aledañas.

- Otro recurso que demostró su servicio como barrera natural fueron las dunas. En sectores como Vacía Talega, en Loíza, o el Último Trolley, en Ocean Park, las entradas del mar hacia las carreteras ocurrieron en las zonas del litoral donde la duna sufrió impactos por el tráfico peatonal y vehicular.
- La pérdida de infraestructura verde afectó la provisión de muchos otros servicios esenciales que no se contabilizaron. Entre ellos el control y la purificación de las aguas de escorrentía, la provisión de hábitat —en particular para especies nativas en peligro de extinción—, la polinización, la mitigación del efecto “isla de calor”, el control de marejadas y vientos huracanados, la compactación del suelo y el control en la erosión del terreno.

4.2. La pérdida de los servicios ecológicos de la vegetación provocados por eventos naturales es cuantificable en dólares y centavos.

- Análisis sobre los cambios provocados por los huracanes Irma y María en la provisión de servicios ecosistémicos en cinco zonas de importancia ecológica para la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan estiman que el valor de dicha pérdida fue de aproximadamente \$359,130 anuales.

4.3. Los deservicios que surgieron a raíz de los daños causados a los árboles por los huracanes podrían haber desencadenado respuestas sociales e institucionales que afectarían negativamente la cobertura arbórea urbana a largo plazo.

- Durante la fase de recuperación posterior a María, se cortaron y eliminaron muchos árboles que se consideraban peligrosos o problemáticos. Es necesario entender y lidiar con las estructuras sociales que influyen en el manejo de árboles luego de desastres naturales como los huracanes para brindar apoyo a las prácticas apropiadas de manejo de árboles en áreas urbanas del estuario de la bahía de San Juan.

Conclusiones / Recomendaciones

- Para atenuar las vulnerabilidades ecológicas hay que invertir en la planificación, diseño, recuperación y proliferación de la infraestructura verde de la misma manera que se hace con la infraestructura urbana, particularmente donde la infraestructura de alcantarillado es defectuosa o ineficiente.
 - ▶ El PEBSJ promueve el diseño y la construcción de infraestructura verde para manejar el agua de escorrentía, mejorar su calidad y minimizar la magnitud de las inundaciones urbanas. Para lograrlo, proponemos sistemas para recolectar agua de lluvia, jardines verticales y franjas de vegetación.
- Un manejo agresivo y preventivo es necesario para asegurar la presencia de árboles saludables y mejorar su capacidad para proveer servicios ecológicos.
- La planificación y el manejo de árboles urbanos dentro del contexto de futuros eventos huracanados requieren enfoques socioecológicos.
- Hay que promover inventarios comunitarios de los recursos arbóreos y crear una cultura de planificación, manejo y mantenimiento de los árboles urbanos.
- Atribuir valor monetario a los servicios ecosistémicos de la infraestructura verde puede incentivar el mantenimiento y la promoción de la vegetación como herramienta para mejorar la calidad de vida, proteger las comunidades de catástrofes por eventos naturales y mitigar los efectos adversos del cambio climático dentro de zonas urbanas y rurales.
- La siembra de vegetación costera permite retener la arena en la duna y fortalecer nuestras playas. Estos proyectos se pueden combinar con la colocación de trampas de arena y la retroalimentación de arena.

Los desafíos señalados en esta publicación requieren análisis y acción desde todos los niveles de la sociedad. Por eso, integrar el componente educativo es una recomendación consistente en cada tema. Hay que orientar para asumir mejores prácticas, incentivar el cumplimiento de las leyes, empoderar y darle participación a la gente en las soluciones. Además, hay que formar más ciudadanos científicos, estimular el voluntariado desde edades tempranas y auspiciar proyectos de investigación, monitoreo y divulgación de datos.

Mantener comunicación abierta con las comunidades es otra recomendación sostenida en los artículos de este informe. Además, hacen falta políticas públicas inclusivas, abarcadoras y responsables que consideren las necesidades, fortalezas y oportunidades de todos los sectores, con visión de desarrollo justo. Los compromisos de acción conjunta hacen posibles los cambios.

5 Educación y participación ciudadana

5.1. La participación de ciudadanos y estudiantes de nivel escolar y universitario en los programas de educación e integración de voluntarios del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan creó las condiciones necesarias para activar una red de respuesta inmediata y apoyo comunitario tras los huracanes.

- Además de los censos de aves y la identificación de descargas, el PEBSJ realizó diagnósticos de área para determinar las necesidades de las personas en las comunidades estuarinas que más aisladas quedaron luego del huracán.
 - ▶ El Programa creó un proyecto de desalinización de agua para proveer agua potable, distribuyó placas solares que se ubicaron en centros comunitarios claves y adquirió, para estos centros comunitarios, materiales tales como lavadoras de bajo o ningún consumo energético, linternas y otros artículos de primera necesidad. Esta experiencia ayudó a replicar el formato para apoyar a otros estuarios de Puerto Rico, como se hizo en Punta Santiago y Vieques.
 - ▶ Como respuesta a la demanda de experiencias educativas que compensaran la fragilidad del sistema educativo y que, a su vez, conectaran a las personas con espacios naturales aún en recuperación, el Programa expandió su oferta de educación para llevar un mensaje de conservación e investigación ciudadana a los estudiantes, los maestros y todas las personas que viven o participan de actividades en la cuenca estuarina.

5.2. La vulnerabilidad puede ser un propulsor educativo y participativo.

- El Programa de Educación Estuarina permitió comprender que la vulnerabilidad tiene el potencial de despertar en las personas el interés por la conservación. Al entender su interdependencia con el resto de las especies y cómo la actividad humana hace de su entorno una amenaza contra su propia supervivencia, las personas muestran interés, curiosidad y deseo de involucrarse.

Conclusiones / Recomendaciones

- Promover la educación y la participación ciudadana en los proyectos de evaluación ambiental como herramienta que los empodere del cuidado y la conservación de nuestros espacios naturales urbanos.

En este informe, ofrecemos como modelo el proceso de recuperación a largo plazo creado por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan a través de la Unidad de Resiliencia Comunitaria. Este modelo enmarca las acciones de educación y participación ciudadana en tres principios: los ciudadanos como protagonistas, las alianzas entre sectores y el manejo integrado de los elementos que definen una comunidad. Además, compartimos ejemplos exitosos de lo que es posible lograr cuando actuamos juntos, con el peritaje interdisciplinario y el conocimiento de las comunidades. El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

y el Proyecto ENLACE, así como las numerosas iniciativas surgidas del tercer sector como respuestas sostenibles a las emergencias de 2017, confirman el valor de informar, concienciar, involucrar y empoderar, con datos científicos y voluntariado.

6 Resiliencia comunitaria

6.1. La reacción rápida, la flexibilidad y la capacidad de adaptabilidad son elementos esenciales para enfrentar cualquier evento extremo en el futuro.

- La capacidad del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan de implementar y mantener la operación exitosa de las iniciativas generadas ayudó a guiar la respuesta ciudadana tras el paso del huracán María.
 - ▶ La red de voluntarios ayudó a reiniciar el conteo de aves inmediatamente después de los huracanes y a redirigir recursos a las áreas más necesitadas que se identificaron.
 - ▶ Los programas educativos y de voluntarios facilitaron la reanudación de actividades de siembra capaces de reforzar la infraestructura verde y devolver un sentido de normalidad a los niños en las escuelas de la cuenca.

6.2. La atención y la consistencia en el apoyo inmediato abrieron la oportunidad para construir resiliencia a largo plazo.

- Al identificar la necesidad de ampliar su enfoque a las comunidades más vulnerables de la cuenca estuarina, el Programa inició la campaña “Estuario Revive” para apoyar a centros comunitarios y culturales. Estos espacios se han ido formalizando como centros resilientes ante desastres y/o emergencias.

6.3. El arte es eje de apoyo y empoderamiento para el desarrollo económico, social y cultural.

- El uso de la creatividad y el arte en los procesos de apoyo posteriores a los huracanes se ha convertido en una herramienta vital para el éxito de las iniciativas lideradas por el PEBSJ. Las actividades creativas nos han permitido cumplir los objetivos de educación para empoderar a la comunidad en la conservación de la cuenca estuarina. Han servido, también, para facilitar y aumentar la resiliencia y la salud física y mental en la comunidad.
- Proyectos como el de Artistas Residentes del Estuario han ayudado a estrechar el vínculo entre la comunidad y su entorno, lo cual facilita la participación y contribuye a que las acciones de conservación perduren. Además, estas iniciativas permiten integrar diferentes saberes para realizar un mejor diagnóstico y aumentar la capacidad de resiliencia en las comunidades.

6.4. La ciudadanía y las entidades sin fines de lucro, o el llamado “tercer sector”, fueron vitales en la recuperación de Puerto Rico.

- Ante la emergencia social y económica provocada por el huracán y el mal manejo de la situación, las organizaciones no gubernamentales (ONG), tanto comunitarias como de base de fe, respondieron con agilidad para proveer asistencia, servicios y recursos a las personas, comunidades y familias más vulnerables.
 - ▶ Las ONG movilizaron a miles de voluntarios y se comprometieron en la búsqueda de una recuperación que no solo superara la respuesta ante la emergencia, sino que se convirtiera en un proyecto perdurable y capaz de generar un cambio sostenible en las comunidades después de un desastre.
 - ▶ En los municipios que pertenecen a la cuenca del estuario de la bahía de San Juan hay alrededor de 156 organizaciones no gubernamentales que establecieron asociaciones, crearon redes de apoyo y movilizaron recursos. Durante todo el período de crisis y recuperación, estas ONG se convirtieron en actores estratégicos para el empoderamiento y la resiliencia de las comunidades.

6.5. La falta de electricidad y de señal telefónica impidió que muchas comunidades tuviesen conocimiento de las condiciones insalubres del agua en los ríos y quebradas.

Conclusiones y recomendaciones

- La autogestión y la participación de las organizaciones no gubernamentales deben ser componentes esenciales en la agenda de recuperación y reconstrucción para fortalecer a las comunidades e instituciones en la preparación y la acción ante crisis futuras.
- Una de las lecciones más importante del desastre de 2017 es la importancia de escuchar a las personas más afectadas y vulnerables a la hora de diseñar un plan de respuesta a estos fenómenos climáticos y reforzar las ONG, que desempeñan un papel fundamental en la reconstrucción resiliente de Puerto Rico.
- Concienciar a la población sobre los peligros y las alternativas que puede adoptar en casos futuros será de suma importancia para evitar brotes de enfermedades en momentos en que la gente esté incomunicada. Para reducir las vulnerabilidades de la población general ante futuras catástrofes hay que invertir no solo en la infraestructura, sino también en mejorar la comunicación y difusión de la información en tiempos de crisis.

El análisis y las recomendaciones que presentamos a continuación se proponen como prioridad para invertir los fondos de recuperación de los huracanes. Cada estrategia para avanzar hacia la restauración y protección de nuestros recursos naturales es importante. Eslabonarla aumentará la escala de su impacto. En algunos casos, se detallan medidas para evitar las pérdidas millonarias que provoca la inacción. Invertir para reducir el impacto en nuestros recursos multiplica los servicios que la naturaleza nos ofrece. Igualmente, ahorra los costos relacionados con inundaciones y con enfermedades asociadas a la contaminación del aire, los suelos y los cuerpos de agua. Para aumentar su rendimiento, la inversión debe dirigirse también a diseñar y construir resiliencia mediante procesos participativos.

Tenemos que asumir con seriedad la ley natural de retribución. Los ecosistemas naturales nos cuidan y protegen en la medida en que nosotros hacemos lo mismo. En cambio, su degradación perjudica nuestra salud, sociedad y economía.

Cumplidos tres años desde el embate de los huracanes Irma y María, es hora de formular acciones que hagan a Puerto Rico más seguro. Ponemos estos trabajos a disposición de dicho proceso. Nuestra isla cuenta con investigadores, estudiantes, comunidades y ciudadanos dispuestos a colaborar. Tiene aliados del sector privado y organizaciones sin fines de lucro comprometidas.

También cuenta con una cantera de científicos con alto sentido de responsabilidad social, algunos de los cuales han contribuido a producir este informe. En momentos en que se cuestiona la ciencia y todo se monetiza, estos profesionales de distintas disciplinas asumen como misión investigar para restaurar y proteger nuestros recursos naturales. Puerto Rico necesita a estos expertos para tomar decisiones sostenibles, basadas en investigaciones y datos objetivos y constatables. Como el resto del mundo, nuestra isla ha conocido de forma directa el alto costo en vidas y para la economía de optar por ignorar las advertencias de la comunidad científica, tanto sobre el cambio climático como sobre la pandemia del COVID-19 o la sismicidad de nuestra región, cuyos riesgos también se abordan en este informe.

Las experiencias dolorosas nos dejan lecciones importantes. Algunas afloran en los artículos que comprenden este informe. Sirvan estos análisis para reconocer, mitigar y superar algunas de las vulnerabilidades del estuario, que se repiten alrededor de Puerto Rico. Podemos avanzar hacia un futuro que aproveche nuestra riqueza natural, social, económica y cultural con el fin de construir un desarrollo equilibrado, progresivo y duradero.

CONTENIDO

Prólogo	V
Resumen ejecutivo	VI
Introducción	1
Calidad de agua y sedimentos	5
▪ Diagnóstico.....	6
▪ La calidad del agua del estuario en una década: estado actual, tendencias y proyecciones.....	8
▪ Presencia de <i>Enterococcus sp.</i> en la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado y su relación con eventos de precipitación.....	22
▪ Impacto del huracán María sobre la calidad del agua en los ríos y quebradas de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan.....	28
▪ Efectos del huracán María en la infraestructura de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.....	34
▪ Comunidades que carecen de servicio de alcantarillado sanitario convencional.....	39
Desechos acuáticos y desperdicios sólidos	45
▪ Diagnóstico.....	46
▪ Manejo de escombros y residuos sólidos.....	48
▪ Geografía de los desperdicios sólidos en la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan tras el paso del huracán María.....	56
▪ Perpetúan las campañas <i>anti-littering</i> la inequidad ambiental.....	61
▪ Reconocimiento de materiales después del huracán María: vertederos clandestinos en la cuenca del estuario de la bahía de San Juan.....	68
Hábitat, peces y vida silvestre	73
▪ Diagnóstico.....	74
▪ Impacto y vulnerabilidad de los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas.....	76
▪ Evaluación de vulnerabilidad de los manglares en el estuario de la bahía de San Juan.....	82
▪ Análisis de estresores ambientales y vulnerabilidad de especies costeras en áreas de humedal asociadas a la ciénaga Las Cucharillas: consideraciones para la rehabilitación y reforestación de humedales urbanos costeros.....	86
▪ Evaluación rápida de bosques urbanos y poblaciones de aves después del huracán María.....	92
Infraestructura natural	99
▪ Diagnóstico.....	100
▪ Cambios en la cobertura vegetal en áreas naturales protegidas y bosques urbanos de la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan a causa de los huracanes Irma y María.....	102

▪ Las playas y dunas del estuario de la bahía de San Juan: impacto y recomendaciones	116
▪ Erosión en Ocean Park de julio a agosto de 2019: causas, cambios y recuperación	120
▪ Vulnerabilidades de los árboles urbanos en el estuario de la bahía de San Juan después del huracán María	124
▪ Infraestructura verde como estrategia de manejo del recurso del agua: el Vivero Estuario y la Red de Bosques Urbanos.	129
Educación y participación ciudadana	135
▪ Diagnóstico	136
▪ Actividades de educación y participación ciudadana como respuesta a la vulnerabilidad en los ecosistemas del estuario de la bahía de San Juan	138
Resiliencia comunitaria	145
▪ Diagnóstico	146
▪ La necesidad de repensar la vulnerabilidad: lecciones aprendidas de los huracanes Irma y María	148
▪ Resiliencia comunitaria en el estuario a través del arte y la cultura.	153
▪ “El Caño vive, la lucha sigue”: el empoderamiento comunitario como mecanismo para promover una recuperación justa y equitativa, y la justicia social y ambiental, en Puerto Rico	156
▪ El huracán María: un gran desafío para el sistema de salud de Puerto Rico.	159
▪ Efectos de un terremoto en el estuario de la bahía de San Juan.	164
Conclusiones y recomendaciones	170
Bibliografía	172
Colaboradores	182



INICIO

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

POR JORGE F. BAUZÁ ORTEGA

Desde sus inicios, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) tiene la misión de informar acerca de la condición ambiental del sistema estuarino. Sus objetivos incluyen conversar y compartir datos sobre la calidad de sus aguas, el hábitat, la vida silvestre y las comunidades que habitan su cuenca, pero más aún presentar recomendaciones y lecciones aprendidas a raíz de los esfuerzos de restauración y educación. Comenzamos en el año 2000 con la publicación del Plan Integral de Manejo y Conservación, al que le siguieron el Segundo Informe de la Condición Ambiental del Estuario en 2009 y el Tercer Informe de la Condición Ambiental del Estuario en 2013. El cuarto informe estaba en vías de elaboración cuando, en 2017, llegó a Puerto Rico el huracán María.

Con vientos máximos sostenidos de 155 millas por hora al hacer su entrada por Yabucoa, María fue un huracán de categoría 4 que impactó y trastocó todo durante y después de su paso por la isla. Dadas las circunstancias, el PEBSJ hizo una pausa en sus labores habituales para reenfocar y redirigir los esfuerzos a tono con las necesidades del momento. La publicación que tienen en sus manos es producto de ese proceso. Más que un informe ambiental, se trata de un texto dirigido a documentar los impactos del ciclón en seis áreas medulares y a la vez muy relacionadas: (1) calidad de agua y sedimentos, (2) desechos acuáticos y desperdicios sólidos, (3) hábitat, peces y vida silvestre, (4) infraestructura natural, (5) educación y participación ciudadana y (6) resiliencia comunitaria. En sus páginas, además, se ofrecen recomendaciones y se identifican elementos que necesitamos mejorar para tener ecosistemas y comunidades más resilientes.

El primer paso para desarrollar este informe fue llamar a las puertas de expertos en el tema, entre ellos investigadores y estudiantes que se lanzaron de inmediato a realizar mediciones y análisis. Acudimos también a líderes de organizaciones ambientales y comunitarias, exjefes de agencia, recursos de primer orden en agencias ambientales y otros amigos de la organización para que contribuyeran con artículos en sus respectivas áreas de experiencia y pericia. A medida que naveguen por estas páginas, tendrán la oportunidad de conocer a los colaboradores —hombres y mujeres— que lograron pintar lo que en un principio fue tan solo un lienzo en blanco, un anhelo.

La calidad del agua nos habla del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. Precisamente, el PEBSJ lleva diez años evaluando 13 cuerpos de agua. Aquí presentamos en primicia los resultados de una década de observaciones y un novedoso programa de monitoreo de calidad del agua y notificaciones públicas centrado en promover el uso recreativo saludable de los ecosistemas. Exponemos, además, cuál fue el impacto de María sobre la calidad del agua en los ríos y quebradas ubicados en la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan. A este respecto, cabe señalar que alrededor de 1.5 millones de puertorriqueños carecen de servicio de alcantarillado sanitario, algo que, como leerán más adelante, repercute significativamente en la calidad del agua y la salud pública.

Si algo quedó evidenciado tras el paso del huracán por la isla, fue el reto que supuso manejar los escombros y residuos sólidos, que terminaron ocupando el limitado espacio que quedaba en los sistemas de relleno sanitario. Tan solo a una pequeña cantidad de estos desperdicios se le pudo dar un uso beneficioso a través de la reutilización, el reciclaje y la generación de viru-

INICIO

CONTENIDO

#Estuari



tas y composta. De ahí salió a relucir la importancia de la concienciación, la educación y la preparación para lograr un manejo adecuado de estos residuos.

Los arrecifes coralinos, manglares, playas, dunas, yerbas marinas y humedales de agua dulce también sufrieron los estragos del ciclón. Estos ecosistemas son la primera línea de defensa de la isla contra tormentas e inundaciones. Constituyen estructuras que disipan la fuerza de las olas y actúan como barrera natural para evitar la erosión costera y proteger la infraestructura, salvaguardando vida y propiedad. Sin ellos, posiblemente, María habría tenido un impacto aún mayor. Los bosques urbanos también ofrecen importantes servicios ecológicos, como la filtración de agua, el almacenamiento de carbono, la regulación del clima local, la retención de contaminantes, el control de plagas y el hábitat crítico para diversas especies. Sin embargo, para desempeñar esas funciones deben estar saludables y en condiciones resilientes. Por eso, presentamos herramientas y proyectos de restauración dirigidos a fortalecer estos ecosistemas, mejorar su resiliencia y reducir su vulnerabilidad.

En esa misma línea argumental, resaltamos la importancia de mantener y optimizar los servicios ecológicos que ofrecen los espacios verdes. La infraestructura natural, que incluye los árboles urbanos, ayuda a reducir las escorrentías de lluvia, refresca la tempe-

ratura y mejora la calidad del aire, además de aportar otros beneficios que promueven la salud socioecológica del estuario de la bahía de San Juan. Se trata, por tanto, de un recurso fundamental que mejora la calidad de vida y reduce los riesgos ante las catástrofes naturales.

Asimismo, señalamos el carácter imprescindible de la educación y la participación ciudadana como herramientas eficaces para perpetuar los esfuerzos de recuperación y restauración. Veremos cómo, al promover la participación de las comunidades dentro y fuera de la cuenca, el PEBSJ ha creado nuevas relaciones de empoderamiento comunitario y ciudadano a través del Programa de Educación Estuarina —que facilita charlas, recorridos, talleres y experiencias lúdicas temáticas, organizadas, relevantes y amenas— y de iniciativas como el programa escolar Guardianes del Estuario y el Censo de Aves Navideño Gamaliel Pagán Hernández.

De la mano van todas aquellas acciones dirigidas a reducir la vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia comunitaria, ya que la temporada de huracanes de 2017 reveló la necesidad de repensar y transformar numerosos aspectos de la sociedad y la economía puertorriqueñas. Sobre este particular planteamos cinco puntos de reflexión —partiendo de lecciones aprendidas tras el paso de María— que nos pueden ayudar a ser más resilientes. Presentamos también

oRevive



una iniciativa muy especial basada en un modelo integrado que celebra el espíritu de lucha, la solidaridad, el compromiso, el sentido de pertenencia y la dedicación de los líderes y residentes de las comunidades que rodean el caño Martín Peña: el Proyecto ENLACE. Asimismo, discutimos con datos precisos los retos que supuso el huracán para el sistema de salud de Puerto Rico, cuya resiliencia y capacidad de respuesta también debemos fomentar.

Existen otras herramientas para lograr la resiliencia comunitaria, como lo son el arte y la cultura. Ejemplo de ello es el Programa de Artistas Residentes del Estuario, cuyos participantes crean y utilizan el arte como instrumento de resiliencia y empoderamiento. Tras el paso de María, el PEBSJ inició también la campaña “Estuario Revive”, un esfuerzo centrado en apoyar a distintos centros comunitarios y culturales, formalizándolos como centros resilientes ante desastres o emergencias. Dichos centros representan un lugar de empoderamiento y refugio en momentos de crisis, pues proveen sistemas de energía solar, agua limpia, equipos de primeros auxilios y enseres eléctricos eficientes, razón por la cual el PEBSJ sigue dando continuidad al proyecto a través de la Unidad de Resiliencia Comunitaria.

Conscientes de que los huracanes no son ni serán el único riesgo al que se exponen el estuario y sus comunidades, incluimos también dos artículos que

hablan de peligros muy particulares. El primero es la delicada dinámica litoral, evidenciada por la pérdida de 91 pies de ancho de playa y 14 pies de arena vertical que experimentó la comunidad sanjuanera de Ocean Park en agosto de 2019. El segundo lo constituyen los movimientos sísmicos, a los que ciertas zonas de la cuenca estuarina, entre ellas los terrenos blandos y las áreas pantanosas cubiertas de relleno, son más vulnerables que otras debido a su susceptibilidad a la licuefacción.

Finalmente, intercalados en el texto encontrarán recuadros y pinceladas informativas sobre el impacto del huracán María en la infraestructura del país, que hizo patente la vulnerabilidad del sistema de energía eléctrica, los aeropuertos y las carreteras, así como de las viviendas y los edificios históricos.

Nuestro mayor deseo es que esta obra sea una herramienta práctica para todas aquellas personas en busca de información y recomendaciones que permitan construir un Puerto Rico resiliente. Esperamos que disfruten su lectura.

La infraestructura natural ayuda a reducir escorrentías, refresca la temperatura y mejora la calidad del aire, entre otros beneficios que promueven la salud socioecológica estuarina.



INICIO

CONTENIDO



CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS



ESTUARIO
PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

INICIO

CONTENIDO



ESTUARIO



DIAGNÓSTICO

POR JORGE F. BAUZÁ ORTEGA

El agua permitió que ocurrieran las reacciones que dieron origen a la primera forma de vida en nuestro planeta hace 3.5 billones de años. Desde entonces, el agua perpetúa la vida en todas sus formas y colores. Pero solo el agua en su estado limpio y puro, como en un principio. Por esta razón, debemos preservar, conservar y mejorar nuestros cuerpos de agua, misión a la que se dedica el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan desde sus inicios.

Tal vez nos preguntemos cómo está la calidad del agua en el estuario. Ante esta interrogante, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan creó el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua por Voluntarios, un esfuerzo que consiste en determinar la calidad del agua en 25 estaciones, a lo largo y ancho del estuario, que abarcan 13 cuerpos de agua representativos de su diversidad de sistemas acuáticos. Precisamente para contestar la pregunta en detalle, analizamos un total de 5,856 datos recopilados y medidos entre 2008 y 2018. A continuación, les presentamos los resultados de dicho análisis.

Adelantamos de inmediato que la respuesta varía según el cuerpo de agua en cuestión. Algunos son como estudiantes de F, con aguas muy contaminadas, y otros como estudiantes de B, con aguas que se consideran buenas. Pero, en general, podemos decir que la calidad del agua del estuario —como sistema— se ve frecuentemente amenazada y contaminada, razón por la cual es imperativo y urgente eliminar todas las fuentes dispersas y precisas de aguas sanitarias sin tratar, así como mantener en buen estado los sistemas de recolección de aguas sanitarias y pluviales. Sobre todo, es sumamente importante educar a la ciudadanía y al comercio sobre lo que no se debe desechar por las alcantarillas pluviales y sanitarias.

Cabe señalar que la calidad del agua también depende de los eventos climáticos y de precipitación. Hemos observado, por ejemplo, que los indicadores de presencia de aguas sanitarias aumentan con los eventos de precipitación, especialmente en la laguna del Condado. Sin embargo, este fenómeno no ocurre porque haya mucha lluvia, sino precisamente por lo comprometido que se encuentra el sistema de recolección de aguas sanitarias. Estas aguas se desbordan fácilmente con eventos de lluvia, lo cual se debe a problemas de estructura, infraestructura y mantenimiento.

En la cuenca del estuario, que tiene 74 estaciones de bombas de aguas servidas (EBAS), todo está relacionado e interconectado. Cientos de miles de galones de aguas usadas transitan diariamente por las EBAS hacia la planta de tratamiento, donde son procesadas antes de su vertido al mar. Sin embargo, esto solo ocurre si hay energía eléctrica que las opere, y los huracanes Irma y María dejaron al país sin electricidad. Como resultado, millones de galones de aguas sanitarias crudas llegaron a nuestros ríos, quebradas, bahías, lagunas y playas. Estas aguas sanitarias pueden transportar patógenos muy peligrosos, como la bacteria *Leptospira*, responsable de causar la leptospirosis.

Por otra parte, hay que considerar la calidad del agua en los manantiales naturales u oasis comunitarios, que son la fuente principal de agua para las comunidades en situaciones de emergencia. Es importante incluir estos depósitos vitales de aguas subterráneas en la ecuación de resiliencia y alivio a las comunidades antes, durante y después de las emergencias naturales. Pero veamos a continuación qué dicen nuestros colaboradores —expertos en el tema del agua— y, sobre todo, cuáles son sus recomendaciones.





ESTUARIO



LA CALIDAD DEL AGUA DEL ESTUARIO EN UNA DÉCADA: ESTADO ACTUAL, TENDENCIAS Y PROYECCIONES

POR JORGE F. BAUZÁ ORTEGA

Un estuario es un área costera donde el agua dulce que fluye de los ríos, quebradas y escorrentías pluviales se mezcla con el agua salada proveniente del océano. El sistema del estuario de la bahía de San Juan incluye la bahía de San Juan y las lagunas del Condado, San José, Los Corozos, La Torrecilla y de Piñones, así como los canales que interconectan estos cuerpos de agua, es decir, el caño Martín Peña y los canales San Antonio y Suárez. El agua dulce entra en el sistema desde los ríos y quebradas de la cuenca hidrográfica, que incluye el sistema río Piedras/río Puerto Nuevo, las quebradas Juan Méndez y San Antón, el canal Blasina y el canal La Malaria. El agua salada entra del océano Atlántico por la Boca del Morro, El Boquerón en la laguna del Condado y Boca de Cangrejos. Este sistema estuarino es altamente diverso, pues alberga más de 160 especies de aves, 308 especies de plantas, 87 especies de peces y 20 especies de anfibios y reptiles, entre las que se encuentran 16 especies consideradas raras y únicas en Puerto Rico.

El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) fue creado como parte de un esfuerzo por identificar, recomendar e implementar un plan de manejo con acciones dirigidas a mejorar y proteger la integridad natural del estuario y sus usos. El PEBSJ se ha dado a la tarea de coordinar la instauración del Plan Integral de Manejo y Conservación (CCMP), así como de promover la ejecución de otras medidas que adelanten la restauración y conservación del estuario de la bahía de San Juan. Su campo de acción es la cuenca hidrográfica del sistema, la cual se extiende por ocho (8) municipios urbanizados que incluyen Toa Baja, Cataño, Bayamón, San Juan, Guaynabo, Carolina, Loíza y Trujillo Alto.

Dicha cuenca abarca un área de captación de 251 km², con 36 km² de cuerpos de agua y 123 millas lineales entre ríos y quebradas (figura 1).

En el año 2008, el PEBSJ creó el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua por Voluntarios. Desde entonces, bajo este programa se recolectan muestras de agua y se miden las concentraciones de 12 parámetros de calidad del agua, entre ellos nutrientes (nitratos, nitritos y fósforo total), bacterias indicadoras de contaminación fecal (coliformes fecales y enterococos), aceites y grasas, oxígeno disuelto y turbidez. Mensualmente, se ocupan 25 estaciones distribuidas entre 13 cuerpos de agua representativos de la diversidad de sistemas acuáticos presentes en la cuenca hidrográfica y el litoral estuarinos. Como parte de este esfuerzo, el PEBSJ ha capacitado a unos 400 ciudadanos científicos mediante talleres teóricos y prácticos impartidos antes de los eventos de muestreo.

Esta presentación revela los resultados obtenidos entre 2008 y 2018. A tal efecto, se analizó un total de 5,856 datos recopilados mensualmente en las 25 estaciones de monitoreo. El análisis consistió en calcular un índice numérico de calidad del agua integrando todas las observaciones en un modelo matemático. El modelo utilizado es una adaptación de los protocolos establecidos por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2017). En esencia, el índice es un valor numérico entre 0 (Pobre) y 100 (Excelente) acompañado de una calificación identificada por una letra (tabla 1). Es decir, para cada cuerpo de agua se promediaron los datos y se compararon con el valor objetivo. El valor objetivo —o valor meta— es el número con el que se comparan los datos promediados para determinar si el cuerpo de agua se encuentra saludable o afectado.



Figura 1. Cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan. Los puntos amarillos representan las estaciones de muestreo.

Luego, integramos todos los parámetros en el modelo matemático para calcular el porcentaje y la frecuencia de datos que no cumplieron con el valor objetivo, así como la amplitud o diferencia entre el dato y el valor objetivo. Con este modelo creamos un índice de calidad del agua, que es una manera sencilla de otorgarle a cada cuerpo de agua una calificación o nota basada en los resultados del análisis de muestras. En otras palabras, es una forma de traducir las observaciones de campo a términos fáciles y rápidos de comprender. El índice de calidad del agua va desde 0 hasta 100: mientras más alta sea la puntuación, mejor será la calidad del agua. Además, empleamos una escala de calificación similar a la de las notas escolares, donde una "F" representa calidad de agua pobre y una "A" representa calidad de agua excelente.

Posteriormente, utilizamos estos índices de calidad del agua para comparar las puntuaciones obtenidas año tras año desde 2008 hasta 2018. Este análisis, conocido como serie de tiempo, permite ver en una gráfica los cambios y tendencias en la calidad del agua a lo largo del tiempo para poder determinar si el cuerpo de agua está mejorando o empeorando.

TABLA 1.
Índices utilizados para describir la calidad del agua en el estuario de la bahía de San Juan

Índice de calidad del agua	Descripción	Calificación
95 - 100	Excelente: La calidad de las aguas está protegida; la condición del cuerpo de agua se acerca a condiciones prístinas y naturales.	A
80 - 94	Bueno: La calidad de las aguas está protegida; el cuerpo de agua exhibe un grado de contaminación menor y poco frecuente.	B
65 - 79	Regular: La calidad de las aguas suele estar protegida; el cuerpo de agua exhibe niveles de contaminación ocasionalmente.	C
45 - 64	Marginal: La calidad de las aguas está poco protegida; el cuerpo de agua se encuentra frecuentemente amenazado y contaminado.	D
0 - 44	Pobre: La calidad de las aguas no está protegida; el cuerpo de agua siempre se encuentra amenazado y contaminado.	F

Los índices de calidad del agua y la calificación (tabla 2) demuestran que los cuerpos de agua con mejor circulación, como la laguna del Condado y la bahía de San Juan, exhiben una mejor condición, mientras que los cuerpos de agua con poca circulación, como, por ejemplo, el caño Martín Peña y el canal La Malaria, están gravemente afectados. Por otro lado, a juzgar por los índices, la calidad de las aguas de los ríos y quebradas en la cuenca también demuestra impactos, los cuales responden a las descargas de aguas usadas sin tratar que reciben a diario. Además, los parámetros que con mayor frecuencia incumplieron los objetivos de calidad del agua fueron los de coliformes fecales, los de enterococos y los de aceites y grasas. De hecho, todos los cuerpos de agua estudiados presentaron, en algún momento de la serie, altos valores para estos tres parámetros. En conclusión, la circulación pobre y las descargas de aguas usadas sin tratar continúan siendo la causa principal del deterioro de la calidad del agua en los sistemas acuáticos del estuario de la bahía de San Juan.

TABLA 2.

Índices de calidad del agua y calificación promedio de los cuerpos de agua monitoreados: serie 2008-2018

Cuerpo de agua	Índice de calidad del agua	Calificación
Bahía de San Juan	91	B
Caño Martín Peña	30	F
Segmento río Piedras/río Puerto Nuevo	39	F
Canal San Antonio	86	B
Laguna del Condado	84	B
Canal La Malaria	26	F
Península La Esperanza/Bay View	51	D
Laguna La Torrecilla	65	C
Canal Blasina	36	F
Canal Suárez	64	D
Laguna San José	59	D
Laguna Los Corozos	64	D
Quebrada San Antón	34	F





BAHÍA DE SAN JUAN



A continuación, se describen los 13 cuerpos de agua monitoreados y se presentan sus respectivas series de tiempo.

La bahía de San Juan (3280 acres), descrita por los primeros colonizadores como uno de los más esplendorosos puertos del Nuevo Mundo, es el componente más conocido del estuario. Comprende aproximadamente 6.5 millas (10.5 km) de costas sumamente desarrolladas y se conecta con el océano Atlántico a través de la Boca del Morro. Actualmente, por sus aguas transita más del 80 % de los productos que llegan a nuestra isla y sobre 1 millón de pasajeros en cruceros. Durante la década de 1940, el área sumergida entre la isla de Cabras

y el islote El Cañuelo se rellenó para construir instalaciones militares y una carretera elevada. Esto redujo significativamente la circulación y el intercambio de agua entre la bahía y el océano Atlántico. La calidad del agua de la bahía de San Juan comenzó a mejorar significativamente en la década de 1980, a partir de la reubicación de las descargas de aguas tratadas que recibía directamente. Estas se conectaron a un emisario marino que descarga en el océano, fuera de la bahía de San Juan, las aguas previamente tratadas. Hoy día, la entrada principal de agua dulce a la bahía es el sistema río Piedras/río Puerto Nuevo.

BAHÍA DE SAN JUAN

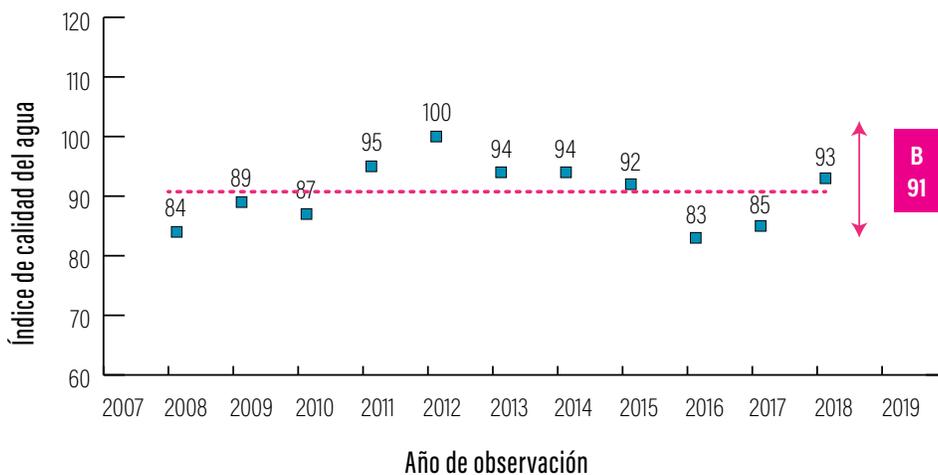


Figura 2. Serie de tiempo para la bahía de San Juan. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.



El caño Martín Peña (69 acres) mide aproximadamente 3.75 millas (6 km) de largo y conecta la bahía de San Juan al oeste con la laguna San José al este. Durante muchos años, este cuerpo de agua se ha visto grandemente impactado por el intenso desarrollo residencial en su cuenca y por la falta de una infraestructura adecuada para el manejo de aguas sanitarias y desperdicios sólidos domésticos. Hace unos años, se dragó la mitad oeste del caño para utilizarla como canal de navegación y transporte público entre el área de Hato Rey y la isleta de San Juan. Este segmento está bordeado por manglares y en sus márgenes se ubica el Parque Lineal Enrique Martí Coll. Sin embargo, su segmento oriental —que conduce hacia la laguna San José— se encuentra gravemente obstruido, exhibiendo una transición de cuerpo de agua abierto a pantano que responde principalmente al crecimiento de maleza acuática y a la acumulación de sedimentos y desechos acuáticos.

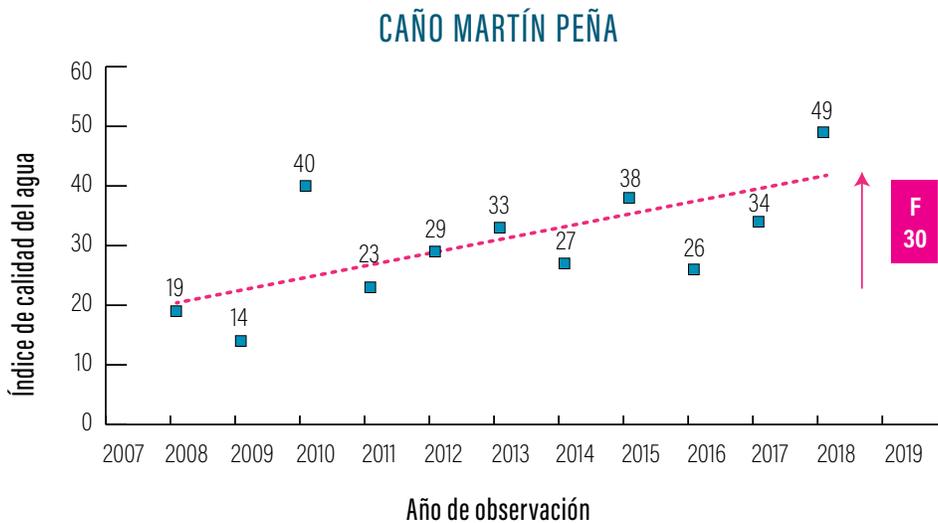


Figura 3. Serie de tiempo para el caño Martín Peña. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.



SISTEMA RÍO PIEDRAS / RÍO PUERTO NUEVO



RÍO PIEDRAS / RÍO PUERTO NUEVO

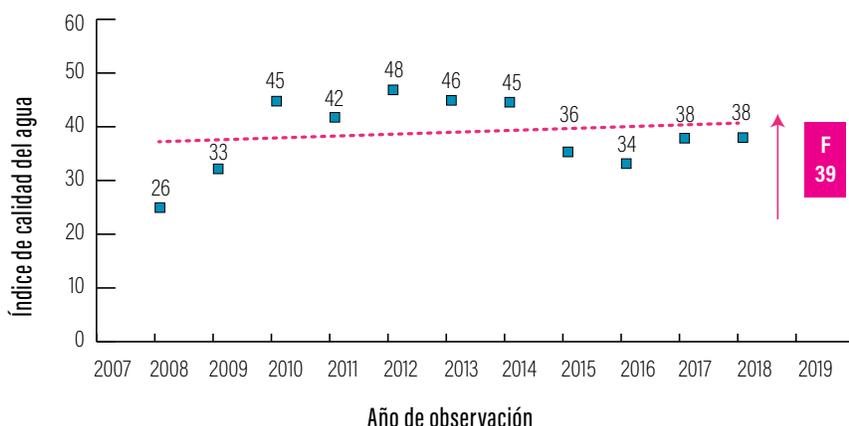


Figura 4. Serie de tiempo para el segmento río Piedras/río Puerto Nuevo. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.

El sistema de los ríos Piedras y Puerto Nuevo representa la fuente principal de agua dulce de la bahía de San Juan. Estas aguas comienzan su recorrido en el barrio Caimito, en San Juan, a una altura de entre 426 y 590 pies (130-180 metros). Su longitud aproximada es de 9.9 millas (16 km) y su cuenca hidrográfica capta aguas de escorrentía alrededor de unas 24 millas cuadradas (62 km²). El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos dragó la porción baja del río Puerto Nuevo como parte de un proyecto iniciado en 1994 para el control de inundaciones. No obstante, dicho proyecto pretende canalizar con concreto unas 9.5 millas (15 km) del río, construir un canal de tierra de 1.7 millas (2.7 km) y crear dos cuencas o áreas de captación. Se espera que estas modificaciones alteren significativamente la hidrología, las tasas de sedimentación y las descargas de contaminantes tanto en el río Puerto Nuevo como en su punto de encuentro con la bahía de San Juan.

CANAL SAN ANTONIO

El canal San Antonio (114 acres) conecta con la bahía de San Juan al oeste y con la laguna del Condado al este. Este canal se extiende por 1.2 millas (2 km) en las que se sitúa un sinnúmero de facilidades portuarias y marinas recreativas. Las actividades de dragado y relleno en este canal aumentaron a principios del siglo XX, intensificándose para la década de 1950. Estas actividades



transformaron el cuerpo de agua de un canal estrecho, bordeado de manglares y con meandros naturales, a un canal profundo y directo, bordeado principalmente por estructuras y muros de contención. No obstante, en su fondo aún encontramos herbazales marinos que sirven de hábitat para múltiples especies. Igualmente, en sus aguas se observan mamíferos marinos como el manatí antillano y los delfines.

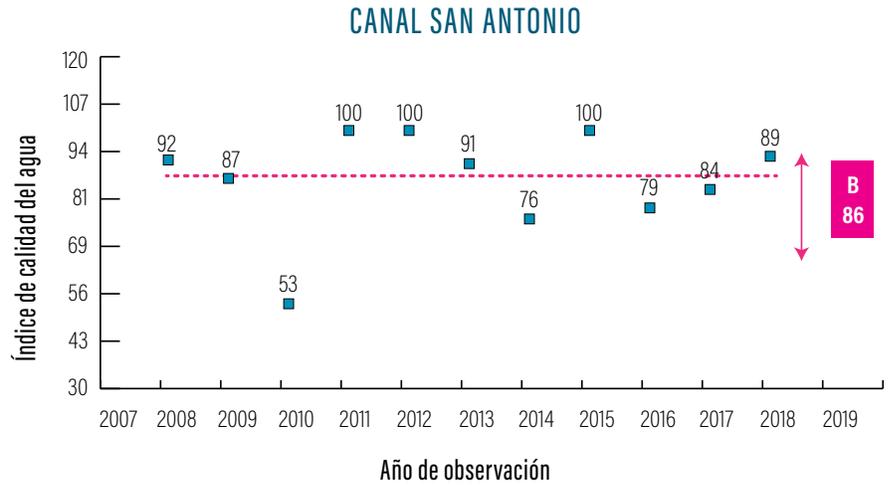


Figura 5. Serie de tiempo para el canal San Antonio. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.

LAGUNA DEL CONDADO

La laguna del Condado cubre un área de aproximadamente 102 acres (0.42 km²) en la región noreste del estuario de la bahía de San Juan. Se conecta con el océano Atlántico en el área conocida como El Boquerón, al este del fuerte de San Gerónimo, y con la bahía de San Juan por el oeste, a través del canal San Antonio. Esta laguna, parcialmente rodeada de hoteles y condominios residenciales en su costa norte, tiene una playa arenosa de uso recreativo, ubicada también en el norte, y franjas de mangle en el noreste y sureste. Según registros oficiales, la laguna del Condado fue el primer cuerpo de agua impactado y alterado por los humanos en todo el sistema estuarino. No obstante, hoy contiene la más alta diversidad de especies acuáticas del sistema, sustentando además actividades recreativas y económicas de importancia. Por esta razón, en el año 2013 fue designada como reserva natural mediante la Ley Núm. 112-2013.

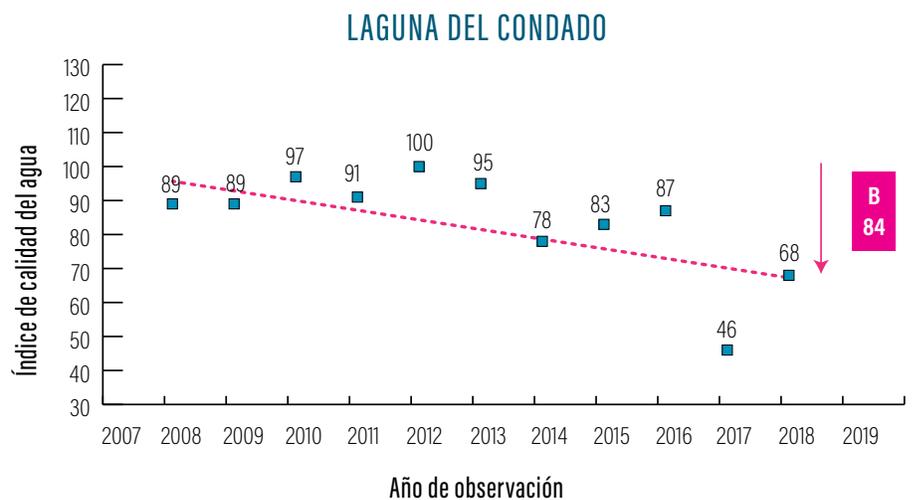


Figura 6. Serie de tiempo para la laguna del Condado. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro. Obsérvese el descenso en el índice de calidad del agua a partir de 2017, posiblemente como resultado del impacto del huracán María.



CANAL LA MALARIA



El canal La Malaria fue construido por el Ejército de Estados Unidos en la década de 1930 para drenar la ciénaga Las Cucharillas y controlar la propagación del mosquito que transmite la malaria. Este mosquito —del género *Anopheles*— encuentra condiciones ideales de reproducción en los humedales, de ahí que a esta enfermedad también se le llame paludismo, del latín *palus*, que significa precisamente ‘ciénaga’. Por eso, una de las estrategias principales para lograr el objetivo era drenar los humedales. Además, con el canal se pretendía res-

catar los terrenos de la ciénaga y construir el fuerte militar Buchanan. Hoy, la calidad de sus aguas se ve afectada por descargas de aguas sanitarias sin tratar, como, por ejemplo, los desbordamientos de pozos sépticos domésticos. El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales opera una casa de bombas en este canal para controlar los niveles de agua en la ciénaga y evitar inundaciones en comunidades aledañas, como Juana Matos en Cataño.

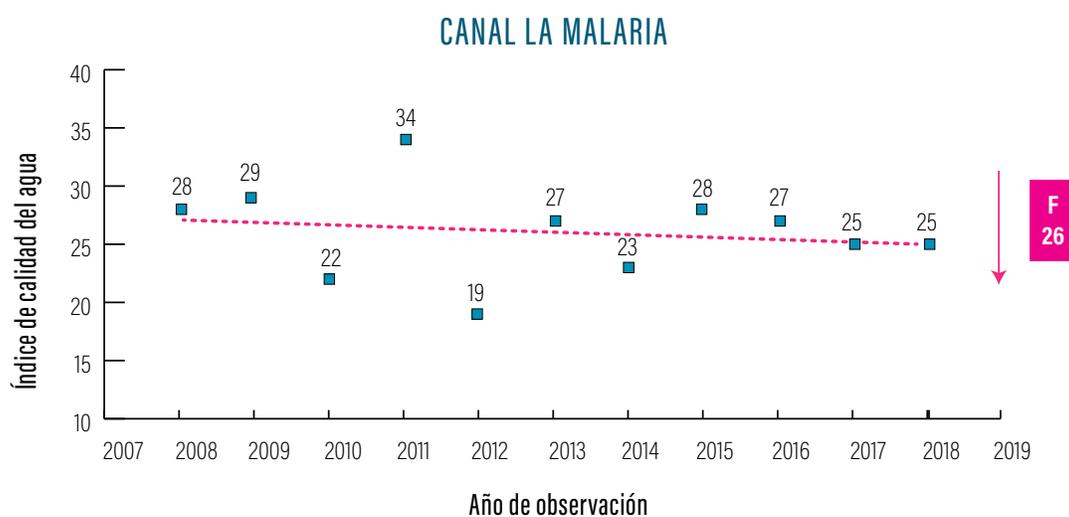


Figura 7. Serie de tiempo para el canal La Malaria. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.

PENÍNSULA LA ESPERANZA/BAY VIEW



ESTUARIO

Este punto de monitoreo se encuentra en la salida de las aguas del canal La Malaria, después de la estación de bombas de la urbanización Bay View, en el municipio de Cataño. La península La Esperanza se construyó con material de dragado de los canales de navegación de la bahía de San Juan en la década de 1960. Su objetivo era proteger el litoral de Bay View de la acción y erosión de las olas. No obstante, las fuerzas del litoral —como las olas, el viento y las corrientes— unieron las dos islas artificiales inicialmente construidas, formando lo que hoy conocemos como la península La Esperanza. Esta península tiende a migrar, acercándose a la línea de costa de Cataño y formando un gancho que afecta la circulación del agua dentro de la ensenada llana. Dicho fenómeno afecta la calidad del agua, pues evita la buena circulación, secuestrando así contaminantes y sedimentos provenientes del canal La Malaria.



PENÍNSULA LA ESPERANZA / BAY VIEW

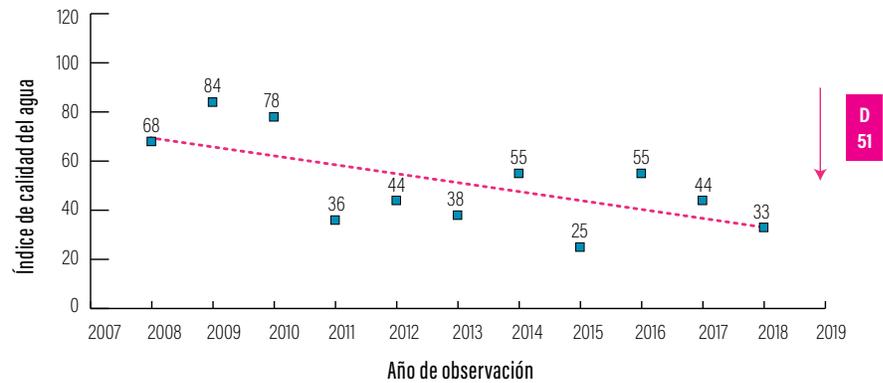


Figura 8. Serie de tiempo para la península La Esperanza/Bay View. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.

LAGUNA LA TORRECILLA



La laguna La Torrecilla (608 acres) recibe agua del océano Atlántico a través de una estrecha salida en Boca de Cangrejos y está mayormente rodeada de manglares. Con una superficie de 608 acres (246 ha), es el tercer cuerpo de agua de mayor extensión en todo el sistema estuario. Está localizada en una planicie de inundación importante y posee casi todos los tipos de humedales emergentes hallados en Puerto Rico. Junto con el Bosque de Piñones, la laguna La Torrecilla alberga el bosque de mangle más grande de la isla.

LAGUNA LA TORRECILLA

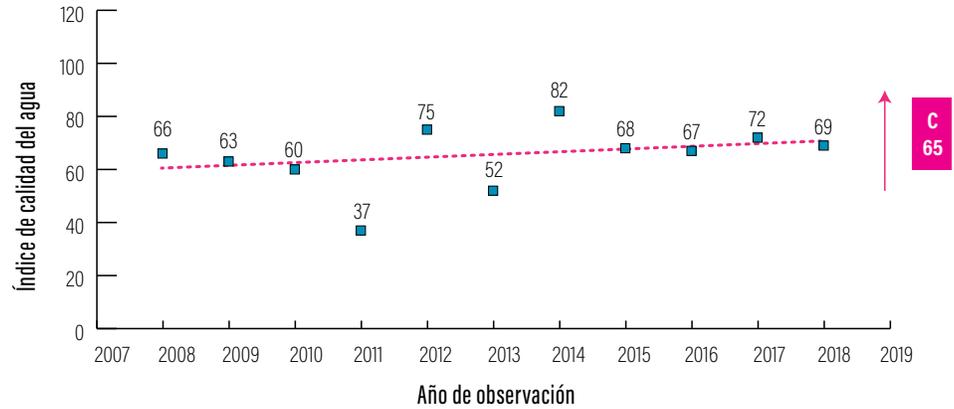


Figura 9. Serie de tiempo para la laguna La Torrecilla. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.

CANAL BLASINA



El canal Blasina es un cuerpo de agua dulce que se extiende por unos 6 km desde la carretera PR-3 hasta su punto de descarga en la laguna La Torrecilla, al sur. Su área de captación es de aproximadamente 22 km² y recoge aguas de escorrentías del casco urbano de Carolina. En el sistema se detectan con frecuencia descargas no autorizadas de aguas sanitarias sin tratar, lo que impacta seriamente la calidad de sus aguas. El canal Blasina está canalizado en algunos segmentos, excepto en los márgenes bordeados por manglar que conducen hacia la laguna La Torrecilla.

CANAL BLASINA

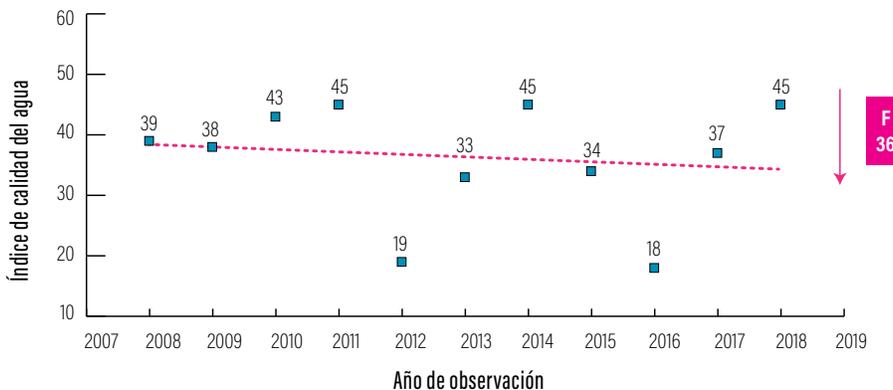
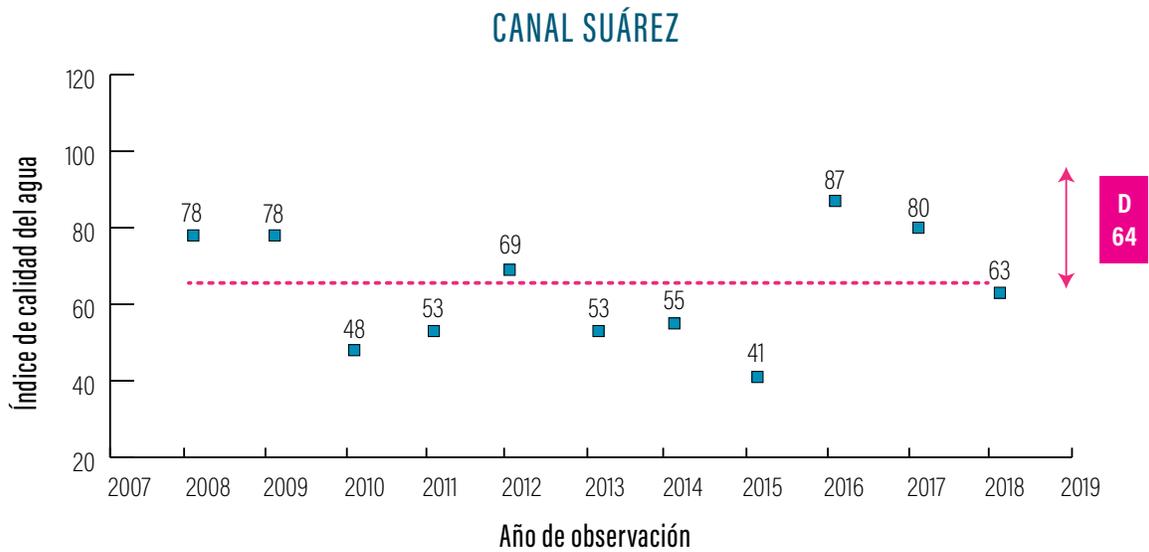


Figura 10. Serie de tiempo para el canal Blasina. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.



El canal Suárez (63 acres) se extiende a lo largo de unas 2.4 millas (3.9 km). Conecta la laguna San José con la laguna La Torrecilla y está poblado en su mayoría por manglares, con humedales herbáceos adyacentes. Hasta el siglo XIX, a este cuerpo de agua se le conocía como el canal de la Pasa. Entre 1820 y 1830 fue dragado con equipo rudimentario para permitir el intercambio comercial y la venta de productos agrícolas entre el valle aluvial del río Grande de Loíza y la isleta de San Juan. Las dimensiones actuales del canal Suárez son producto de las actividades de dragado realizadas entre 1962 y 1967. Hoy en día, como resultado del cierre parcial del caño Martín Peña, este canal es el medio principal de intercambio y reemplazo de aguas de las lagunas San José y Los Corozos.

Figura 11. Serie de tiempo para el canal Suárez. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.





LAGUNAS SAN JOSÉ Y LOS COROZOS



LAGUNA SAN JOSÉ

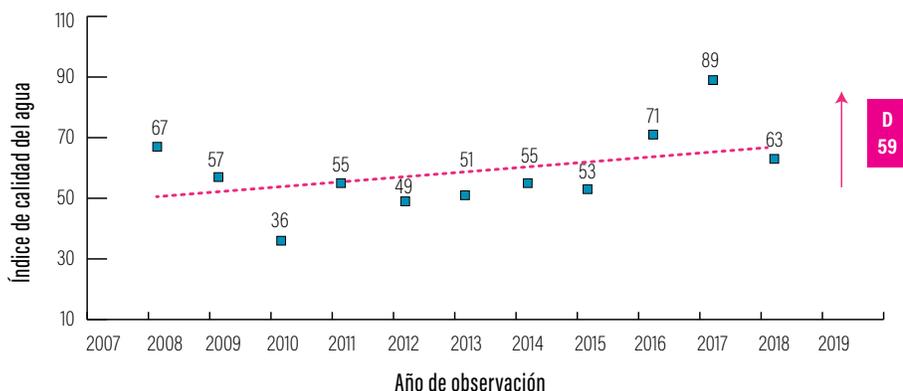


Figura 12. Serie de tiempo para la laguna San José. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.

LAGUNA LOS COROZOS

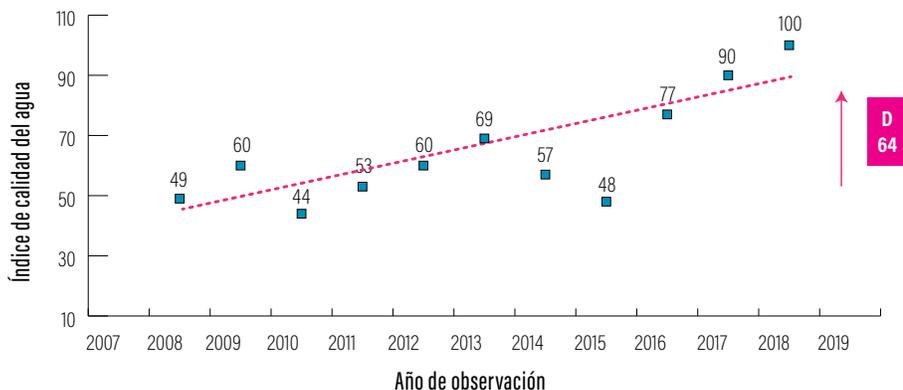


Figura 13. Serie de tiempo para la laguna Los Corozos. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.

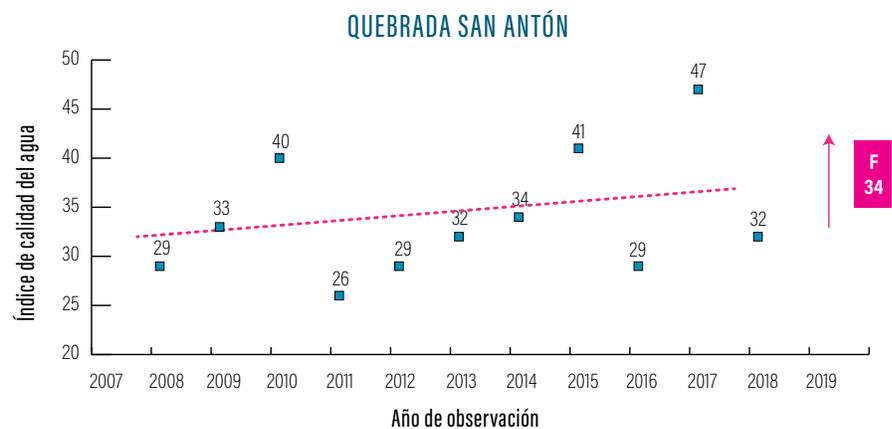
Las lagunas San José y Los Corozos (1129 acres) están localizadas en el centro del sistema estuarino y ocupan aproximadamente 1,129 acres (475 ha). Al no tener una salida directa al océano Atlántico, estas lagunas son las menos influenciadas por las mareas. Además, en el segmento este —hacia el caño Martín Peña— el intercambio de agua está seriamente limitado por la acumulación de basura, la sedimentación y el crecimiento de maleza acuática. La laguna Los Corozos se encuentra hacia el noroeste y recibe descargas directas de la estación de bombas de la avenida Baldorioty de Castro. La laguna San José, por su parte, sustenta una de las mejores pescas recreativas en Puerto Rico, ya que en sus aguas se practica la pesca y liberación del sábalo (*Megalops atlanticus*), una especie de gran valor deportivo por la intensa pelea y el alto reto que ofrece al pescador. Las lagunas San José y Los Corozos intercambian sus aguas con el océano Atlántico a través del canal Suárez.

QUEBRADA SAN ANTÓN

La quebrada San Antón es uno de los cuerpos de agua que descargan hacia la laguna San José. Esta comienza en Trujillo Alto y capta las aguas de escorrentía de los municipios de San Juan y Carolina. Parte de la quebrada San Antón está canalizada hasta el área que conecta con la porción sureste de la laguna San José, que está bordeada por manglares. La calidad de su agua se encuentra comprometida por la presencia periódica de descargas con altos niveles de sedimentos. Es común observar peces, aves como la gallareta común y tortugas de agua dulce.



Figura 14. Serie de tiempo para la quebrada San Antón. La línea entrecortada y la flecha muestran la tendencia de la serie. El índice de calidad del agua y la calificación promedio de la serie de 10 años se indican en el recuadro.



Conclusión

Como es posible observar, el análisis de las series de tiempo presenta escenarios variados. Por ejemplo, la calidad del agua se ha mantenido estable en algunos cuerpos de agua, como la bahía de San Juan, el canal San Antonio y el canal Suárez (figuras 2, 5 y 11, respectivamente). En otros casos, la calidad del agua exhibe un cierto grado de mejoría, como en el caño Martín Peña, la laguna La Torrecilla, la laguna San José, la laguna Los Corozos y la quebrada San Antón (figuras 3, 9, 12, 13 y 14, respectivamente). Para algunos cuerpos de agua, por el contrario, la salud acuática se ha deteriorado con el tiempo, como ocurre en la laguna del Condado (figura 6), el canal La Malaria (figura 7), la península La Esperanza/Bay View (figura 8) y el canal Blasina (figura 10). Según nuestro análisis, la calidad del agua ha mejorado en el 40 % de los cuerpos de agua estudiados

en el estuario de la bahía de San Juan, mientras que se ha deteriorado en el 40 % de dichos cuerpos y se ha mantenido igual en el 20 % de ellos.

Por consiguiente, es imperativo y urgente eliminar todas las fuentes dispersas y precisas de aguas sanitarias sin tratar, así como mantener en buen estado los sistemas de recolección de aguas sanitarias y pluviales. Sobre todo, es sumamente importante educar a la ciudadanía y al comercio sobre lo que no se debe desechar por las alcantarillas pluviales y sanitarias.

El PEBSJ agradece a todos los voluntarios por su participación en este programa y a la Agencia de Protección Ambiental por proveer los fondos bajo la sección 320 de la Ley de Agua Limpia federal.



ESTUARIO



PRESENCIA DE *ENTEROCOCCUS SP.* EN LA RESERVA NATURAL ESTUARINA DE LA LAGUNA DEL CONDADO Y SU RELACIÓN CON EVENTOS DE PRECIPITACIÓN

POR HAROLD MANRIQUE HERNÁNDEZ

El 30 de septiembre de 2013, el ecosistema natural de la laguna del Condado se designó como Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado (figura 1). A partir de su plan de manejo y conservación de la reserva, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) inició un novedoso programa de monitoreo de calidad del agua y notificaciones públicas con el fin de promover el uso recreativo saludable del ecosistema. Desde 2014, el personal del PEBSJ recolecta y analiza muestras de agua semanalmente para evaluar la presencia de bacterias fecales en cinco localizaciones de alto uso recreativo en la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado.

Tras el paso del huracán María en septiembre de 2017, ampliamos nuestros esfuerzos incorporando seis estaciones de monitoreo localizadas en playas del litoral norte de la cuenca hidrográfica del PEBSJ (figura 2). La acción estuvo motivada por la emergencia sanitaria ocasionada por el colapso de la infraestructura sanitaria y pluvial luego del evento atmosférico. El huracán afectó 22 de las 52 plantas de tratamiento de aguas residuales, que quedaron sin funcionamiento por falta de energía eléctrica o daños en la estructura física. También dejó fuera de servicio 220 de las 714 estaciones de bombeo de aguas sanitarias (Ávila Claudio, 2018). A esta problemática se sumaron averías en troncales, tuberías menores y otros tipos de infraestructura. Los fallos en el sistema sanitario provocaron desbordamientos de aguas sanitarias cuyo recorrido finaliza en los cuerpos de agua más cercanos. La integridad ecológica de los ecosistemas estuarinos se vio afectada tras el evento atmosférico, ya

Figura 1. Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado

que estos ecosistemas se nutren de ríos y escorrentías que, en ese momento, transportaban aguas severamente contaminadas (figura 3). Un ejemplo es la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado, que está rodeada por una intensa cobertura urbana. Históricamente, la reserva ha sido impactada por aguas sanitarias (figura 4). Tras el paso del huracán María, el PEBSJ procedió a evaluar la presencia de bacterias fecales en la reserva y los ecosistemas costaneros a fin de estudiar el impacto del evento atmosférico y, a la vez, reducir el riesgo de problemas de salud por contacto con aguas contaminadas.

Las bacterias fecales son una de las principales causas de los problemas de calidad del agua en los ecosistemas estuarinos de Estados Unidos (Office of Water, 2004). La Agencia de Protección Ambiental (EPA) recomienda el uso del grupo de bacterias fecales *Enterococcus sp.* como indicador de calidad del agua en ecosistemas marinos. Este grupo de bacterias se encuentra en el intestino humano y su presencia en cuerpos de agua es indicador de patógenos que podrían poner en riesgo la salud humana. El PEBSJ analiza semanalmente la concentración de *Enterococcus sp.* a través del método IDEXX's Quanti-Tray, aprobado por la EPA (United States Environmental Protection Agency, 2003), que consiste en un proceso de dilución en serie y proporciona resultados en 24 horas (bajo la métrica del número mínimo probable). La presencia de bacterias fecales en los cuerpos de agua depende de nume-

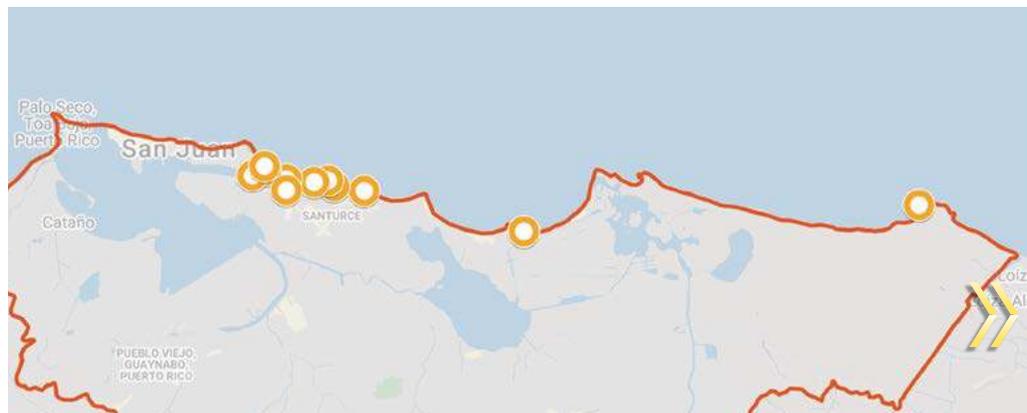


Figura 2. Mapa (no oficial) de estaciones de monitoreo bajo el Programa de Monitoreo Bacteriológico y Notificación Pública. Las estaciones de color naranja fueron las que se utilizaron para el análisis presentado en este informe.



Figura 3. Escorrentía pluvial hacia la laguna del Condado

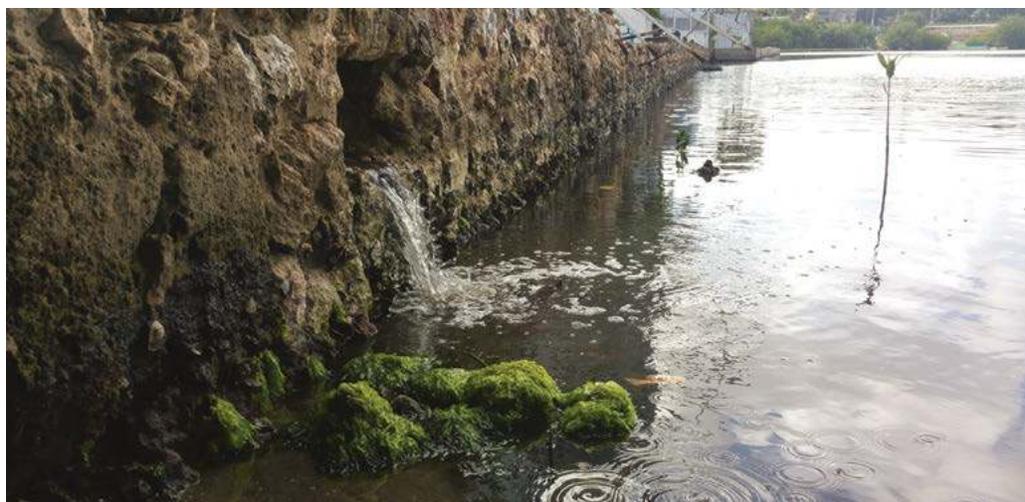


Figura 4. Descarga hacia la laguna del Condado



rosos factores ambientales, entre ellos el cambio en el flujo de agua causado por eventos de precipitación.

Los cambios en los patrones climáticos tienen una influencia en la calidad del agua que se agrava en los ecosistemas costeros urbanos. La escorrentía, la resuspensión de sedimentos y los desbordamientos de sistemas sanitarios causados por eventos de precipitación pueden contribuir a un aumento en la presencia de patógenos en aguas superficiales. Hay estudios que correlacionan significativamente la presencia de bacterias con la precipitación y el aumento en el flujo de agua en los ecosistemas estuarinos (Ferguson *et al.*, 1996; Noble *et al.*, 2003; Santiago Rodríguez *et al.*, 2012; Shehane *et al.*, 2005). El siguiente estudio utiliza datos de precipitación como variable climática para estudiar la variabilidad en la presencia de *Enterococcus sp.* antes y después del paso del huracán María en Puerto Rico. Se seleccio-

naron los datos referentes al día previo al monitoreo (24 horas antes), los cuales fueron facilitados por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) a través de su portal del Centro Nacional para la Información Ambiental. Los datos se adquirieron en dos estaciones climáticas (Toa Baja: IDRQC00669415 y San Juan: IDRQW00011641) elegidas por su cercanía a los ecosistemas costeros bajo estudio y se dividen en dos períodos: antes de María (junio a agosto de 2017) y después de María (octubre a diciembre de 2017).

La gráfica de la figura 5 resume los datos bacteriológicos recopilados durante el período de estudio (junio a diciembre de 2017) y los distribuye sobre los datos de precipitación. Utilizamos dos de las 11 estaciones disponibles (figura 2) en la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado debido al límite de recursos disponibles para realizar el análisis bacteriológico en el momento

Precipitación y presencia de *Enterococcus sp.* en la Reserva Estuariana de la Laguna del Condado: antes y después del huracán María

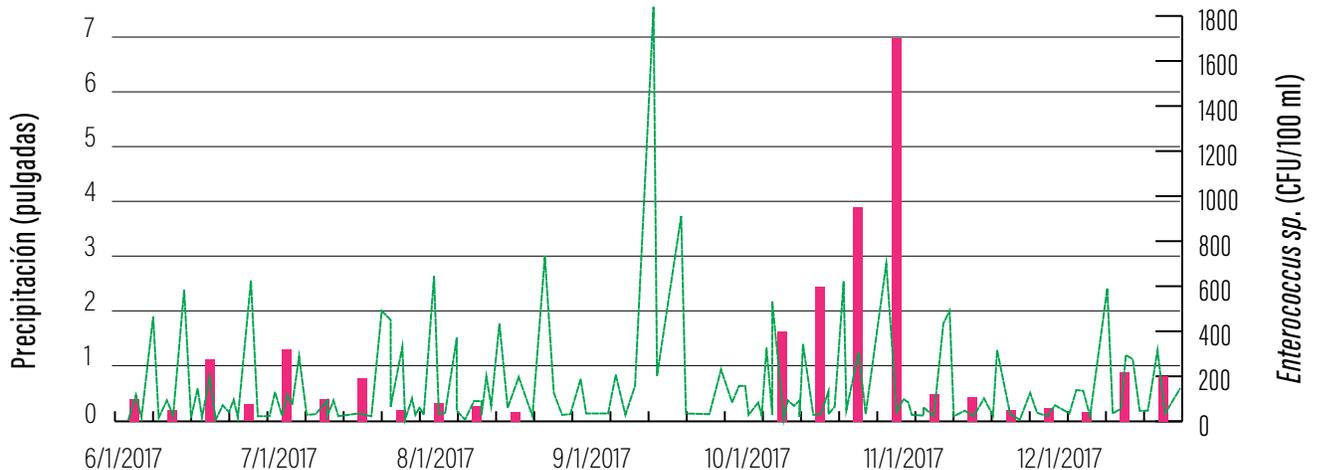
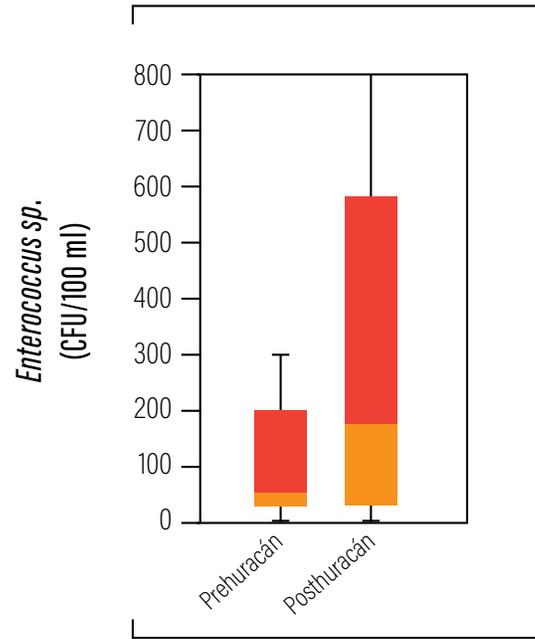


Figura 5. Precipitación y presencia de *Enterococcus sp.* en la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado: antes y después del huracán María. El primer eje de y resume los datos de precipitación (pulgadas) y el segundo eje de y muestra los datos de *Enterococcus sp.* (CFU/100 ml). El pico más alto observado en los datos de precipitación es referente al huracán María.

en que se reanudaron los esfuerzos de monitoreo tras el paso del huracán María. Combinamos los datos de ambas estaciones (media geométrica) a fin de obtener un solo valor representativo para el ecosistema estuarino. Dividimos el conjunto de datos en dos partes: antes del huracán y después del huracán. La media geométrica antes del huracán fue de 47 colonias en 100 ml de muestra (CFU/100 ml), mientras que después del huracán fue de 150 CFU/100 ml. No obstante, al realizar un análisis estadístico, no hallamos diferencias estadísticamente significativas ($H: 1.90$, $p\text{-value}: 0.16$, Kruskal-Wallis) entre ambos conjuntos de datos (figura 6).

Figura 6. Diagrama de caja con las medias de *Enterococcus sp.* en el ecosistema estuarino antes y después del huracán María. La línea horizontal dentro de las cajas muestra la media geométrica.



La gráfica de la figura 7 muestra una correlación positiva, pero significativamente leve ($R^2 = 0.504$), entre los datos de precipitación y la concentración de colonias de *Enterococcus sp.* en la reserva estuarina. Estos resultados reflejan un efecto de la precipitación sobre la presencia microbiana en la laguna. Sin embargo, revelan que otros factores también deben alterar los patrones observados. El sistema ecológico de la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado es uno complejo debido a la alta cobertura urbana que lo rodea. Dicha complejidad podría indicar que una sola variable, como la precipitación, no es suficiente para determinar cambios en la presencia de *Enterococcus sp.* en el cuerpo de agua bajo estudio. Han de tomarse en consideración factores temporales, espaciales y ambientales

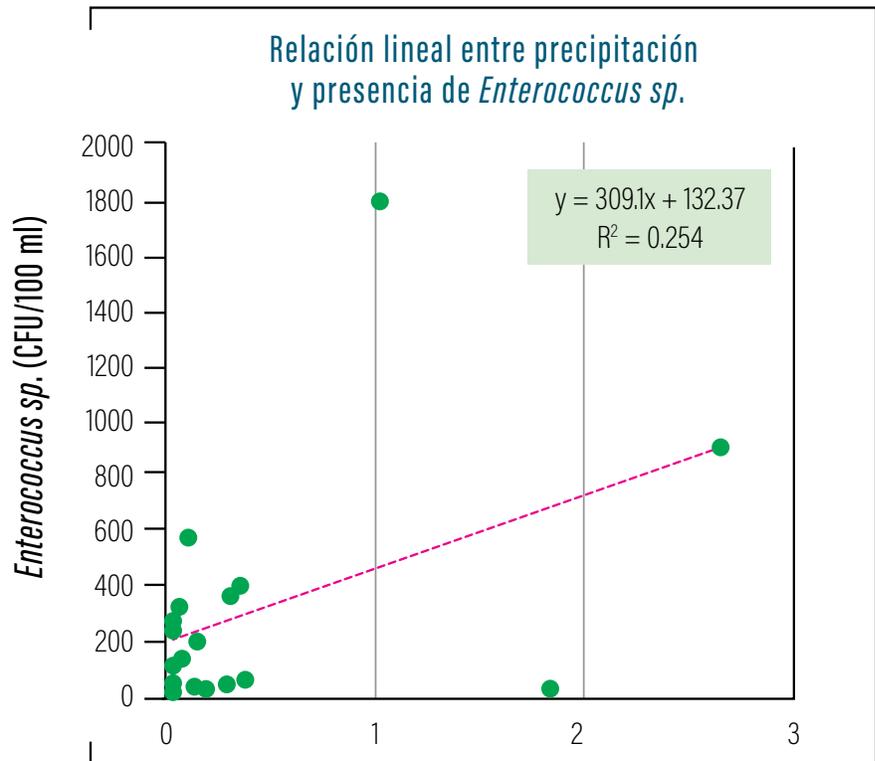


Figura 7. Regresión lineal y correlación entre datos de precipitación y concentración de colonias de *Enterococcus sp.* en la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado

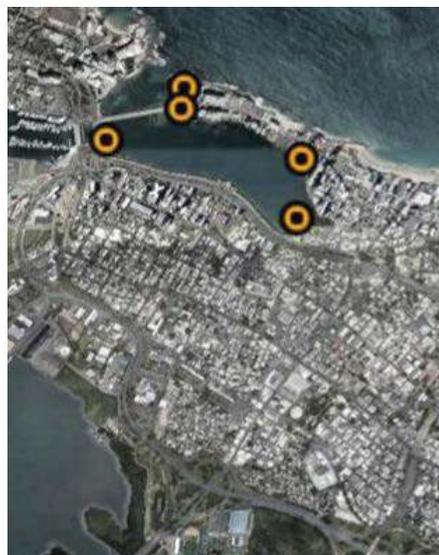


Figura 8. Voluntaria del Programa de Monitoreo de Calidad de Agua

(Kistemann *et al.*, 2002). Las mareas, las corrientes y la intensidad de los eventos de precipitación pueden aumentar o disminuir (por dilución) la presencia microbiana en cuerpos acuáticos (French, 2012). Ciertos estudios han demostrado que la precipitación por sí misma no es suficiente para determinar o predecir cambios en la

presencia de bacterias (Shehane *et al.*, 2005). De hecho, en algunos casos, no necesariamente conlleva un aumento en la presencia de bacterias como *Enterococcus sp.* (Santiago Rodríguez *et al.*, 2012). Todo ecosistema bajo evaluación se debe estudiar a nivel especial (por ejemplo, cuenca hidrográfica) tomando en consideración los factores estructurales que lo rodean.

deben estar influenciando la presencia microbiana. Los datos históricos del Programa de Monitoreo de Calidad de Agua mensual con voluntarios del PEBSJ (2010 al presente) han revelado la presencia de *Enterococcus sp.* y coliformes fecales en la zona noreste de la reserva. Por otra parte, los datos del monitoreo bacteriológico semanal (2014 al presente) revalidan la problemática en esta zona. El equipo de evaluación ambiental del PEBSJ ha identificado posibles fuentes de contaminación acentuadas por una combinación entre el aumento en el nivel de agua de la laguna principal y los problemas en la infraestructura sanitaria de la zona. Nuestro equipo mantiene su compromiso de seguir identificando, evaluando y corrigiendo los problemas que afectan la integridad ecológica y el uso recreativo de la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado.



La complejidad de la cobertura urbana en la zona del Condado tiene un efecto negativo sobre la calidad del agua en la reserva estuarina. Comprobamos que la presencia de *Enterococcus sp.* aumenta en la laguna del Condado luego de eventos de precipitación. Sin embargo, no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre las medias geométricas del conteo de bacterias antes y después del huracán María. Por lo tanto, otros factores locales

Recomendaciones

1. Fomentar la ciencia ciudadana para ampliar nuestros estudios y análisis incluyendo lo siguiente:

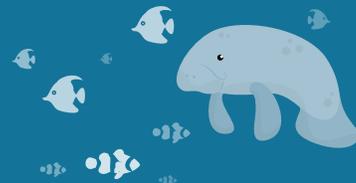
- (a) Factores ambientales: corrientes y mareas.
- (b) Parámetros de calidad del agua: nutrientes como el nitrógeno y los fosfatos, turbidez y temperatura del agua.
- (c) Variables climáticas: intensidad de la lluvia, tiempo transcurrido entre el evento de lluvia y el monitoreo, epi-

sodios de lluvia previos al monitoreo. Llevar a cabo un monitoreo durante el evento de precipitación.

- 2. Continuar nuestros esfuerzos por mejorar la infraestructura sanitaria en las áreas que circundan la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado.
- 3. Proseguir con el Programa de Monitoreo Bacteriológico y Notificación Pública, que no solo evalúa la Reserva Natu-

ral Estuarina de la Laguna del Condado, sino también otras seis estaciones localizadas en el litoral norte de la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan. Estos resultados se presentan en nuestras redes sociales y nuestro sitio web: estuario.org. En la reserva se estableció un letrero informativo con bandera que indica el estatus de la calidad del agua con respecto a la presencia de *Enterococcus sp.*

RESERVA ESTUARINA DE LA LAGUNA DEL CONDADO



¿Cómo está la calidad del agua?

Mediante el **Monitoreo de Calidad de Agua semanal**, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan rastrea la presencia de enterococos en este cuerpo de agua. Enterococos es un género de bacterias y su presencia es indicador de patógenos que podría poner en riesgo su salud a través de enfermedades gastro-intestinales, problemas respiratorios e infecciones.



Resultados disponibles; Results available at: facebook.com/estuariosanjuan

Through its **weekly Water Quality Monitoring**, the San Juan Bay Estuary Program tracks the **Condado Lagoon Estuarine Reserve** for enterococcus presence in its water. Enterococcus is a genus of bacteria and its presence is an indicator of pathogens associated to health hazards such as gastro-intestinal, respiratory illnesses and infections.



Condición favorable para uso recreativo del agua.
Water condition suitable for recreational use.



ATENCIÓN: Presencia de enterococos ha excedido los parámetros de calidad de agua.
CAUTION: Enterococcus presence has exceeded water quality parameters.

*Estándar de calidad de agua para Puerto Rico. Beach Action Value, Agencia de Protección Ambiental.

*Puerto Rico Water Quality Standard Regulation. Beach Action Value, Environmental Protection Agency.

ESTUARIO



PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

3-1-1 Para preguntas o radicar una querrela, llama a Tu Línea de Servicios de Gobierno 3-1-1. [@estuariosanjuan](https://www.facebook.com/estuariosanjuan) www.estuario.org (787) 725-8165



Figura 9. Letrero informativo en la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado



ESTUARIO



IMPACTO DEL HURACÁN MARÍA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS RÍOS Y QUEBRADAS DE LA CUENCA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

POR GUSTAVO A. MARTÍNEZ RODRÍGUEZ Y LUIS R. PÉREZ ALEGRÍA

Si usted reside en la zona metropolitana de San Juan, probablemente viva a pasos de un río o una quebrada. De hecho, aunque la mayoría de sus habitantes lo desconoce, el 76 %¹ de las unidades de vivienda de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan (que abarca gran parte del área metropolitana) están ubicadas a menos de 300 metros de un cuerpo de agua. La cuenca hidrográfica de la bahía de San Juan tiene una extensión territorial de 88 millas cuadradas y comprende gran parte del municipio de San Juan, así como partes de los municipios de Carolina, Loíza, Guaynabo, Bayamón, Cataño y Trujillo Alto. Esta cuenca tiene aproximadamente 120 millas de ríos y quebradas que discurren cual sistema arterial por todo su territorio e influyen continuamente sobre nuestro quehacer diario.

El huracán María tuvo un efecto devastador en la integridad de los ecosistemas naturales (bosques, costas, ríos y quebradas). Miles de toneladas de desperdicios sólidos y residuos vegetativos fueron arrastrados a nuestros ríos, obstruyeron su flujo e impactaron severamente la calidad del agua². De igual forma, miles de galones de aguas servidas, es decir, sanitarias, se descargaron diariamente en nuestros ríos debido a fallas en la infraestructura y al colapso de los sistemas sanitarios. Esta inyección masiva de contaminantes durante un período prolongado causó un deterioro significativo en la calidad del agua y generó mucha preocupación sobre su impacto en la salud humana.

La topografía de nuestra isla es altamente irregular, con montañas y valles entremezclados que representan un reto para el diseño y establecimiento de la infraestructura pluvial y sanitaria. En el caso específico

¹ Datos del Censo 2010.

² La calidad del agua es la evaluación de las condiciones químicas, físicas y biológicas de un cuerpo de agua para satisfacer los usos que la sociedad ha designado a ese recurso. Cuando hablamos de calidad del agua, debemos especificar el uso para el cual se hace esta determinación. Por ejemplo, no es lo mismo la calidad del agua para propósitos de agua potable que para riego agrícola. Considerando lo anterior, en el contexto específico de este escrito nos referimos a la calidad del agua desde el punto de vista ecológico y de su potencial impacto en la salud y la calidad de vida de los habitantes de la zona.

del manejo de aguas servidas, la topografía irregular exige el establecimiento de múltiples estaciones de bombeo o estaciones de bombas de aguas servidas (EBAS). Dichas estaciones transfieren diariamente cientos de miles de galones de aguas servidas, desde zonas bajas hasta zonas más altas, en su recorrido hacia una planta de tratamiento. La cuenca del estuario de la bahía de San Juan cuenta con 74 EBAS que dependen de la energía eléctrica para su operación (figura 7). Tras el paso del huracán María, la infraestructura eléctrica de Puerto Rico colapsó y con ella colapsaron gran parte de las EBAS, que en ese momento no contaban con generadores de electricidad alternos. Durante el período de tiempo que transcurrió entre el colapso del sistema eléctrico y el proceso de habilitación de las EBAS con generadores de electricidad alternos, millones de galones de aguas servidas crudas se descargaron en nuestros ríos y costas. Si a esta situación le sumamos contribuciones adicionales por líneas sanitarias colapsadas debido a derrumbes o colapsos en las líneas de transmisión, se vuelve evidente la magnitud de la catástrofe ambiental experimentada en la isla.

Justo un mes después del paso del huracán, nuestro equipo de investigación se lanzó a la calle para documentar el estado de los ríos y quebradas de la cuenca del estuario de San Juan. Como primer paso, realizamos un muestreo sinóptico en 19 puntos de referencia demarcados por un triángulo imaginario (Carolina - Cataño - Cupey) cuya ubicación nos ofrecía una imagen instantánea de la



Figura 1. Quebrada Buena Vista en la Urbanización Villamil en San Juan



Figura 2. Tributario de la quebrada Juan Méndez en el Condominio Park Gardens en Trujillo Alto

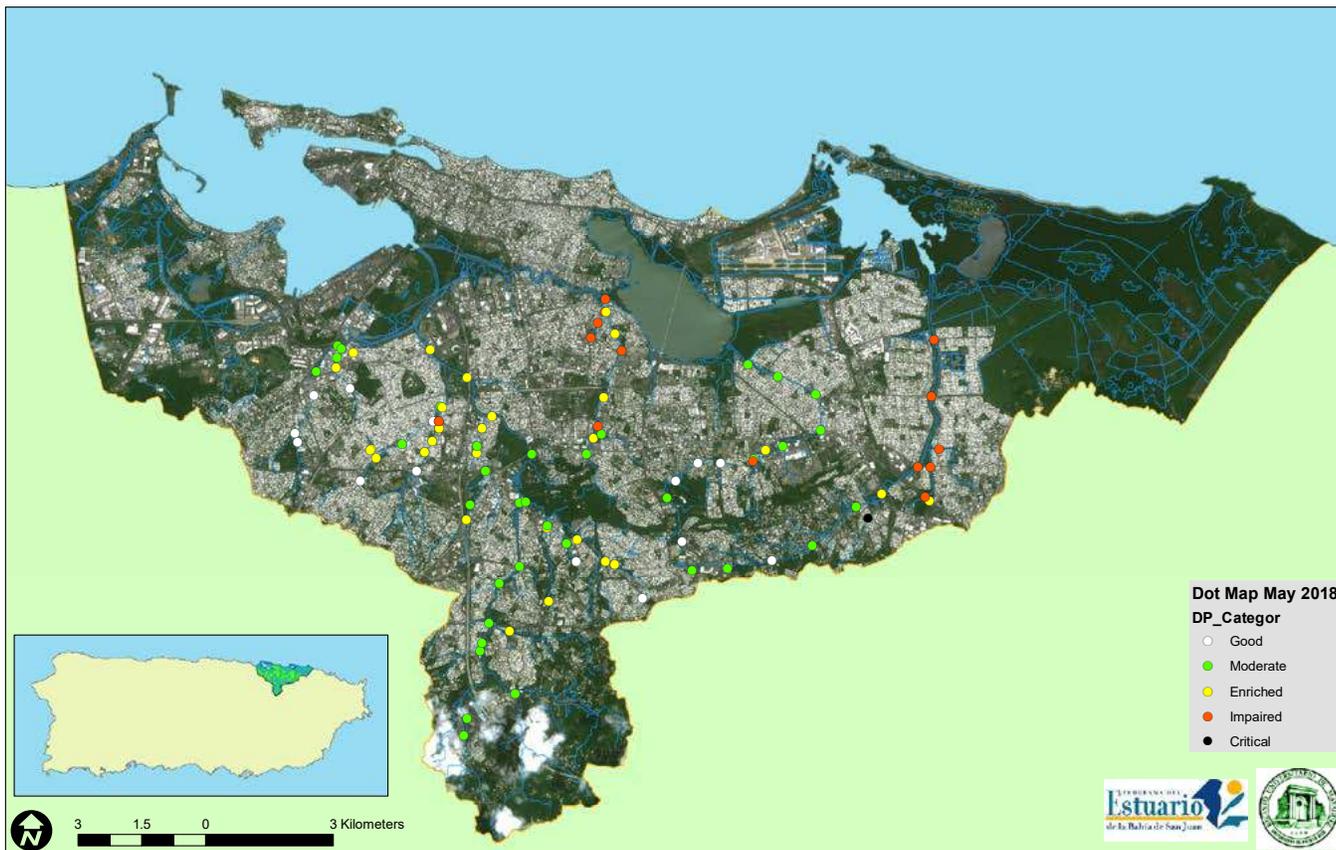


Figura 3. Concentración de fósforo disuelto (DP) en estaciones de diagnóstico de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan en muestras tomadas en mayo de 2018

condición global de los ríos en la cuenca³. El 100 % de las muestras arrojó positivo para la presencia del gen HF-183, confirmando el escenario previsto a raíz del colapso de la infraestructura sanitaria (figura 5). De igual forma, debido a la preocupación por la supuesta presencia de la bacteria *Leptospira spp.* en las aguas, las muestras también se analizaron para determinar la presencia de la lipoproteína leptospiral LipL32 (figura 6). Cinco de las 19 muestras (26 %) resultaron positivas para LipL32, validando la preocupación de la ciudadanía sobre la posibilidad de contagio de leptospirosis (se desconoce si los resultados eran un reflejo del impacto del huracán o de una condición previa prevalente en esas zonas). Finalmente, se analizaron muestras de varios manantiales naturales u oasis comunitarios que, ante la escasez de agua potable, constituían la fuente principal de este preciado líquido para nuestros habitantes. Dos de los sistemas evaluados produjeron resultados inconclusos (*borderline*) para la presencia del gen HF-183 y uno

de los sistemas reflejó la presencia de LipL32. Es importante desarrollar una respuesta estructurada para afrontar este tipo de embate natural de manera que se proteja en todo momento la seguridad de nuestra ciudadanía (véanse las recomendaciones puntuales al final del escrito).

Ante el reconocimiento de la multiplicidad de descargas sanitarias que ocurrían a lo largo de toda la zona, transcurridas las primeras seis semanas modificamos nuestro enfoque para implementar una estrategia diseñada para identificar descargas sanitarias críticas específicamente en zonas metropolitanas. Dicha estrategia, desarrollada como parte de un esfuerzo colaborativo entre nuestro equipo de investigación y la Corporación del Estuario de la Bahía de San Juan, había entrado en vigor escasamente cinco meses antes del huracán y enfrentaba ahora su gran prueba de validación y efectividad. Para propósitos del estudio, definimos las descargas sanitarias críticas de la siguiente manera:

³ Las muestras fueron analizadas por el Dr. Dave Bacooh de Georgia College & State University para un marcador molecular (HF-183) que permite distinguir las aportaciones fecales humanas de contribuciones fecales de origen animal.

1. Descargas continuas de gran magnitud que surgen por eventos catastróficos (por ejemplo, huracanes y tormentas).
2. Descargas recurrentes de gran magnitud que surgen por fallas en infraestructura provocadas por prácticas culturales incorrectas (por ejemplo, disposición de grasas y aceites o disposición de desperdicios sólidos, como ropa, enseres, etc., por el sistema sanitario) o por el colapso de líneas debido a agotamiento estructural (antigüedad de las líneas, etc.).
3. Descargas de gran magnitud que ocurren fuera de la vista del público (por ejemplo, tuberías soterradas y descargas a campo traviesa) y que pueden pasar desapercibidas durante muchos años.

La estrategia se fundamenta en el establecimiento de una red de estaciones de diagnóstico ubicadas mediante un análisis de la hidrología y la cubierta de terrenos a nivel de subcuenca. Antes del huracán, dividimos nuestra área de estudio en 12 subcuencas (36.24 millas cuadradas) donde situamos, mediante el análisis previamente descrito, 103 estaciones de diagnóstico. El proceso de diagnóstico se basa en indicadores de fácil análisis de forma tal que la evaluación sea ágil y costoefectiva. En nuestro caso utilizamos dos indicadores químicos [fósforo disuelto (DP) y nitrógeno amoniacal disuelto (DN)] y un indicador biológico (enterococos). Tanto el fósforo como el nitrógeno son constituyentes primarios de la dieta humana y, por ende, están presentes en concentraciones significativas en las heces fecales, mientras que los enterococos se utilizan rutinariamente como indicadores de la presencia

de material fecal humano en análisis de cuerpos de agua. Un asunto clave en la implementación de esta estrategia es la identificación, para cada indicador, de concentraciones umbrales que permitan identificar la presencia de una descarga sanitaria significativa. En nuestro caso, para determinar los niveles umbrales consideramos: 1) la distribución poblacional de valores para cada indicador, 2) la relación entre fósforo disuelto y amonio disuelto y 3) nuestra experiencia en este campo. Las concentraciones mayores que las establecidas por los umbrales críticos para cada indicador se consideran un diagnóstico positivo de una descarga potencial de aguas servidas aguas arriba del punto de muestreo. Hasta el momento, el DP ha resultado ser el indicador más efectivo (menos falsos negativos o positivos) y nos ha permitido ubicar con precisión descargas sanitarias que están fuera del ojo público (por ejemplo, debajo de puentes o a campo traviesa) o lejos de la estación de diagnóstico. Todos los casos identificados se refirieron a las agencias pertinentes (Autoridad de Acueductos Alcantarillados y agencias gubernamentales y municipales) para su corrección. Durante el mes de diciembre de 2017 (tres meses después del huracán), el 30 % de las estaciones de diagnóstico (32 estaciones) reflejaron concentraciones de DP por encima de los umbrales críticos, lo cual representa una distancia longitudinal de 17.16 millas de ríos (18.6 % de las millas de ríos en la zona evaluada) (figura 4). Mediante la estrategia implementada, se logró vincular puntualmente cada una de las estaciones de diagnóstico en estado crítico con casos específicos

de descargas sanitarias. Según se fue reestableciendo la energía eléctrica en las EBAS (ya sea mediante generadores alternos o por restablecimiento del sistema) y se fueron corrigiendo las descargas sanitarias más críticas, se observó una mejoría significativa en la calidad del agua de los ríos. En mayo de 2018 (ocho meses después del huracán), solo el 17.5 % de las estaciones (9.82 millas de ríos o 10.6 % de la totalidad de millas de ríos evaluadas) denotaban concentraciones de DP superiores a los niveles críticos (algunos casos precedían al huracán) (figura 3). Un año después del huracán, el porcentaje de casos críticos se había reducido al 15 % (8.5 millas de ríos).

Las descargas de aguas sanitarias crudas a un cuerpo de agua representan un grave riesgo para la población. La exposición directa o indirecta a estas aguas puede generar brotes de enfermedades como gastroenteritis, salmonelosis, tifoidea, meningitis y hepatitis,



entre otras, poniendo en riesgo a la población en general y, en particular, a las personas inmunocomprometidas. Es imperativo establecer un plan de contingencia estructurado a nivel de la isla para generar una respuesta efectiva ante eventos catastróficos de este tipo. En ese sentido, tanto las universidades como las entidades no gubernamentales pueden servir de entes facilitadores.

A continuación, incluimos unas recomendaciones puntuales sobre cómo mejorar la respuesta a las descargas sanitarias durante eventos de esta naturaleza.

Recomendaciones

1. Dotar de mayor resiliencia a las EBAS.

(a) Proveer generadores de electricidad alternos en todas las EBAS y planificar el suministro de combustible a los generadores mientras dure la emergencia.

(b) Establecer un programa de telemetría para diagnosticar fallas en la operación de las EBAS y un programa de notificación inmediata a las comunidades afectadas por averías en las EBAS.

(c) Intensificar el programa de mantenimiento preventivo en la infraestructura sanitaria antes de la temporada de huracanes, haciendo énfasis en las zonas más vulnerables de la red.

(d) Relocalizar (rediseñar) las EBAS ubicadas en zonas inundables o inestables.

(e) Incrementar la frecuencia de los cotejos en las instalaciones durante estos eventos. La notificación de cada hallazgo debe vincularse a un plan de acción que exija la corrección del problema en un plazo no mayor de tres días. Establecer un programa de capacitación continua

al personal de cotejo para garantizar la actualización y uniformidad en los procedimientos.

(f) Establecer un sistema de notificación de querrela más simple para el abonado, enviando copia de cada notificación al Departamento de Cumplimiento regional de la AAA para facilitar la fiscalización de la querrela.

2. Identificar equipos de trabajo (por ejemplo, universidades y ONG) en las diversas zonas geográficas de la isla que asistan en la identificación de desbordamientos sanitarios críticos mediante una estrategia uniforme y estructurada.

3. Identificar equipos de trabajo en las diversas zonas geográficas de la isla que ayuden en el análisis periódico de patógenos en manantiales u oasis naturales, al igual que en cuerpos de agua utilizados por las comunidades para el aseo y otros fines durante estos eventos. Garantizar la uniformidad en los protocolos de toma y análisis de muestras.

4. Establecer un programa periódico de limpieza y recogido de escombros en las riberas

de los ríos y quebradas, combinándolo con un programa de educación a la comunidad sobre la importancia de no depositar basura y escombros en los cuerpos de agua.

5. Incrementar las zonas de amortiguamiento entre la huella urbana y la red hidrológica (ríos y quebradas) mediante el desarrollo de infraestructura verde (corredores verdes, humedales internos, etc.).

6. Identificar zonas de alta vulnerabilidad e implementar métodos de alerta por medio de organizaciones de base comunitaria.

7. Establecer un mecanismo efectivo de información/orientación a las comunidades y mantener la transparencia en el acceso a la información.

8. Concienciar a la población sobre la importancia de no desechar grasas, aceites, ropa, medicamentos, toallitas desinfectantes (*wipes*) e incluso hilo dental por las tuberías pluviales y sanitarias para evitar obstrucciones que generen colapsos en la infraestructura.

Figura 4

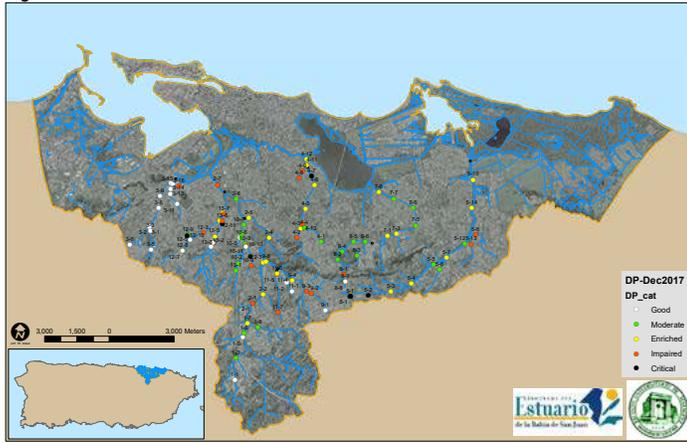


Figura 5

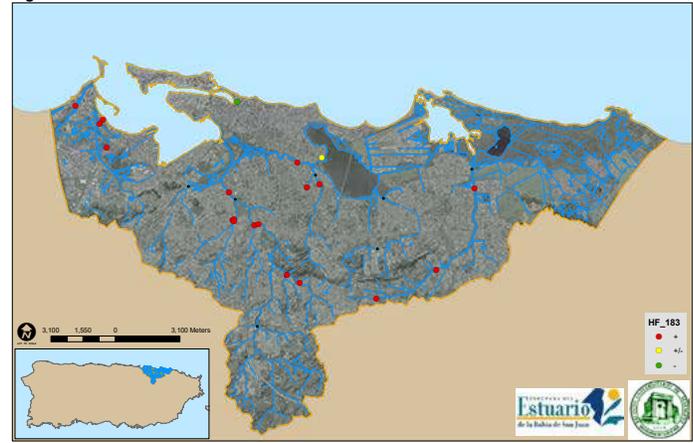


Figura 6

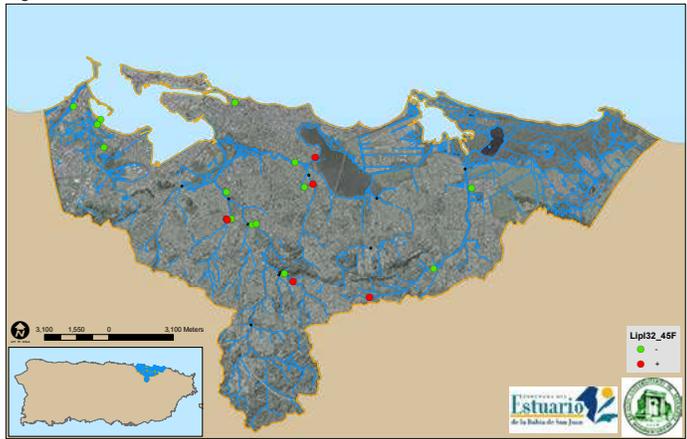


Figura 7

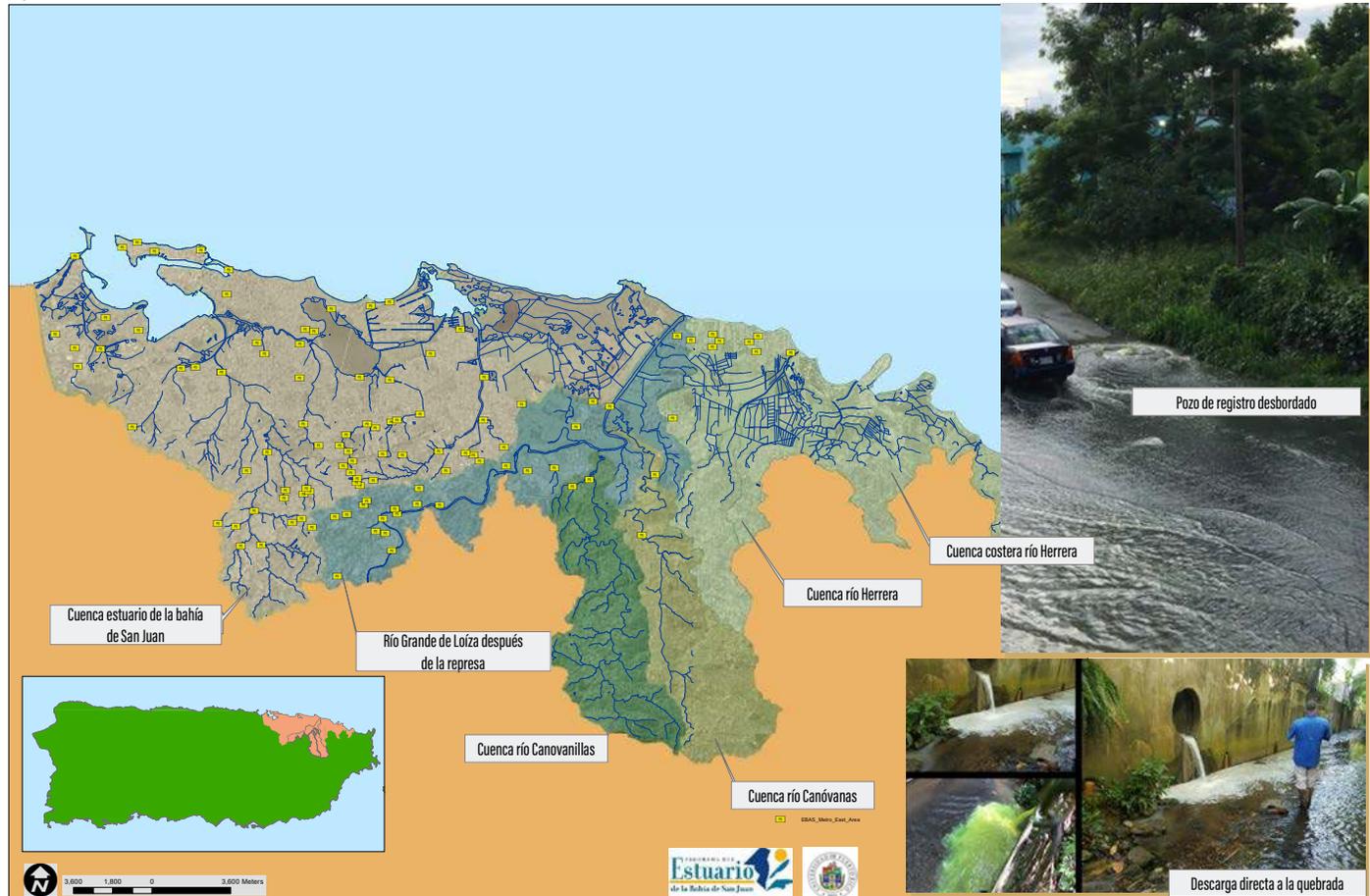


Figura 4. Concentración de fósforo disuelto (DP) en estaciones de diagnóstico de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan en muestras tomadas en diciembre de 2017

Figura 5. Presencia de contaminación fecal humana (marcador molecular HF183) en diferentes estaciones de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan en muestras tomadas en octubre de 2017

Figura 6. Presencia de la lipoproteína leptospiral LipL32 en diferentes estaciones de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan en muestras tomadas en octubre de 2017

Figura 7. Ubicación de las estaciones de bomba de aguas servidas (EBAS) de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados en la zona de estudio



EFFECTOS DEL HURACÁN MARÍA EN LA INFRAESTRUCTURA DE LA AUTORIDAD DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

POR JUAN ORENGO ROLÓN

En Puerto Rico, la agencia encargada de distribuir agua potable y recolectar aguas usadas para su tratamiento es la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA). Una de sus funciones principales es recoger las aguas usadas para su tratamiento y descontaminación antes de devolverlas al medioambiente. El buen manejo de estas aguas residuales es esencial para evitar el deterioro de los cuerpos de agua que reciben las descargas, así como para no afectar a la vida silvestre ni perjudicar la salud y la calidad de vida de los ciudadanos. Para cumplir con los parámetros de calidad, el agua residual recibe distintos tratamientos, conocidos como primario, secundario y terciario.

El tratamiento primario se enfoca en remover físicamente los sólidos suspendidos en las aguas usadas y eliminar microorganismos, como las bacterias, mediante la aplicación de químicos (primordialmente cloro). El tratamiento subsiguiente, llamado secundario o biológico, incluye los procesos del tratamiento primario junto con el uso de microorganismos que descomponen la materia orgánica y reducen la cantidad de oxígeno disponible para la proliferación de microbios dañinos. Finalmente, el tratamiento terciario se centra en suministrar químicos para alcanzar la mayor desinfección posible. De los 223 millones de galones que descargan las plantas de tratamiento de la AAA diariamente, el 66.8 % recibe tratamiento primario, el 28.2 % se somete a tratamiento secundario y al 4.9 % se le aplica tratamiento terciario.

Según declaraciones gubernamentales, el huracán María afectó el 70 % de la infraestructura de acueductos, dificultando así que las aguas residuales fuesen debidamente tratadas y el agua potable fuese debidamente distribuida. Justo después del embate de María, 37 plantas de tratamiento de agua potable (de un total de 115) y 21 plantas de tratamiento

de aguas usadas (de un total de 51) quedaron inoperantes, mayormente por la falta de electricidad. Debido a la ausencia de energía, alrededor de 220 estaciones de bombeo quedaron inactivas, lo cual imposibilitó que estas cumplieran su función de enviar las aguas a las plantas de tratamiento. Esto provocó que las aguas usadas fluyeran hacia el entorno y entraran en contacto con múltiples cuerpos de agua que fueron gravemente contaminados con desechos humanos y otras sustancias nocivas. Se estima que, a cinco meses del paso del huracán, 296 estaciones de bombeo seguían descargando aguas contaminadas en el medioambiente.

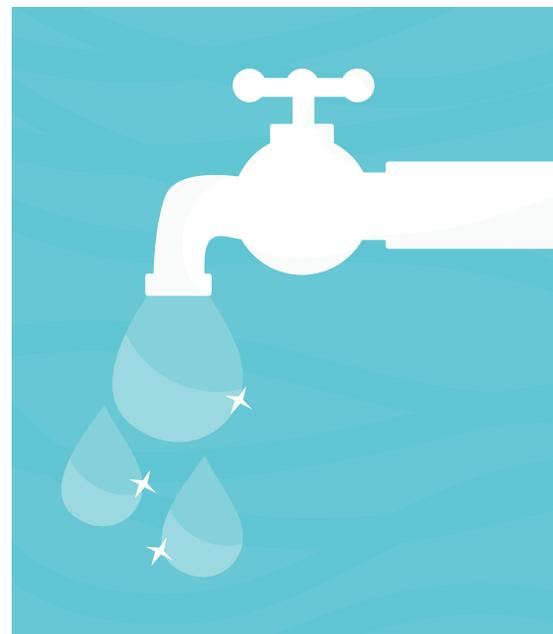
Para reestablecer su funcionamiento, muchas de estas estaciones dependieron de generadores eléctricos. Esto sirvió como solución temporera, ya que los generadores no están diseñados para producir energía de manera indefinida. En zonas de alta elevación resultaba aún más difícil reestablecer el servicio, pues se necesitan múltiples estaciones de bombeo para atender a estas localidades. Incluso hubo ocasiones en las que un generador fallaba y la estación quedaba inoperante nuevamente.

Según Elí Díaz Atienza, presidente de la AAA en aquel entonces, la escasez del combustible diésel que requerían los generadores limitó el uso de estos equipos como alternativa. Asimismo, la destrucción de carreteras y otras vías dificultó la transportación de combustible a ciertas estaciones de bombeo. A esto se sumó la falta de preparación de la AAA y del

Gobierno, ya que no se contaba con el número de generadores requeridos para energizar todas las estaciones que quedaron inoperantes. Como resultado, muchos generadores tuvieron que ser suplidos por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA). Incluso ocho meses después del impacto del huracán, la AAA aún requería más de 500 generadores para reestablecer el funcionamiento en las estaciones de bombeo que carecían de electricidad para esa fecha.

Tras el paso del huracán María, solo 400 de las 16,700 millas de carreteras del país estaban en condiciones transitables (Gobierno de Puerto Rico, 2018a). Además, 388 puentes de la isla quedaron parcial o totalmente destruidos por los fuertes vientos y los caudales de los ríos alimentados por la intensa lluvia (López Maldonado, 2018).

Debido a estos obstáculos, la AAA se vio obligada a usar camiones para recoger el agua residual de ciertas zonas y transportarla a plantas operantes para su tratamiento y purificación. Según revelaron los monitoreos de calidad del agua realizados por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, hubo una correlación entre la energización de las estaciones de bombeo, junto con las plantas de tratamiento, y la mejora en la calidad del agua. Esto resalta la urgencia de que la AAA y el Gobierno busquen alternativas energéticas para reducir las vulnerabilidades del sistema de acueductos ante futuros fenómenos que afecten la energización del país. Del mismo modo, se debería actualizar la infraestructura del sistema





de distribución y recolección con el fin de prevenir riesgos para la salud de la ciudadanía durante futuros desastres naturales.

Las lluvias torrenciales provocadas por el ciclón no solo inundaron plantas de tratamiento del agua, sino que también facilitaron el desbordamiento de tanques y pozos sépticos que presentaban condiciones vulnerables o incumplían los estándares de seguridad antes del huracán. Las escorrentías arrastraron el contenido de esas plantas, tanques y pozos sépticos poniendo en riesgo la salud de la ciudadanía y del medioambiente, ya que las aguas usadas entraron en contacto con distintos cuerpos de agua a lo largo de la isla, aumentando la presencia de microorganismos patógenos.

Comunidades como la de Levittown, en el municipio de Toa Baja, se vieron inundadas por aguas que cargaban con todos estos materiales nocivos provenientes de las plantas de tratamiento, aumentando el peligro para los residentes de zonas susceptibles. A ello se sumaron las rupturas en las tuberías y la falta de planificación por parte de distintas agencias gubernamentales. Ciertas plantas de tratamiento, como las de Toa Alta y Dorado, estaban localizadas en zonas inundables, lo cual aumentó el

riesgo de dispersión en el entorno de aguas residuales sin tratar durante fuertes eventos de lluvia. Situaciones como la falta de electricidad en estaciones de bombeo como la de La Torrecilla, en Loíza, representaron un riesgo aún mayor para la salud pública, ya que su cercanía al río Grande de Loíza incrementó la probabilidad de contaminar este cuerpo de agua del cual depende la población.

La presencia de agentes nocivos y patógenos peligrosos en el agua, junto con el funcionamiento deficiente de las plantas de tratamiento y el sistema de distribución, obligaron a la AAA y otras organizaciones a buscar alternativas como la repartición de filtros y pastillas de cloro para que ciertos sectores tuviesen métodos para purificar el agua para su consumo. Otra alternativa fue proporcionar camiones a cada municipio para así suministrar agua potable a los damnificados. Aunque ciertos sectores de la población abastecieron parte de sus necesidades gracias a este método, municipios como Bayamón se vieron obligados a conseguir más camiones para poder atender a una mayor cantidad de personas en necesidad de agua potable. En muchas zonas dicho esfuerzo fue insuficiente, ya que mucha gente no podía llegar a los oasis debido a las limitaciones de acceso o transporte y a la falta de información en los meses posteriores al ciclón. Esto provocó que distintos sectores comunitarios recurrieran a los ríos y quebradas como alternativa,



corriendo el riesgo de exponerse a patógenos y otros contaminantes dañinos para la salud que se hallaban presentes en estos cuerpos de agua como resultado de los desbordamientos y la falta de tratamiento en las plantas de la AAA.

El Departamento de Salud de Puerto Rico llevó a cabo muestreos en distintas zonas de la isla para detectar la presencia de coliformes en los sistemas de distribución de agua potable a la población. La entidad determinó que alrededor de 45 municipios, entre ellos la capital, San Juan, contenían coliformes fecales, cuya presencia puede ser indicativa de deficiencias en los procesos de tratamiento y purificación del agua. Por esta razón, se instruyó a la ciudadanía sobre la necesidad de hervir el agua antes del consumo para disminuir el riesgo de infección bacteriológica. Según el estudio dirigido por el Departamento de Salud, los municipios pertenecientes al estuario de la bahía de San Juan (EBSJ) cuyos sistemas de distribución del agua arrojaron resultados positivos en las pruebas de coliformes fueron Carolina, San Juan, Bayamón y Trujillo Alto, donde se distribuye agua a más de un millón de personas. Por otra parte, según declaraciones del Consejo para la Defensa de Recursos Naturales (NRDC), alrededor de 2.3 millones de puertorriqueños estuvieron en riesgo de exposición bacteriológica debido a la falta de tratamiento del agua potable suministrada a la población después del huracán.



Incluso antes del paso del ciclón, dicha agencia ya había publicado información que señalaba un sinnúmero de violaciones de las leyes sobre calidad del agua por parte de la AAA.

En el mes de mayo de 2017, antes del embate del huracán María, el NRDC publicó un informe en el que notificaba que más del 99 % de la población de la isla recibía en sus hogares agua que no cumplía con la Ley de Agua Potable Segura (Safe Drinking Water Act o SDWA). Asimismo, declaró que más del 69 % de la población recibía agua que no cumplía con los estándares salubristas establecidos en dicha ley. Según este informe, que utilizó datos del Departamento de Salud, el sistema de acueductos de Puerto Rico incurre en más violaciones de la SDWA que los sistemas de acueductos de cualquier otro estado o territorio estadounidense. Las más de 33,000 infracciones cometidas en la década de 2005 a 2015 se debieron a niveles excesivos de contaminantes en el agua que superaban los límites permitidos, así como a incumplimientos en el monitoreo y la divulgación de información sobre la calidad del agua suministrada a la ciudadanía. Algunos contaminantes resaltados en el informe fueron los coliformes, los compuestos orgánicos volátiles y el plomo. Para el sistema de agua metropolitano, que abastece a más de un millón de personas, entre ellas residentes de municipios que forman parte del EBSJ, se cuantificaron 24 vio-

laciones salubristas de la SDWA. Dichas infracciones incluyen cantidades excesivas de coliformes fecales que podrían promover una amplia gama de enfermedades, al igual que fallas en la aplicación de químicos como el cloro en el proceso de desinfección que también podrían tener efectos adversos para la salud. El impacto del ciclón no solo expuso muchas de las fragilidades del sistema de recolección y distribución de agua, sino que provocó el agravamiento de estas deficiencias.

El huracán María también tuvo un grave efecto en la condición de los embalses y represas que almacenan agua para abastecer a la población. Se estima que los embalses perdieron en promedio el 10 % de su capacidad de almacenaje, quedando más vulnerables en caso de sequía. Esta pérdida en el potencial de almacenaje se debe a la sedimentación que arrastraron las escorrentías e inundaciones provocadas por el ciclón. Por otra parte, se prevé que la deforestación causada por el fenómeno atmosférico tendrá efectos sobre la recuperación y las condiciones futuras de los embalses.

La cobertura vegetal, en particular la cobertura de árboles, ayuda a compactar el terreno y a retener los sedimentos y contaminantes arrastrados por las escorrentías durante eventos de precipitación. Una menor cantidad de árboles implica un menor control sobre las aguas de escorrentía que transportan sedimentos e impurezas a

los embalses. Debido a la pérdida de la pérdida de millones de árboles en toda la isla, se esperaría la llegada de una mayor cantidad de sedimentos y contaminantes a los embalses, lo cual pondría en condiciones de susceptibilidad a quienes dependen de ellos.

La presencia excesiva de impurezas en los cuerpos de agua es un riesgo para la salud, ya que una mayor cantidad de sedimentos, además de aumentar la turbidez del agua, promueve la presencia de patógenos y dificulta los procesos de purificación del agua en las plantas de tratamiento. En casos como estos, la AAA se vería obligada a paralizar el suministro de agua a la población debido al posible incumplimiento de los estándares de calidad y salubridad. El calentamiento global y el cambio climático agravan estas vulnerabilidades, pues favorecen la formación de tormentas y también fomentan períodos de sequía más prolongados y eventos de precipitación más intensos.

El presidente ejecutivo de la AAA expresó que los trabajos realizados en las plantas afectadas después del huracán María se enfocaron en reestablecer el servicio y no en mejorar la infraestructura. Sin embargo, las labores de modernización son imprescindibles si se busca mejorar la calidad del agua suministrada a la población, así como aumentar la resiliencia del sistema ante futuras catástrofes. Actualmente, la AAA evalúa el sistema con el propósito de hacer

mejoras estructurales. Según estiman las agencias, los costos de reparación y mejoras a la infraestructura pueden alcanzar los \$3.6 mil millones, mientras que los daños causados por el huracán María rondan los \$769 millones.

De aprobarse la cantidad de fondos requeridos, los proyectos de mejoras tendrán como prioridad aumentar la capacidad de transferencia de agua, incrementar la seguridad de las represas, trasladar a otras localidades las plantas que se encuentran en zonas inundables, reparar tuberías sanitarias y buscar vías alternas para energizar los sistemas de riego, entre otras actualizaciones requeridas, como sería incre-

mentar la capacidad de tratar las aguas usadas.

Invertir en mejoras a la infraestructura de la AAA no solo aumentará la resiliencia del sistema ante futuros eventos climáticos, sino que también ayudará a prevenir enfermedades y promover una mejor calidad de vida para la ciudadanía. Un informe publicado en 2018 por la AAA reconoce que el impacto del huracán en su infraestructura pudo ser el promotor de efectos perjudiciales para la salud debido a la limitación del aseo, la imposibilidad de lavar utensilios, el consumo de agua embotellada mal almacenada, el uso cotidiano de manantiales o riachuelos contaminados con aguas usadas y el posible contacto del agua con organismos vectores de enfermedades. El informe también reconoce que es posible que las deficiencias en el tratamiento del agua puedan haber fomentado los casos de leptospirosis reportados.

Para reducir las vulnerabilidades de la población general ante futuras catástrofes hay que invertir no solo en la infraestructura, sino también en mejorar la comunicación y difusión de la información en tiempos de crisis. La falta de electricidad y de señal telefónica impidió que muchas comunidades tuviesen conocimiento de las condiciones insalubres del agua en los ríos y quebradas. Concientizar a la población sobre los peligros y las alternativas que puede adoptar en casos futuros será de suma importancia para evitar brotes de enfermedades en momentos en que la gente esté incomunicada.

Carl Soderberg, exdirector de la División de Protección Ambiental del Caribe de la Agencia de Protección Ambiental federal (EPA),

y altos funcionarios de la AAA, como Elí Díaz Atienza, resaltan dos problemas clave que se deben atender para lograr que la infraestructura de la AAA sea más resiliente a la hora de enfrentar otro evento catastrófico como el huracán María. El primero es la dependencia que tienen las plantas de tratamiento y las estaciones de bombeo de la red de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE). La falta de energía fue la causa principal de que las instalaciones de la AAA quedaran inoperantes, lo cual promovió el deterioro de la calidad del agua en gran parte de la isla, junto con sus consecuentes efectos adversos para la salud. El director de la AAA señala que es de suma urgencia buscar vías alternas, como la energía renovable, para asegurar que las bombas y plantas sigan funcionando en caso de que la red de la AEE quede inoperante. Asimismo, recomienda la compra de generadores eléctricos para las instalaciones que carecen de estos equipos.

Según Carl Soderberg, la sedimentación en los embalses representa un gran problema para el almacenaje y la distribución del agua, ya que los sedimentos podrían afectar gravemente los sistemas de filtración de la AAA. El exfuncionario de la EPA indica que el cambio climático solo amplificará las vulnerabilidades del sistema de acueductos, por lo que recomienda una campaña de reforestación en toda la isla. Una mayor cobertura arbórea aminoraría la cantidad de sedimentos y contaminantes que llegan a los embalses, lo cual ayudaría a preservar su capacidad de almacenaje, facilitaría el buen funcionamiento de las plantas de filtración y aumentaría la calidad del agua.





ESTUARIO



COMUNIDADES QUE CARECEN DE SERVICIO DE ALCANTARILLADO SANITARIO CONVENCIONAL

POR CARL-AXEL P. SODERBERG

Introducción

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) provee servicio de agua potable al 97 % de la población de Puerto Rico. Esta tasa de cobertura de agua potable está entre las mejores a nivel mundial. Sin embargo, la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario no está al mismo nivel. Según datos de la AAA, la entidad solo provee este servicio al 55 % de sus abonados, lo que significa que alrededor de 1,530,000 habitantes del país no tienen servicio de alcantarillado sanitario. A esta cifra debemos sumar otros 100,000 habitantes que no reciben servicio de agua potable ni servicio de alcantarillado sanitario de la AAA.

La descarga de aguas usadas sin tratar es aún peor. En muchas áreas urbanas, inclusive cascos de pueblos, hay calles completas que no están conectadas al sistema de alcantarillado sanitario porque las casas se han construido a un nivel más bajo que la calle. También existen residencias y edificios conectados al alcantarillado pluvial, de manera que las aguas usadas sin tratar fluyen al cuerpo de agua más cercano. Un ejemplo dramático de esta situación, que ocurre en uno de los municipios cubiertos por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, es el caso del casco de Río Piedras y los edificios a lo largo de la avenida Ponce de León. Las aguas usadas son recogidas por una troncal que descarga en el caño Martín Peña, cerca del puente que lleva el mismo nombre.

Otro factor que contribuye a la descarga de aguas usadas sin tratar en los cuerpos de agua es la construcción de estaciones de bombeo privadas que recogen las aguas usadas de urbanizaciones y condominios. Dichas estaciones deben impulsar las aguas usadas a una troncal o subtroncal sanitaria de la AAA, a través de la cual llegan a una planta de tratamiento.

Lo que ocurre es que esas estaciones no reciben un mantenimiento adecuado y las aguas usadas se desbordan en ellas o se desvían para evitar daños, lo que provoca que aguas usadas sin tratar contaminen nuestros cuerpos de agua. La División del Caribe de la Agencia de Protección Ambiental federal (EPA) ha levantado un inventario de sobre 100 estaciones de bombeo de este tipo.

Las comunidades que no reciben servicio de alcantarillado sanitario descargan sus aguas usadas directamente en los cuerpos de agua y construyen pozos muros o sépticos que, en su gran mayoría, no cumplen con los requisitos. De hecho, casi todos tienen “pillós” o aliviaderos, es decir, tubos que descargan el componente líquido después de pasar por las cámaras de retención y tratamiento de sólidos en lugar de disponer de ese componente en campos de infiltración al terreno. Un estudio llevado a cabo por la EPA a finales de la década de 1990 reveló que el 90 % de los pozos sépticos ubicados aguas arriba de los embalses Carraízo y La Plata no estaban bien contruidos y operaban deficientemente.

Situación en los municipios incluidos en el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

Aunque el área cubierta por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan es prácticamente la región metropolitana, los problemas previamente descritos a nivel isla también se encuentran en esta zona. Muchos municipios, como Bayamón, Carolina y Trujillo Alto, tienen extensas áreas rurales que no cuentan con servicio de alcantarillado sanitario. En otros, como Cataño y Toa Baja, hay varias comunidades que también carecen de este servicio. Además, existen áreas urbanas que no tienen servicio de alcantarillado. En el municipio de San Juan, por ejemplo, la gran mayoría de las casas en las comunidades aledañas al caño Martín Peña descargan sus aguas usadas directamente en el caño.

Como se mencionó anteriormente, las aguas usadas del casco de Río Piedras y de los edificios ubicados en la avenida Ponce de León descargan hacia una troncal que vierte estos efluentes en el caño Martín Peña. Otras comunidades, como Villa Palmeras, descargan sus aguas usadas en unas tuberías que acarrean esos efluentes al mismo caño

por vía del alcantarillado pluvial. Algunas estaciones de bombeo de aguas pluviales reciben descargas de aguas usadas que, por consiguiente, ganan acceso a los cuerpos de agua. La EPA ya intervino en estos casos para que el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), agencia responsable de operar dichas estaciones de bombeo, identifique y elimine las descargas clandestinas. Ni siquiera la zona turística de Condado se salva de este tipo de descargas.

Impacto sobre la calidad del agua

Las descargas de aguas usadas crudas y las descargas de los “pillós” de pozos sépticos son la causa principal del incumplimiento de las normas de calidad del agua en el 60 % de los cuerpos de agua dulce en Puerto Rico. Dichas descargas también contribuyen significativamente a que nuestros embalses no cumplan con las normas de calidad del agua.

Estas mismas descargas influyen de igual modo en la contaminación de las playas, ya que en Puerto Rico se ha documentado que el agua de los ríos llega a la costa en menos de 24 horas y mucho más rápido cuando ocurren lluvias intensas. En el caso del estuario de la bahía de San Juan, las descargas de aguas usadas sin tratar y las descargas de pozos sépticos son responsables de los altos niveles de contaminación por patógenos y materia orgánica en las lagunas Los Corozos, San José y La Torre-cilla, el caño Martín Peña y los canales Suárez y La Malaria, entre otros cuerpos de agua.

Impacto sobre la salud

Las descargas de aguas usadas sin tratar y las descargas de pozos sépticos son la fuente principal de patógenos en nuestros cuerpos de agua dulce y aguas costaneras. Los niveles de coliformes representan una amenaza para la salud de las 100,000 personas que no reciben servicio de agua potable de la AAA y obtienen su agua, en más del 90 % de los casos, por medio de acueductos muy rústicos. En el mejor de los casos, las comunidades proveen desinfección intermitente, pero en otros no hay ninguna desinfección. Además, estas descargas representan una amenaza para la salud de miles de puertorriqueños que se bañan en los ríos del país.



Nuestras playas también se ven afectadas por las descargas. De hecho, el DRNA utiliza los niveles de patógenos para determinar si una playa no está apta para el contacto directo, comunicándolo a los ciudadanos a través de la bandera amarilla y notificaciones en los medios de comunicación. Desafortunadamente, la entidad no puede muestrear todas las playas. Además, ocurre a menudo que los ciudadanos hacen caso omiso a las advertencias de que la playa no está apta para bañistas.

Otra vía de contagio es la ingesta de bivalvos, como los ostiones, que se obtienen de aguas contaminadas. Los bivalvos filtran el agua para conseguir su alimento y, en el proceso, concentran los patógenos presentes en las aguas contaminadas. Por último, las descargas de aguas usadas sin tratar y las descargas de pozos sépticos podrían causar brotes y epidemias de patógenos que no suelen encontrarse en Puerto Rico, como la bacteria *Vibrio cholerae*.

Impacto del cambio climático

El cambio climático aumentará el impacto de las descargas de aguas usadas sin tratar y las descargas de los pozos sépticos sobre la calidad de los cuerpos de agua e incrementará el riesgo de enfermedades de origen hídrico.

Primero, el cambio climático reducirá en un 20 % la lluvia en el Caribe para el año 2030. Esto significa que disminuirán el caudal y la capacidad asimilativa de los ríos y quebradas. Por lo tanto, aumentará la concentración de contaminantes en estos cuerpos de agua, así como también los niveles de patógenos.

Segundo, a pesar de la disminución de lluvia, habrá episodios de lluvias torrenciales. Dichas lluvias provocan el desbordamiento de pozos sépticos y

arrastran con mayor rapidez las aguas usadas sin tratar hacia los cuerpos de agua dulce y las aguas costaneras. Esto propiciará que las playas no estén aptas para bañistas con mayor frecuencia, aumentando así el riesgo de contagio de personas que ignoran las advertencias del DRNA. En el caso de las comunidades aledañas al caño Martín Peña, las lluvias torrenciales producen inundaciones de aguas pluviales contaminadas con aguas usadas sin tratar. Estos episodios serán más frecuentes con el cambio climático.

Tercero, el aumento en el nivel del mar incrementará el nivel freático en comunidades ubicadas cerca de la costa. En el mejor de los casos se anularán los campos de infiltración de los pozos sépticos, mientras que en el peor de ellos el tanque de retención y tratamiento de sólidos del sistema de pozos sépticos “flotará” a la superficie. En ambos casos, aumentará la contaminación del agua.

Cuarto, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el aumento en la temperatura de los cuerpos de agua dulce y las aguas costaneras fomentará un incremento en los niveles de patógenos en el agua.

Quinto, el cambio climático aumentará la frecuencia y la intensidad de huracanes y tormentas tropicales. Estos fenómenos atmosféricos ocasionan lluvias muy intensas. El huracán María generó lluvias de 40 pulgadas en ciertas áreas y de 20 pulgadas en otras. Dichas lluvias destruyeron sistemas de pozos sépticos. Una de las áreas más afectadas fue Utuado, donde se produjeron derrumbes y deslaves. Esto podría ocurrir en los municipios que forman parte del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

Alternativas de recolección y tratamiento de aguas usadas

Existen varias alternativas para recoger y tratar las aguas usadas de comunidades donde el servicio de alcantarillado sanitario convencional no es viable. A continuación, se incluye una lista de algunas de ellas.

1. **Pozo séptico individual.** Es una alternativa apropiada cuando existe espacio suficiente y el tipo de terreno necesario para absorber el efluente.
2. **Pozo séptico mancomunado.** Puede utilizarse

cuando el tipo de suelo es adecuado y existe un terreno aledaño que permita construir un pozo séptico para toda la comunidad o para un grupo de viviendas de la comunidad.

3. **Sistema de montículo individual o mancomunado.** Si el terreno no es apto para los campos de infiltración, es posible construir pozos sépticos con montículos de suelo apropiado para la fase de infiltración.
4. **Humedales artificiales.** Esta alternativa, que consiste en la construcción artificial de un humedal, ha tenido mucho éxito en Estados Unidos.
5. **Fitotratamiento.** Es la utilización de plantas para tratar las aguas usadas.
6. **Pozos sépticos optimizados.** Hay varias alternativas comerciales que optimizan la fase de infiltración y tratamiento utilizando membranas sintéticas. En algunos sistemas se induce la aireación sin métodos mecánicos. El efluente supera el tratamiento secundario.
7. **Reutilización de aguas usadas tratadas.** Las aguas usadas se someten a un tratamiento y se destinan al riego de huertos comunitarios o de plantas ornamentales comerciales.

8. **Inodoros de compostaje.** Estos sistemas no utilizan agua y convierten los excrementos en composta fértil que sirve de abono para plantas ornamentales y otras plantas no destinadas al consumo humano.

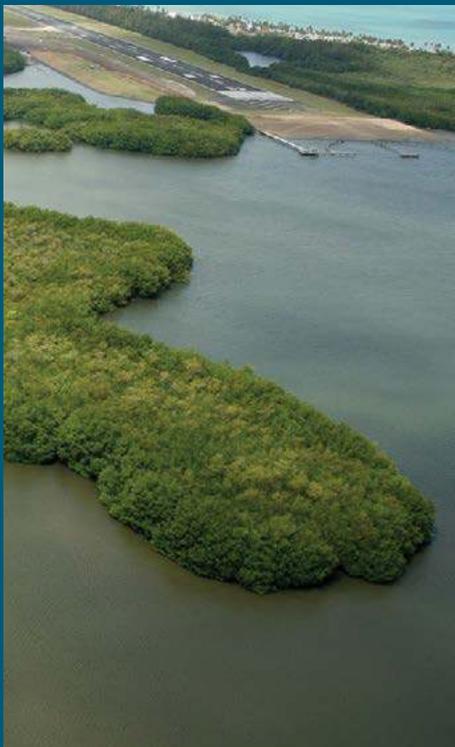
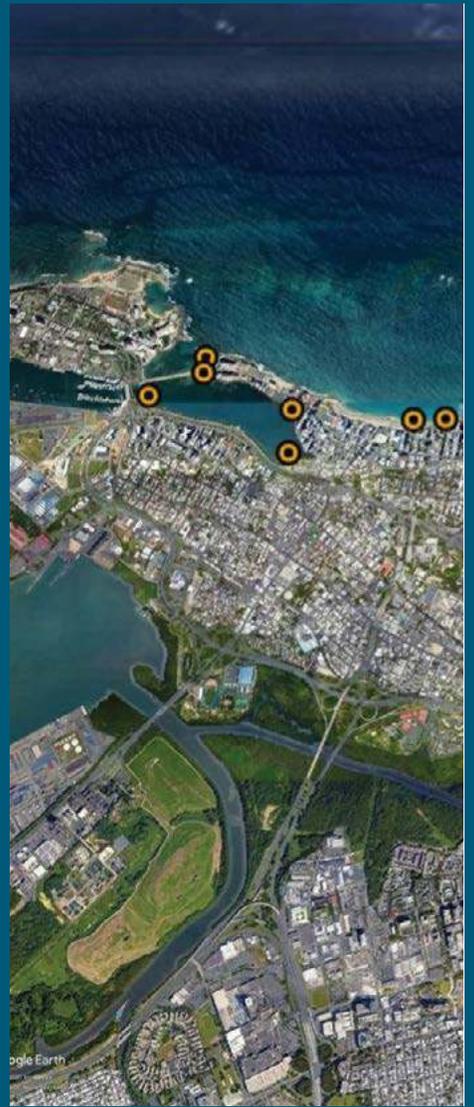
Conclusiones

El tratamiento de aguas usadas de las comunidades que carecen de servicio de alcantarillado sanitario convencional merece una alta prioridad. Estas descargas son responsables del incumplimiento de las normas de calidad del agua en el 60 % de los ríos y quebradas, así como en todos los embalses de Puerto Rico. Además, las mismas ocasionan altos niveles de patógenos en nuestras playas y, más importante aún, representan una grave amenaza para la salud pública en Puerto Rico.

En el estuario de la bahía de San Juan, es necesario controlar esas descargas para restaurar la calidad del agua en las lagunas Los Corozos, San José y La Torrecilla, el canal Suárez y el caño Martín Peña, entre muchos otros cuerpos de agua, así como para proteger las playas del litoral.



Figura 1. Juana Matos, comunidad sin sistema de alcantarillado sanitario en Cataño



INICIO

CONTENIDO



INICIO

CONTENIDO



DESECHOS ACUÁTICOS Y DESPERDICIOS SÓLIDOS



ESTUARIO
PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN



DIAGNÓSTICO

POR CRISTINA I. RAMÍREZ COLÓN

El manejo de los desperdicios sólidos y la amenaza de los desechos acuáticos que se disponen informalmente, desplazándose a lo largo de la geografía de la cuenca estuarina, se reflejan en la calidad de nuestras aguas. El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan y su Plan Integral de Manejo y Conservación (CCMP) presentan acciones que buscan mejorar la calidad del hábitat y los valores estéticos, recreativos y económicos del estuario, para asegurar que la cuenca esté libre de desechos acuáticos.

En el capítulo sobre desechos acuáticos del CCMP se establecen los siguientes objetivos y sus acciones específicas:

1. Reducir significativamente la cantidad de desechos acuáticos que llegan a las aguas estuarinas.
 - (a) Desarrollar e implementar programas comunitarios para el manejo y reciclaje de desperdicios sólidos en coordinación con los municipios.
 - (b) Proseguir con la implementación del Proyecto Demostrativo del Plan de Acción desarrollado en Piñones, en el municipio de Loíza.
 - (c) Continuar con la actividad anual de limpieza de desechos acuáticos que se realiza en el islote de la Guachinanga.
 - (d) Realizar actividades periódicas de limpieza de desechos acuáticos en lugares sugeridos del estuario de la bahía de San Juan.
2. Desarrollar, promover e implementar iniciativas de cumplimiento voluntario y prevención de la contaminación.

(a) Establecer programas pilotos de prevención de la contaminación en diferentes lugares del estuario de la bahía de San Juan.

3. Fortalecer el cumplimiento de las leyes y los reglamentos relacionados con la disposición ilegal de basura.

(a) Implementar medidas para detectar, corregir y controlar las actividades ilegales de desecho y hacer cumplir la ley que prohíbe la disposición ilegal de basura en Puerto Rico (Ley Núm. 11 de 1995).

(b) Hacer cumplir la Ley de Manejo de Neumáticos (Ley. Núm. 171 de 1996) y otras medidas reglamentarias relacionadas con la disposición ilegal de gomas usadas dentro del sistema estuarino y su cuenca de drenaje.

(c) Desarrollar un proyecto de reducción y prevención de la contaminación en las marinas, las villas pesqueras y los clubes náuticos del estuario de la bahía de San Juan.

A raíz del embate de los huracanes Irma y María, la generación desmedida de materiales, escombros y desperdicios sólidos urbanos amenazó tanto los espacios terrestres como los espacios acuáticos de la isla. El Gobierno —federal, estatal y municipal— no pudo responder de la manera más efectiva posible. Las operaciones de generación, segregación, transporte, desvío y disposición de lo que conocemos como basura se convirtieron en punto principal de las agendas diarias de muchos de los entes mencionados.

Es imperativo incluir en este documento artículos relacionados con el manejo de los desperdicios sólidos y su impacto en los ecosistemas después de los huracanes. Dichos textos comparten realidades sobre la falta de fiscalización de las legislaciones, la proliferación acelerada de vertederos clandestinos, los datos de los fondos otorgados para el recogido de escombros en la cuenca estuarina, los datos de manejo de los escombros, las limitaciones de espacio y la importancia de valorar los desperdicios sólidos como recursos.

La limitación de espacio para la disposición de desperdicios sólidos, tanto en la geografía de la isla como en la cuenca geográfica del

estuario, obliga a una acción rápida. La reducción de desperdicios sólidos en una sociedad de consumo, la búsqueda de alternativas para una gestión correcta y la reutilización continua de materiales deben ser parte esencial de nuestro estilo de vida. La experiencia, la crisis de basura generada después de los huracanes y la vida útil de los espacios designados para la disposición de desperdicios sólidos priorizan nuestra responsabilidad como individuos y como sociedad. Evitemos que estos residuos terminen navegando a lo largo de la cuenca hidrográfica, amenazando así tanto los espacios costeros y acuáticos como los fondos marinos.



MANEJO DE ESCOMBROS Y RESIDUOS SÓLIDOS

POR CARMEN R. GUERRERO PÉREZ

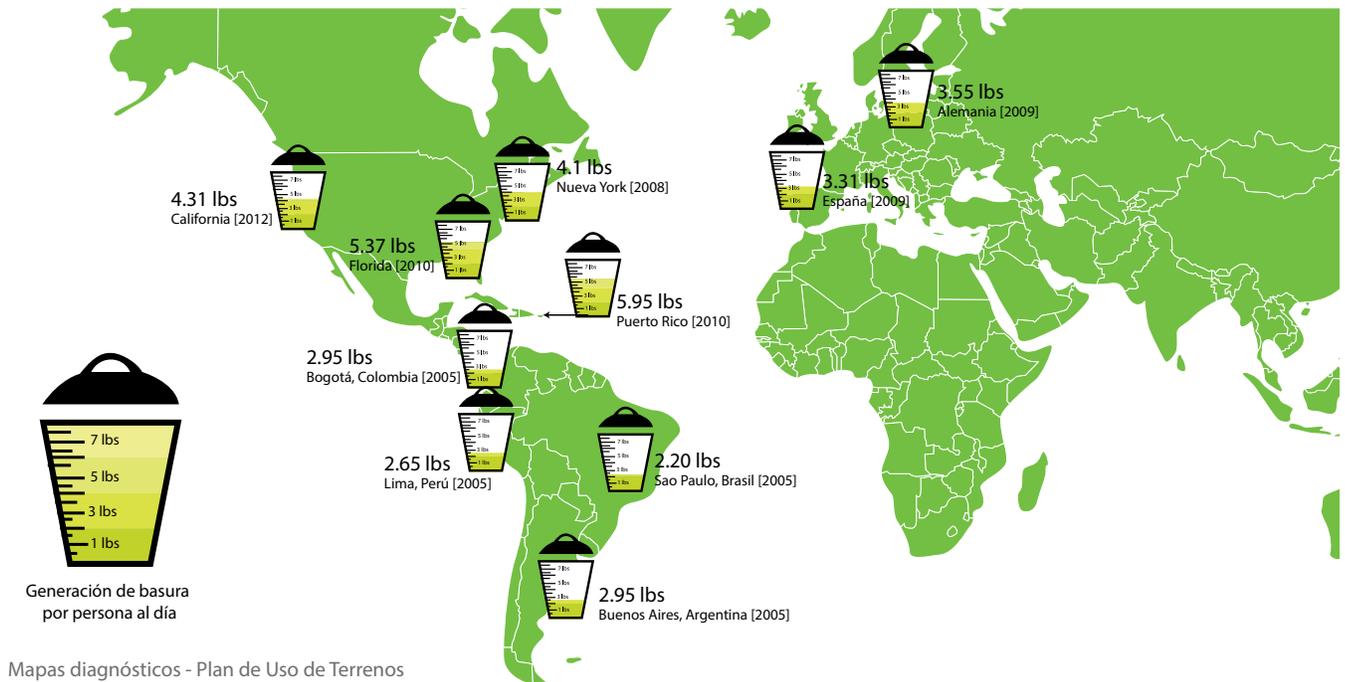


Figura 1. Generación de residuos sólidos por persona al día en diversos lugares del mundo

El manejo de escombros y residuos sólidos fue una de las misiones con mayores retos después de los eventos atmosféricos extremos representados por los huracanes Irma y María durante el mes de septiembre del año 2017. Antes del paso de ambos huracanes, en Puerto Rico ya existían condiciones que aumentaban su vulnerabilidad ante la falta de un manejo sustentable y eficiente de escombros y residuos sólidos.

Condiciones preexistentes

Según datos de la antigua Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS)¹,

Puerto Rico es uno de los lugares que más residuos sólidos per cápita genera en el mundo, alcanzando cifras de hasta 5.56 libras de residuos sólidos por persona al día (figura 1) (Autoridad de Desperdicios Sólidos, 2008a). Desafortunadamente, ante este panorama, la isla no cuenta con un programa agresivo de manejo sustentable de materiales que incluya la reducción en la fuente, la reutilización, el reciclaje y el compostaje. Los datos de la ADS indican que la tasa de desvío en Puerto Rico ha rondado entre el 12 % y el 14.5 % en la última década. La meta establecida por la Ley para la Reducción y el Reciclaje de los Desperdicios Sólidos en Puerto Rico (Ley Núm. 70 del

¹ La Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico ahora forma parte del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, según el mandato de la Ley del Plan de Reorganización del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de 2018 (Ley Núm. 171 del 2 de agosto de 2018).

18 de septiembre de 1992) preveía que, al día de hoy, hubiésemos sobrepasado el 35 % de la tasa de reciclaje y desvío. En la actualidad, queda mucho trabajo por hacer para alcanzar esa meta.

Otro factor preexistente era la condición de los vertederos en la isla y su nivel de incumplimiento con leyes ambientales tanto locales como federales. Actualmente, Puerto Rico tiene 28 vertederos y sistemas de relleno sanitario activos. De estos, solo 11 son sistemas de relleno sanitario que cuentan con revestimiento sintético o *liner* para recoger y manejar los lixiviados, tal como exigen las leyes y los reglamentos locales y federales. Los otros 17 son vertederos u *open dumps* que no cumplen con las leyes y los reglamentos locales y federales para el manejo de residuos municipales. Por esta razón, durante los últimos años, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha tenido que emitir órdenes de cierre para 13 vertederos en Puerto Rico, utilizando las disposiciones de la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos federal (RCRA) bajo la cláusula de daño inminente a la salud pública y el medio ambiente (tabla 1).

Los impactos de los vertederos en incumplimiento incluyen:

- Falta revestimiento sintético para recoger y manejar los lixiviados que se generan tras el paso del agua a través de la basura. El lixiviado consiste en diversos compuestos orgánicos e inorgánicos que se pueden encontrar disueltos o suspendidos. El manejo inadecuado de los lixiviados puede tener impactos de contaminación en aguas subterráneas, aguas superficiales y posibles fuentes de agua potable.
- Pocos vertederos controlan las aguas de escorrentía, generando impactos directos en aguas superficiales adyacentes.
- Muchos vertederos están ubicados en lugares de alta vulnerabilidad (fuentes de abasto de agua potable, llanos inundables y zonas sísmicas), de alto valor ecológico (zona del carso, humedales y áreas naturales protegidas, como bosques y reservas naturales) o cercanos a áreas residenciales.
- Pocos vertederos manejan los gases de metano generados por la descomposición de la materia orgánica que contienen. El metano es un potente gas de efecto invernadero.

- Todos los vertederos permiten la disposición de residuos domésticos peligrosos, lo cual representa aproximadamente 30,000 toneladas de estos residuos al año.

Por otra parte, se estima que en Puerto Rico existen cientos y quizá hasta miles de vertederos clandestinos o ilegales a lo largo de los 78 municipios. Estos vertederos también representan impactos ambientales y de salud pública para las comunidades aledañas a su lugar de ubicación.



En el caso del estuario de la bahía de San Juan, el municipio de Carolina cuenta con un sistema de relleno sanitario para el manejo de los residuos sólidos generados a nivel municipal. Este sistema incluye una de las plantas de reciclaje más grandes de todo Puerto Rico, la cual da servicio a diversos municipios de la zona metropolitana. Toa Baja tiene un sistema de relleno sanitario provisto de una celda con revestimiento sintético que recoge los residuos de varios municipios en la cuenca del estuario, entre ellos Cataño, Guaynabo, Bayamón y el propio Toa Baja. El municipio de Guaynabo, por su parte, cuenta con una estación de trasbordo en la entrada de su antiguo vertedero. Tanto Guaynabo como Bayamón utilizan dicha estación de trasbordo, desde la cual sus desperdicios se trasladan a Fajardo, Arecibo y Toa Baja. Los municipios de San Juan y Loíza transportan sus residuos sólidos a sistemas de relleno sanitario lejos de su área de servicio, como aquellos ubicados en Fajardo y Humacao. El depósito de residuos en sistemas de relleno sanitario tan lejanos al área metropolitana representa un aumento en el costo del manejo de residuos sólidos debido al transporte y a la disposición en sistemas de relleno sanitario ubicados en el este o el norte de la isla.

**TABLA 1.**

Lista de vertederos y sistemas de relleno sanitario en Puerto Rico

LISTA DE VERTEDEROS Y SISTEMAS DE RELLENO SANITARIO EN PUERTO RICO		
Vertederos (<i>open dumps</i>)	1	Añasco
	2	Barranquitas
	3	Culebra
	4	Guayama
	5	Jayuya
	6	Juana Díaz
	7	Mayagüez
	8	Rincón *
	9	Vieques
	10	Yabucoa *
	11	Yauco *
Vertederos (<i>open dumps</i>) con órdenes de cierre o acuerdos por consentimiento con la EPA	1	Aguadilla *
	2	Arecibo
	3	Arroyo
	4	Cayey
	5	Florida
	6	Isabela
	7	Juncos
	8	Lajas
	9	Moca
	10	Santa Isabel *
	11	Toa Alta
	12	Toa Baja **
	13	Vega Baja **
Sistemas de relleno sanitario con revestimiento sintético (<i>lined cells</i>)	1	Cabo Rojo **
	2	Carolina ***
	3	Fajardo ***
	4	Humacao - El Coquí ***
	5	Hormigueros **
	6	Peñuelas - Ecosystems
	7	Peñuelas - Peñuelas Valley Landfill
	8	Ponce ***
	9	Salinas ***

* Vertedero actualmente fuera de servicio.

** Implementó expansión mediante nueva celda con revestimiento sintético, pero el vertedero no ha cerrado.

*** Implementó expansión mediante celda con revestimiento sintético.

Manejo de escombros y residuos sólidos después del huracán María

Luego del paso de los huracanes Irma y María, la Junta de Calidad Ambiental (JCA)², en conjunto con la EPA, llevó a cabo una evaluación rápida de la condición de los vertederos y sistemas de relleno sanitario en Puerto Rico. Esta evaluación se realizó en diciembre de 2017 y encontró, entre otros, los siguientes impactos principales:

- Daños por erosión en las pendientes
- Residuos sólidos expuestos en las pendientes
- Falta de disponibilidad de material para cubierta diaria
- Sistemas de recolección de lixiviados inoperantes o dañados
- Sistemas de recolección de gases dañados
- Equipo de manejo de residuos dañado o robado
- Falta de disponibilidad de camiones
- Daños en el drenaje de aguas de escorrentía
- Daños en las verjas de seguridad

En el proceso de gestión de la emergencia provocada por el desastre natural, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) contaba con un grupo de trabajo enfocado en el manejo de escombros y liderado por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (USACE). Para manejar los escombros generados por el ciclón, los municipios tenían dos opciones: llegar a un acuerdo con el USACE para recibir los servicios de recogido de escombros a través de un contratista de dicha agencia o liderar el recogido de escombros con el personal del municipio y/o sus contratistas para luego solicitar a FEMA un reembolso por los gastos de manejo de escombros. Cincuenta y siete (57) municipios establecieron acuerdos con el USACE, mientras que los restantes veintiuno (21) manejaron el recogido de escombros con el personal del municipio y/o sus contratistas.

Según datos provistos por FEMA, para abril de 2019 se habían generado en Puerto Rico cerca de 12 millones de yardas cúbicas de escombros relacionados con el huracán María (A. Falcón Ramos, comunicación personal, 12 de abril de 2019). Esta

cantidad sería equivalente a tener más de once filas de camiones de basura llenos y alineados uno tras otro, de este a oeste, en Puerto Rico. La tabla 2 presenta un desglose del total de yardas cúbicas de escombros manejados por distintas entidades después del desastre. Cabe destacar que estos datos son preliminares, ya que meses después aún había municipios completando el recogido y el cierre de los centros temporeros de manejo de escombros.

TABLA 2.
Cantidad de escombros manejados después del huracán María (datos hasta abril de 2019)

ENTIDAD QUE MANEJÓ LOS ESCOMBROS	CANTIDAD EN YARDAS CÚBICAS (CY)
Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (USACE)	4,393,603
Municipios (21)	4,383,303
Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) (estimado)	2,803,444
Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (NRCS-USDA)	210,000
Escombros en las costas (<i>coastal debris</i>)	15,000
TOTAL	11,805,350

Según los datos provistos por FEMA, la mayor parte de los 4.3 millones de yardas cúbicas de escombros recolectados por el USACE (a través de su contratista para 57 municipios y algunas agencias locales) fueron:

- escombros de construcción (53 % o 2.3 millones de yardas cúbicas);
- residuos vegetativos (44 % o 1.9 millones de yardas cúbicas);
- materiales mixtos (4 %) (United States Army Corps of Engineers, 2018).

De estos residuos vegetativos, solo 683,615 yardas cúbicas (o el 35 % del total de material vegetativo recolectado) se utilizaron como viruta o *mulch*

² La Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico forma ahora parte del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, según el mandato de la Ley del Plan de Reorganización del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de 2018 (Ley Núm. 171 del 2 de agosto de 2018).

en fincas locales, viveros de árboles, facilidades de composta y canteras, o bien como cubierta en verederos y sistemas de relleno sanitario.

La EPA, bajo una misión de FEMA, proveyó apoyo a agencias federales y locales, municipios y entidades no gubernamentales en el manejo de residuos domésticos peligrosos desde noviembre de 2017 hasta abril de 2018³. Dicha agencia federal considera residuos domésticos peligrosos aquellos productos de uso doméstico que pueden incendiarse, reaccionar o explotar en ciertas circunstancias, o bien que son corrosivos o tóxicos. Estos requieren un cuidado especial cuando se dispone de ellos. Para evitar los riesgos potenciales asociados al manejo de los residuos domésticos peligrosos, es importante que las personas siempre supervisen su uso, almacenamiento y disposición en los hogares. La disposición inadecuada de estos desperdicios puede incluir verterlos por desagües, en el suelo o terreno, en alcantarillas pluviales o, en algunos casos, desecharlos con la basura regular, lo cual puede contaminar el medioambiente y representar una amenaza para la salud humana.

La misión de la EPA después del huracán María incluyó la recolección y disposición adecuada de residuos domésticos peligrosos, artículos electrónicos y enseres, así como de contenedores abandonados con aceites u otros materiales peligrosos, refrigerantes de refrigeradores o acondicionadores de aire y cilindros de gas comprimido, entre otros. También se recogieron latas de aerosoles, limpiadores y sustancias químicas de uso doméstico, plaguicidas, pinturas, computadoras y televisores, además de baterías de uso doméstico y baterías de automóviles o embarcaciones, que representaron un gran volumen de desperdicios debido a la falta de servicio de electricidad que afectó a la isla entera. Todos estos desechos se recogieron mediante centros de acopio municipales, eventos de recolección de un día y servicios de recogido, casa por casa, utilizando estrategias de participación e integración ciudadanas (figuras 2 y 3). Un elemento clave en la implementación del recogido de estos desechos es la segregación de materiales (figura 4).

Como parte de esta misión, se recogieron más de 322,148 contenedores de residuos domésticos peligrosos que hubiesen terminado en nuestros

Ejemplos de residuos domésticos peligrosos recolectados en la misión de la EPA después del huracán María

- ☑ Baterías de uso doméstico
- ☑ Baterías de automóviles y embarcaciones
- ☑ Pinturas y diluyentes de pintura
- ☑ Pintura en aerosol
- ☑ Bombillas fluorescentes
- ☑ Limpiadores y solventes para uso doméstico
- ☑ Pesticidas, herbicidas, repelentes de insectos



Figura 2. Centro de acopio de residuos domésticos peligrosos en Manatí



Figura 3. Centro de acopio de residuos domésticos peligrosos en Salinas

³ Asignación de misión de FEMA n.º 4339 DR-PR-EPA-03 (x16).

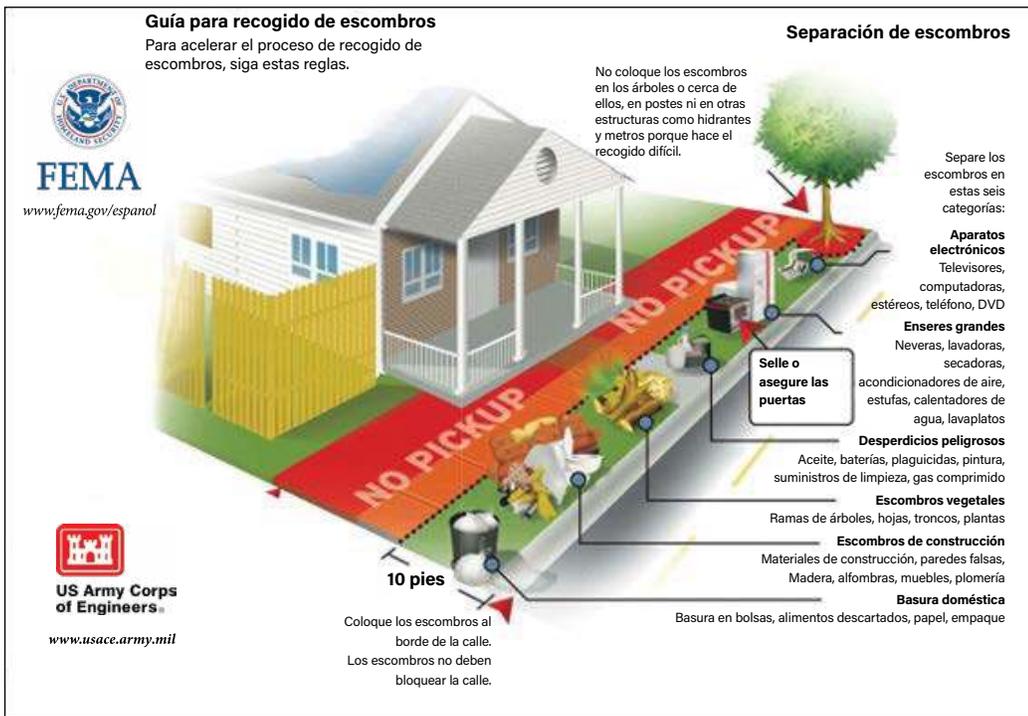


Figura 4. Guía para recogida de escombros de FEMA y USACE

vertederos y sistemas de relleno sanitario. Los materiales recolectados en mayor cantidad fueron los equipos electrónicos (141,523), los contenedores pequeños (138,652) y las baterías (32,013). Estos materiales se recogieron de forma adecuada y se exportaron sucesivamente a Estados Unidos para su disposición y/o reciclaje en lugares seguros y en cumplimiento de las leyes locales y federales.

La EPA también trabajó en la misión de FEMA, en conjunto con la Guardia Costera de Estados Unidos y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), para remover aceites, tanques de gasolina y desperdicios peligrosos de 377 embarcaciones que habían quedado encalladas o hundidas en las aguas costeras de Puerto Rico tras el paso de los huracanes. Esta misión incluyó la remoción y manejo de más de 35,000 galones de residuos de aceite⁴.

Evaluación de capacidad de los vertederos y sistemas de relleno sanitario

En respuesta a una petición de apoyo de la Junta de Calidad Ambiental, la EPA recibió una misión de FEMA para llevar a cabo una evaluación de la capa-

cidad de los vertederos y sistemas de relleno sanitario en Puerto Rico⁵. El estudio tenía dos objetivos principales:

1. Conocer el impacto en la pérdida de capacidad de los vertederos y sistemas de relleno sanitario tras el paso de los huracanes Irma y María.
2. Desarrollar proyecciones futuras de capacidad de los vertederos y sistemas de relleno sanitario en las condiciones actuales⁶.

La JCA y la EPA recopilaron los datos para este análisis entre abril y junio de 2018. En general, el análisis concluyó que Puerto Rico perdió más de 1 año de capacidad en los vertederos y sistemas de relleno sanitario debido a los escombros generados por los huracanes Irma y María. Las proyecciones futuras estiman que a la isla le quedan aproximadamente de 2 a 4 años de capacidad en estos sistemas si no se otorgan nuevos permisos para sistemas de relleno sanitario, no se abren nuevas celdas o no se identifican nuevos mecanismos para la reducción, la reutilización, el reciclaje y el compostaje de residuos sólidos.

Al concluir el estudio de análisis de capacidad, las proyecciones de generación de escombros de FEMA eran de 5.32 millones de yardas cúbicas (al

4 Asignación de misión de FEMA n.º 4339 DR-PR-EPA-03 (x16).

5 Asignación de misión de FEMA n.º 4339DR-PR-EPA-12.

6 La Junta de Calidad Ambiental (JCA), ahora Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), es el custodio de los datos desarrollados y recopilados en esta evaluación de capacidad de los vertederos y sistemas de relleno sanitario. La EPA fue contratada por FEMA, bajo una misión, con el fin de desarrollar esta evaluación para y en conjunto con la JCA (DRNA).

6 de junio de 2018). Esta proyección contrasta con los datos más recientes de FEMA con relación a la generación de escombros, con un total estimado de unos 12 millones de yardas cúbicas (para abril de 2019). Existe una diferencia de aproximadamente 6.49 millones de yardas cúbicas de escombros generados que fueron documentados por FEMA, más del doble de lo que la agencia había documentado para junio de 2018. Por consiguiente, Puerto Rico pudo haber perdido cerca de 2 años de capacidad debido a los escombros generados por los huracanes Irma y María. Además, a la isla podrían quedarle de 1 a 3 años de capacidad futura si no se toman acciones urgentes para atender el manejo integrado de residuos sólidos.

Por otra parte, estos datos no consideran la posible generación adicional de escombros debido a los procesos de recuperación y reconstrucción, tal



como el programa de demolición y remoción en propiedades privadas en el que se prevé demoler miles de estructuras que generarán millones de yardas cúbicas de nuevos escombros. De no encontrarles un uso beneficioso, estos escombros representarán retos adicionales para la capacidad de los vertederos y sistemas de relleno sanitario en Puerto Rico.

Conclusiones, recomendaciones y lecciones aprendidas

A raíz de todos los datos recopilados, se confirma que la mayoría de los escombros generados por los huracanes Irma y María terminaron ocupando el limitado espacio que quedaba en los vertederos y sistemas de relleno sanitario de Puerto Rico. Solo a una pequeña cantidad de los escombros se le pudo dar un uso beneficioso a través de la reutilización, el reciclaje y la generación de viruta y composta, entre otros.

Esta experiencia nos demuestra que la isla no cuenta con un Plan Integral de Manejo de Residuos Sólidos implementado antes, durante y después de los desastres. Es por eso que el Plan de Recuperación de Puerto Rico desarrollado por el Gobierno de Puerto Rico en colaboración con agencias locales y federales, con las aportaciones de diversas entidades, identifica como prioridad para el proceso de recuperación el desarrollo y la implantación de un Plan Integral de Manejo de Residuos Sólidos (Gobierno de Puerto Rico, 2018b). El Plan de Recuperación de Puerto Rico también establece

que hay que aumentar la capacidad de los sistemas de relleno sanitario, reparar los sistemas de relleno sanitario impactados, cerrar los vertederos que no cumplan con la ley e identificar y eliminar los vertederos clandestinos e ilegales.

Para lograr todo esto, Puerto Rico tiene que identificar una visión de futuro para el manejo integral y sustentable de los residuos sólidos que incluya la reducción en la fuente, la reutilización, el reciclaje, el compostaje y la disposición o manejo final de estos desperdicios. Dicha visión debe desarrollarse a través de un esfuerzo multisectorial que incluya a los gobiernos municipales, central y federal, al sector privado, a entidades sin fines de lucro y a la academia, entre otros. La visión no debe plasmarse solo en papel, sino ir acompañada de mecanismos para lograr su implementación, monitoreo de progreso y evaluación.

Puerto Rico también tiene que fortalecer su capacidad para tener un Programa de Manejo de Residuos Municipales en el DRNA capaz de atender las necesidades de cumplimiento y permisos en los vertederos y sistemas de relleno sanitario de la isla, entre otros. La EPA está colaborando con el DRNA para apoyar estos esfuerzos. Por ejemplo, el DRNA recibirá \$40 millones de fondos adicionales de la EPA, otorgados por el Congreso de Estados Unidos luego del desastre, para fortalecer su programa de manejo de residuos municipales y desarrollar las bases para delinear la visión de futuro mediante la actualización del estudio de caracterización de los



residuos sólidos en Puerto Rico, el desarrollo de un Plan Integral de Manejo de Residuos Sólidos y la implantación de estudios de mercado para industrias de reciclaje, entre muchas otras posibles iniciativas y proyectos demostrativos. La EPA colabora también con otras agencias federales, tales como FEMA, el programa Desarrollo Rural del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA Rural Development), el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano (Department of Housing and Urban Development o HUD) y la Administración de Desarrollo Económico (Economic Development Administration o EDA), con el fin de apalancar diversas fuentes de fondos federales para contribuir al manejo integral de escombros y residuos sólidos en la isla.

A nivel municipal, también es importante fortalecer la planificación y gestión del manejo de escombros generados por desastres naturales actualizando los Planes de Manejo de Escombros por Desastres. Desde 2008 hasta el presente, 34 de los 78 municipios de Puerto Rico han presentado a FEMA borradores de un Plan de Manejo de Escombros de Emergencia. De este total, cerca de una

docena de municipios completaron las revisiones solicitadas conforme a las guías de elaboración de Planes de Manejo de Escombros de FEMA. Cabe señalar que el desarrollo de Planes de Manejo de Escombros por Desastres es una actividad voluntaria y que, hasta el momento, ningún requisito de FEMA obliga a los municipios a tener un plan para cualificar para fondos por desastre. No obstante, se recomienda que todos los municipios actualicen sus planes cada 2 años, o bien después de un desastre o evento catastrófico. Por consiguiente, luego de un evento como el huracán María, todos los municipios deberían comenzar a reformular sus planes fundamentándose en las experiencias de este evento. A nivel federal, existen guías y documentos de referencia, tanto de FEMA como de la EPA, para asistir a las jurisdicciones locales en el desarrollo e implementación de Planes de Manejo de Escombros por Desastres (Federal Emergency Management Agency, 2018b; United States Environmental Protection Agency, 2019).

Uno de los principales elementos señalados después de los huracanes fue la falta de identificación y designación, antes del desastre,

de centros temporeros de acopio y manejo de escombros en los municipios. A raíz de esta experiencia, todos los municipios deben identificar los lugares para dichos centros y obtener una preaprobación de uso por parte de las agencias locales y federales, así como contar con un plan para su manejo. Esto ayudará a que los municipios puedan empezar a segregar los materiales inmediatamente después de un desastre. Uno de los mayores retos a la hora de dar un uso beneficioso a los escombros generados por los huracanes Irma y María, particularmente al material vegetativo, fue que estos se hallaban mezclados y contaminados con escombros de construcción, basura y otros residuos. El hecho de no lograr una segregación de materiales efectiva impidió aprovechar oportunidades de uso beneficioso, reciclaje y compostaje, y provocó una pérdida significativa en la capacidad futura de los vertederos y sistemas de relleno sanitario en la isla.



GEOGRAFÍA DE LOS DESPERDICIOS SÓLIDOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN TRAS EL PASO DEL HURACÁN MARÍA

POR CRISTINA I. RAMÍREZ COLÓN

El manejo de los desperdicios sólidos, popularmente conocidos como “basura”, es una de las grandes crisis que enfrenta la isla. A raíz del paso de los huracanes Irma y María en septiembre de 2017, la presencia de escombros, material vegetativo y desperdicios sólidos urbanos aumentó significativamente. La generación desmedida de artículos de primera necesidad, comida en proceso de descomposición y materiales utilizados para la temporada de huracanes, entre otros, agravó el problema de manejo de desperdicios sólidos que enfrenta el país desde hace más de una década. Este artículo busca recoger la realidad actual de la isla en cuanto al manejo de los desperdicios sólidos, las experiencias luego de los huracanes, la respuesta de los gobiernos, la gestión del tercer sector y la importancia de buscar estrategias reales que permitan trabajar con este tema.

Actualmente, Puerto Rico cuenta con 28 espacios para la disposición de desperdicios sólidos, de los cuales 11 están designados como sistemas de relleno sanitario (SRS) con celdas de protección¹, que evitan la contaminación de los recursos naturales. Los 17 restantes son vertederos, espacios abiertos que sirven para disponer y enterrar los desperdicios sólidos sin ningún tipo de parámetro que aporte a la conservación ambiental.

Estudios revelan que la generación de desperdicios sólidos en la isla es de 5.56 libras por persona al día. La Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS) y el estudio de caracterización realizado en 2003 por Wehran (Wehran – Puerto Rico Inc. y Shaw EMCON/OWT, Inc., 2003) establecieron los residuos de mayor generación en la isla en aquel entonces (figura 1).

¹ Una celda de protección o *liner* es un revestimiento diseñado, construido e instalado para evitar cualquier migración de desecho del relleno sanitario al suelo subsuperficial adyacente, o bien al agua subterránea o superficial, en cualquier momento durante la vida activa de dicho relleno (RCRA, 40 C.F.R. § 264.301 - Design and operating requirements).

Existe una amplia gama de desperdicios sólidos urbanos que se gestionan de forma particular: los llamados desperdicios peligrosos². Muchos de ellos se generan en nuestras casas y no deben mezclarse con los desperdicios sólidos de la corriente regular. Por otro lado, en nuestros hogares, centros de trabajo, comercios y restaurantes se generan los desperdicios sólidos no peligrosos definidos en el Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos No Peligrosos de la Junta de Calidad Ambiental (1997), hoy bajo la sombrilla del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico.

Uno de los graves problemas en el manejo de los desperdicios sólidos es su segregación o separación en la fuente. Lamentablemente, el desconocimiento sobre la segregación de materiales llevó a los municipios a mezclar muchos de los desperdicios generados por el huracán María, que terminaron enterrándose a lo largo de toda la isla. La figura 2 muestra la imagen de una limpieza realizada tras el paso del ciclón para el recogido de escombros y material vegetativo en una comunidad de Santurce.

Agencias federales, estatales y municipales, así como representantes del tercer sector, buscaron alternativas para gestionar los desperdicios sólidos en las comunidades y los espacios designados para la disposición temporera (figuras 3a y 3b). El grupo de trabajo de la Agencia Federal

Estudio de caracterización: porcentaje de materiales analizados (2003)

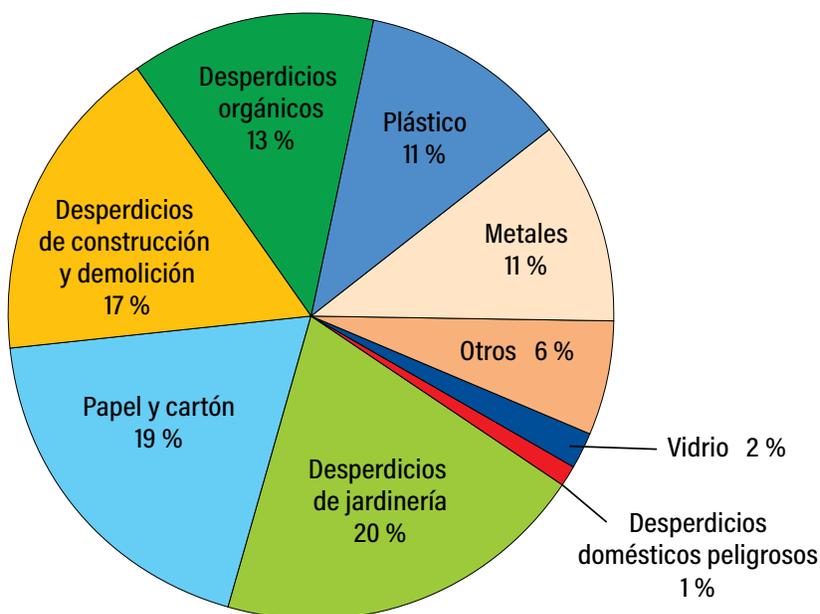


Figura 1. Estudio de caracterización realizado por Wehran – Puerto Rico Inc. y Shaw EMCON/OWT, Inc. en 2003

para el Manejo de Emergencias (FEMA) dedicado a la gestión de los desperdicios se encargó de la recolección de residuos domésticos peligrosos como tanques de propano, residuos electrónicos y baterías, entre otros. En total, se recogieron 322,148 contenedores de esos materiales a lo largo de toda la isla (Guerrero Pérez, 2019).

En diciembre de 2017, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Junta de Calidad Ambiental

Figura 2. Limpieza de escombros en una comunidad de Santurce tras el paso del huracán María



² La Ley de Conservación y Recuperación de Recursos Naturales de Estados Unidos (Resource Conservation and Recovery Act o RCRA) define lo que se consideran desperdicios sólidos peligrosos. Para más definiciones, véase la Regla 102 del Reglamento para el Control de los Desperdicios Sólidos Peligrosos de Puerto Rico.



Figuras 3a y 3b. Recogido de material vegetativo realizado por el Corredor del Yaguazo en Cataño

(JCA) llevaron a cabo una evaluación con la intención de conocer las condiciones actuales, la capacidad y la vida útil de los vertederos en la isla. En los resultados, se observó lo siguiente: daños por erosión en los taludes, exposición de basura en pendientes, falta de material de cobertura diaria, rupturas en el sistema de recolección de lixiviados, problemas en el sistema de recolección de gases, falta de camiones y canales de drenaje pluviales dañados, entre otros.

El Gobierno de Puerto Rico estima, en su Plan de Recuperación Económica y de Desastres para Puerto Rico, que se necesitan aproximadamente \$160 millones para la reparación y el cierre de los vertederos y \$176 millones para aumentar la capacidad de vertederos para deshacerse de los residuos asociados a los huracanes y gestionar adecuadamente los residuos futuros (Gobierno de Puerto Rico, 2018a, p. 215, NCR 8 y NCR 9).

La generación desmedida y el pobre manejo de los desperdicios sólidos amenazan los cuerpos de agua. El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) cuenta con un capítulo enfocado

en la prevención de los desechos acuáticos en su Plan Integral de Manejo y Conservación. Su meta es mejorar la calidad del hábitat y los valores estéticos, recreativos y económicos del estuario de la bahía de San Juan, asegurando que la cuenca esté libre de desechos acuáticos. Para prevenir los desechos acuáticos debemos enfocarnos en alternativas y acciones dirigidas a la disminución y la gestión correcta de los desperdicios sólidos tanto en actividades terrestres como en actividades acuáticas. Es por esta razón que, a raíz del huracán, el PEBSJ continuó diciendo presente y gestionando de manera organizada la recogida y disposición correcta de los desperdicios sólidos a lo largo de la cuenca (figura 4).

Datos de la Oficina Central de Recuperación, Reconstrucción y Resiliencia (COR3) desglosan los fondos del Programa de Asistencia Pública de FEMA, incluyendo la categoría A: "Recogido de escombros". En la tabla 1 se presenta el total de fondos asignados para dicha categoría en los ocho municipios pertenecientes a la cuenca del estuario: Bayamón, Carolina, Cataño, Guaynabo, Loíza, San Juan, Toa Baja y Trujillo Alto.



Figura 4. Recogido de material vegetativo en la Reserva Estuarina de la Laguna del Condado

TABLA 1.

Total de fondos obligados y desembolsados para el recogido de escombros en la cuenca del estuario de la bahía de San Juan

Municipio	Total obligado	Total desembolsado	Porcentaje (%) desembolsado
Bayamón	\$11,778,200	\$9,679,824	82.18
Carolina	\$11,247,738	\$9,948,138	88.45
Cataño	\$6,937,460	\$5,023,091	72.42
Guaynabo	\$4,091,070	\$2,501,598	61.15
Loíza	\$2,348,903	\$2,348,903	91.52
San Juan	\$22,950,101	\$21,228,123	92.5
Toa Baja	\$2,871,498	\$2,614,319	91.04
Trujillo Alto	\$7,612,714	\$6,127,946	80.5
Total cuenca	\$69,837,684	\$59,471,942	85.15

Un total de aproximadamente \$70 millones se destinó al recogido de escombros en la cuenca del estuario. San Juan fue el municipio con más fondos desembolsados, pero en ocasiones aún se encuentran parchos de escombros localizados tanto en áreas urbanas como en áreas rurales de la capital. Cabe destacar que dentro de la cuenca solo existen dos vertederos (Carolina y Toa Baja), por lo que muchos de los escombros recogidos terminaron enterrados en espacios fuera de la cuenca o dispersos como vertederos clandestinos.

Tras el paso del huracán María, asumiendo su responsabilidad de tomar acción para ayudar y reducir el impacto en las comunidades, el PEBSJ removió escombros de varias áreas a lo largo de la cuenca hidrográfica. Como parte de la campaña de alivio, mejor conocida como “Estuario Revive”, se llevaron a cabo las actividades de remoción de escombros presentadas en la tabla 2.

TABLA 2.

Iniciativas de limpieza en las comunidades estuarinas

Fecha	Lugar	Colaboradores	Material removido
19/oct/17	Parque Jaime Benítez, Condado	Voluntarios	1,105 metros cúbicos
31/oct-4/nov/17	Las Monjas, Caño Martín Peña	ENLACE	425 metros cúbicos
4-7/dic/17	Morcelo, Caimito	Centro Cultural de Caimito, Foundation for PR, EPA, Cuerpo de Bomberos de PR y voluntarios	51 metros cúbicos
11-13/dic/17	Juana Matos, Cataño	Foundation for PR, Cuerpo de Bomberos, Corredor del Yaguazo	5 bolsas grandes de basura
13/feb/18	Laguna del Condado	Voluntarios	15 bolsas grandes de basura
18/mar/18	Ocean Park	Voluntarios	Dato no disponible

Fue imperativo que el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan y demás organizaciones del tercer sector se unieran y apoyaran la gestión, manejo y recogido de materiales en las comunidades. La experiencia y la reacción de los diferentes sectores permitieron un proceso de aprendizaje, autoevaluación y acción para futuras emergencias y respuestas (figuras 5a y 5b).

La geografía de los desperdicios sólidos tiene sus características particulares. Cada uno de los municipios localizados en la cuenca estuarina posee una demografía, espacios y sistemas de manejo de desperdicios sólidos diferentes. El manejo correcto de dichos residuos no solo evita el despilfarro económico en su transporte y disposición, sino que toma medidas para prevenir el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua. El fenómeno de la basura va más allá de una temporada huracanada: es un problema de salud pública (aumenta las enfermedades), un problema ambiental (contamina espacios y recursos hídricos), un problema estético (afecta las ciudades, el turismo y los recursos naturales) y, en general, un problema para nuestra calidad de vida.

Figuras 5a y 5b. Comunidad Las Monjas del caño Martín Peña antes (a) y después (b) de los esfuerzos de limpieza



Tres meses después del huracán María, que azotó la isla en septiembre de 2017, la Compañía de Turismo de Puerto Rico emitió un comunicado de prensa declarando que el país estaba oficialmente abierto al turismo (Puerto Rico Tourism Company, 2017).

A raíz de las experiencias vividas durante los huracanes, sale a relucir la importancia de la concienciación, la educación, la preparación y el manejo de los desperdicios sólidos. Los esfuerzos individuales y colectivos tocaron la fibra de los movimientos sociales y voluntarios. La necesidad y el reflejo de las alianzas y la participación ciudadana resaltaron el compromiso que existe en nuestra sociedad. El concepto de cuenca, interconexión y relación entre lo rural, lo urbano y lo costero permite enfocar y abarcar más allá de los espacios más transitados. Seamos más conscientes, responsables y justos con nuestros ecosistemas. Vivimos en un mundo con recursos limitados, ignorando que los desperdicios son recursos más que desechos. Aprovechemos a nuestro favor este desecho como recurso.



PERPETÚAN LAS CAMPAÑAS ANTI-LITTERING LA INEQUIDAD AMBIENTAL

POR MARCO ANTONIO ABARCA DÍAZ

Introducción

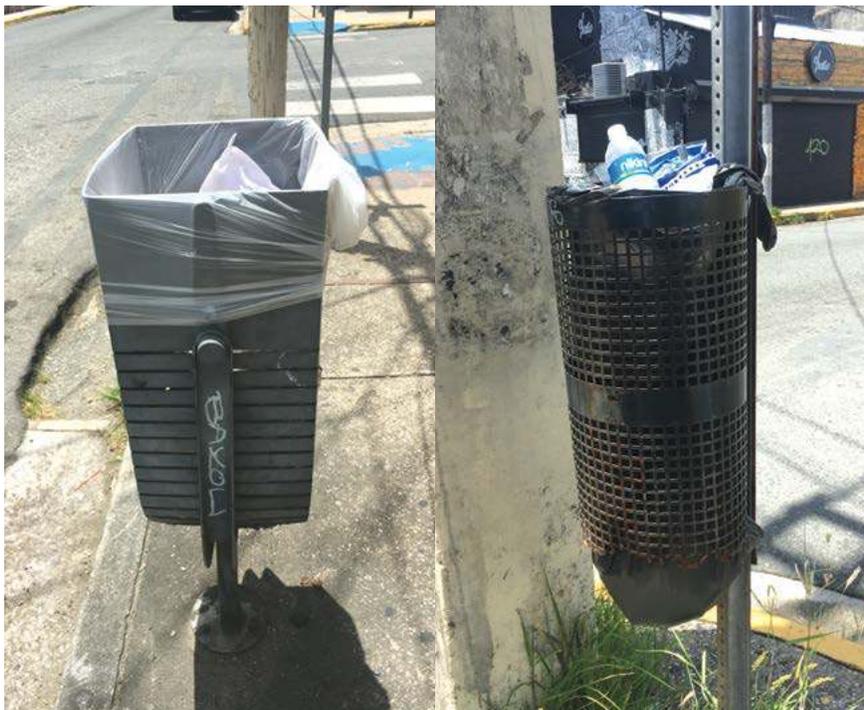
La Ley para Castigar a Toda Persona que Lance Desperdicios en Sitios Públicos o Privados (Ley 21 de 1969, según enmendada), establece que “como en otros países del mundo, es menester exigirle a nuestra ciudadanía, con toda la firmeza necesaria, que se abstenga de tirar [basura] en la vía pública y que se abstenga también de afear, consciente o inconscientemente, nuestras hermosas playas y sitios de recreo”.

Durante varias décadas se han realizado en Puerto Rico múltiples campañas dirigidas a prevenir el lanzamiento de basura en la vía pública y promover que se tire la basura al zafacón, pero sin educar —o al menos reflexionar— sobre el impacto ambiental de esa acción. Este ensayo plantea que cualquier campaña contra el lanzamiento de basura que no vaya acompañada de condiciones que aseguren la reducción de desechos —o al menos la separación de residuos y el manejo adecuado de lo que realmente es basura— estaría perpetuando los problemas de inequidad ambiental causados por la exposición desigual a los riesgos y peligros ambientales en comunidades próximas a rellenos municipales o cuerpos de agua contaminados por el mal manejo de desechos en la fuente.

La información de base de este ensayo surge de una investigación auspiciada por la Fundación Segarra Boerman y desarrollada por Tiguere Corp. con el fin de diseñar una campaña contra el lanzamiento de basura en Puerto Rico. Dicha investigación se llevó a cabo siguiendo un método cualitativo para proveer a la campaña un marco de referencia conceptual-general¹, anclado en un marco de referencia particular sobre las condiciones existentes en un entorno urbano complejo, a saber, la calle Loíza en Santurce².

¹ Incluye: (a) revisión de política pública puertorriqueña; (b) revisión de literatura especializada en temas de lanzamiento de basura y estudios comparativos de campañas contra el lanzamiento de basura realizados en otros países; (c) revisión de una muestra de artículos publicados en la prensa local durante los últimos diez años; (d) entrevistas con representantes de organizaciones que trabajan en temas de manejo de basura y salud ambiental en Puerto Rico, a saber, Basura Cero Puerto Rico, ConiWaste, Agencia de Protección Ambiental, Martín Peña Recicla, La Marañá, Organización Pro-Ambiente Sostenible, Para la Naturaleza y Reciclaje del Norte.

² Se llevó a cabo un estudio de caso basado en la documentación de las condiciones de la calle Loíza, específicamente 1.6 km lineales entre la calle Solado Serrano y la avenida De Diego. Se realizaron observaciones durante tres semanas, de lunes a sábado, con distintos horarios de inicio: 10:00 a. m. (primera semana) y 4:00 p. m. (segunda semana). En la tercera semana se hicieron visitas planificadas a distintos espacios para corroborar las condiciones observadas durante las primeras dos semanas. Finalmente, el lunes 3 de septiembre de 2018 (*Labor Day*) se realizó un recorrido para observar las condiciones del área luego de un fin de semana largo.



Figuras 1 y 2. Zafacones peatonales de color gris y negro en las aceras de la calle Loíza

Lanzamiento de basura

La Ley Núm. 21 de 1969 tipifica el lanzamiento de basura como el acto de colocar, depositar, echar o lanzar u ordenar colocar, depositar o lanzar desechos a vías públicas, parques, plazas, playas, cuerpos de agua o cualquier otro sitio público, así como a cualquier propiedad privada perteneciente a otra persona o al Estado.

Desechos peatonales

La tasa de abandono de residuos (*littering*) es la medición unitaria de este problema y se determina contando la cantidad de desechos dispuestos alrededor de un zafacón. Estudios realizados a nivel nacional en Estados Unidos han determinado que, en espacios concurridos, la tasa de abandono de residuos es de un 17 %. Esto significa que, de cada 100 objetos desechados en la vía pública, 83 se depositan en el zafacón y

17 fuera del zafacón. Los estudios también han establecido que, mientras más grande es la distancia hasta un zafacón, mayor es la tasa de abandono de residuos. De hecho, las recomendaciones para los espacios comerciales incluyen que los zafacones para peatones se coloquen a no más de 10 pies de un negocio, con una distancia de entre 20 y 30 pies entre uno y otro, y que los comercios como restaurantes y barras también coloquen ceniceros fuera del establecimiento.

En la calle Loíza no existen las condiciones necesarias para realizar una campaña contra el lanzamiento de basura que integre la separación de materiales en la fuente:

- No existen suficientes zafacones para peatones. De hecho, hay solo 15 zafacones para peatones, con una distancia promedio entre zafacones de 656 pies en la acera sur y de 2,625 pies en la acera norte. La calle Loíza tiene un tráfico vehicular constante, por lo que no se puede asumir que la gente cruzará la calle para depositar su basura. Además, los zafacones presentes son grises o negros, colores difíciles de ver a distancia (figuras 1 y 2).
- Los zafacones ubicados en la calle Loíza son inadecuados para separar materiales. Aunque cumplen su función básica, pues no se observó basura peatonal a su alrededor, tienen cabida única, contienen desechos mixtos y no sirven para desviar el material reciclable de la basura. Esto a pesar de que existen personas de escasos recursos que rescatan material reciclable en el área. Además, los zafacones para peatones no tienen un espacio dedicado al



Figura 3. Acumulación de basura y colillas en una acera de la calle Loíza



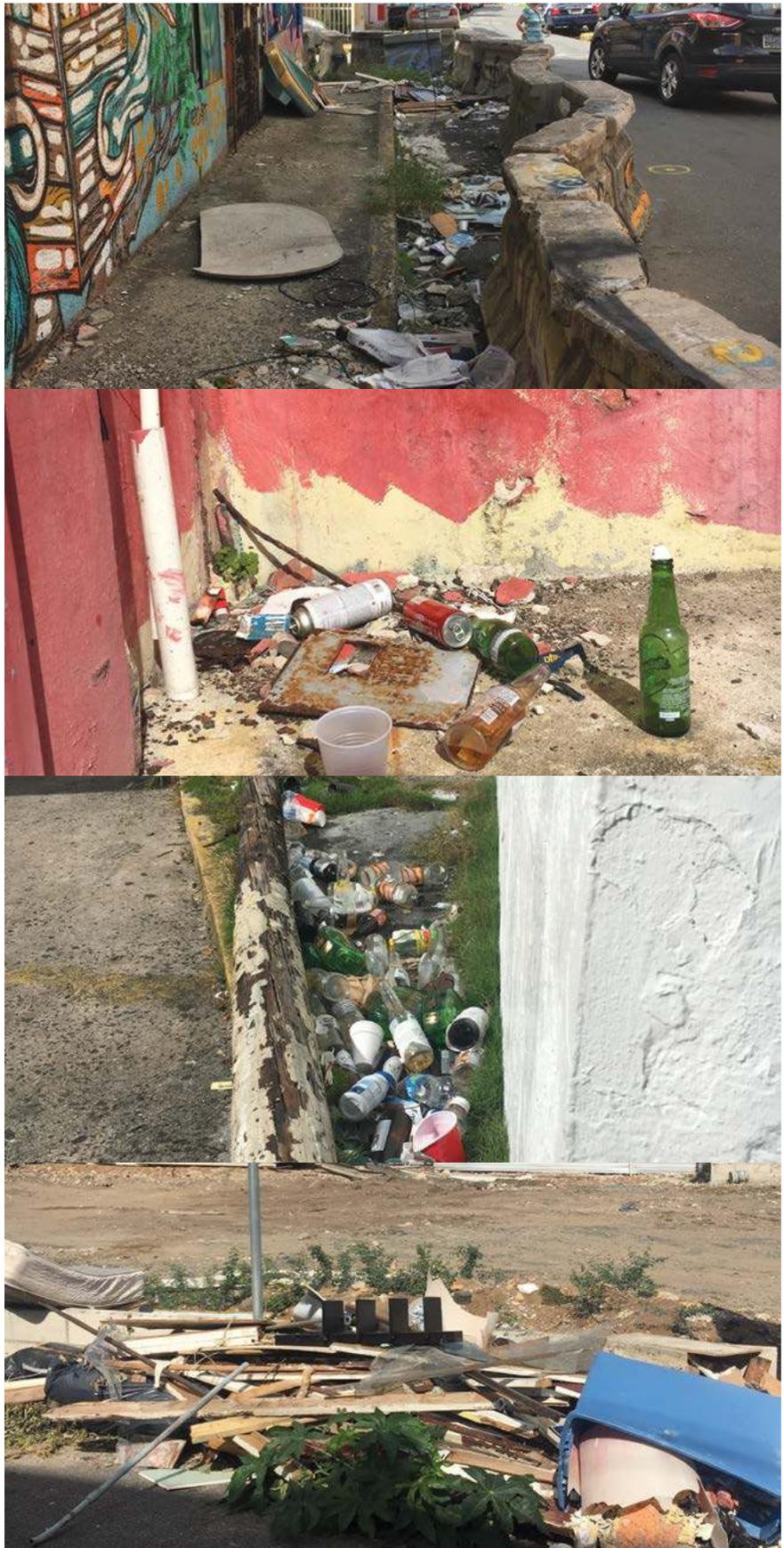
depósito de colillas. De hecho, se observó una gran cantidad de colillas en las calles y aceras del área, especialmente cerca de barras y lugares de encuentro (figura 3).

- En la calle Loíza hay 11 *hot-spots* que operan como imanes de basura. Estos espacios se caracterizan por ser lugares de reunión o edificios abandonados que acumulan una gran cantidad de basura lanzada por los peatones. El problema no se resuelve simplemente colocando zafacones, pues la existencia de estos lugares expresa aspectos complejos del tejido social del entorno que requieren otro tipo de estrategias de planificación urbana (figuras 4 a 7).

Desechos de construcción

La Ley Núm. 11 del 19 de enero de 1995 (Ley 11 de 1995) introduce una enmienda a la Ley Núm. 21 de 1969 que establece que “será ilegal utilizar las vías públicas y sus áreas anexas dentro de la servidumbre de paso para el depósito o almacenaje de materiales de construcción, con excepción de aquellos que hubiesen de usarse en la reparación o reconstrucción de la vía pública”.

Durante la documentación de las condiciones de la calle Loíza, se observaron edificios en proceso de remodelación y demoliciones con una gran cantidad de desechos abandonados durante días y semanas a cielo abierto, sin protección, permeando sustancias hacia las aceras, cunetas y rejillas de alcantarillado pluvial. También se observaron escombros depo-



Figuras 4, 5, 6 y 7. Lugares abandonados que operan como imanes de basura en la calle Loíza



Figuras 8, 9 y 10. Presencia de escombros junto a edificios y contenedores de basura en la calle Loíza

sitados en aceras y cunetas o al lado de los contenedores dispuestos en las esquinas para los desechos comerciales y residenciales (figuras 8 a 10).

Desechos comerciales

La calle Loíza siempre ha sido un área mixta residencial y comercial. Tras un largo período de decadencia y cierre de negocios tradicionales, experimenta un resurgimiento comercial y, al día de hoy, incluye aproximadamente 32 restaurantes, 9 cafetines, 17 barras, 35 comercios con algún tipo de servicio, 14 tiendas de ropa, 6 discotecas, 2 bancos, 3 colmados, 3 farmacias y 2 ferreterías.

La Ley Núm. 411 del 8 de octubre de 2000 enmendó la Ley para la Reducción y el Reciclaje de los Desperdicios Sólidos en Puerto Rico (Ley Núm. 70 de 1992) con el fin de obligar al sector privado a participar en la meta de reciclar el 35 % de los residuos sólidos que se generan en Puerto Rico mediante la implementación de planes de reciclaje en cualquier institución comercial o no comercial que emplee a más de 10 personas.

En la calle Loíza no existen las condiciones necesarias para realizar una campaña contra el lanzamiento de basura que integre la reducción de desechos comerciales y la separación en la fuente:

- Los comercios, en general, no honran las obligaciones impuestas por ley. Se observó que algunos no separan el material reciclable antes de que salga del negocio. Este material se deposita mezclado en los contenedores ubicados en las esquinas de la calle Loíza.
- La infraestructura para el manejo de desechos es inadecuada. Los contenedores existentes no sirven para recibir material separado en la fuente ni para separar el material en la calle. Son contenedores de cabida única en los que se mezcla todo tipo de materiales, sean o no reciclables. Su frecuente saturación no se debe a la falta de contenedores ni a la poca cabida de los que existen. Gran parte del material ubicado dentro y alrededor de los contenedores no es basura, sino material reciclable. Si dicho material se separara para el reciclaje (por ejemplo, las cajas de cartón sin desarmar), se liberaría espacio suficiente para depositar lo que



Figura 11. Material reciclable desechado en contenedores de basura común en la calle Loíza

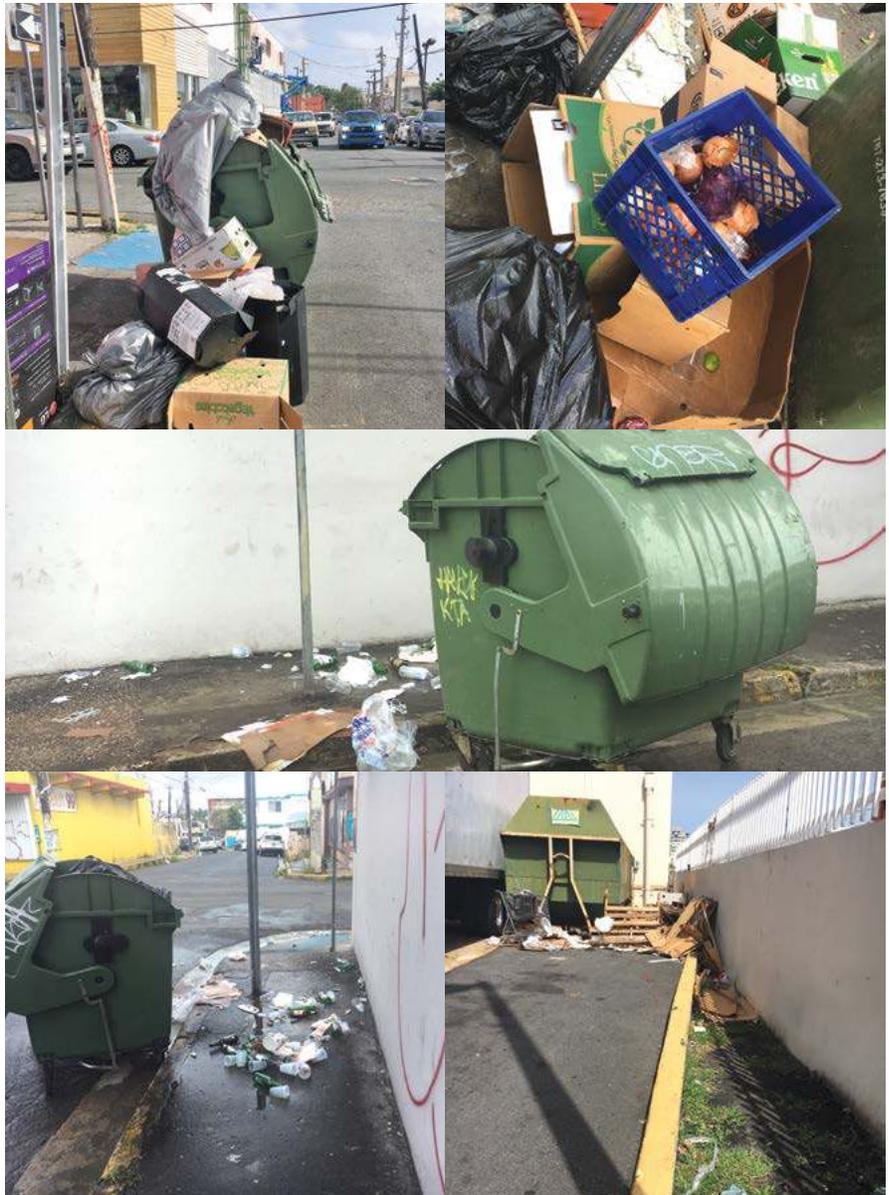


realmente es basura (figura 11).

- No existen sistemas de recogido y transporte de materiales reciclables, como vidrio, papel y cartón, ni de materiales reusables, como los aceites. Se observó que algunos restaurantes contratan equipo y servicios de recogido de aceites de cocinar usados, pero también que muchos otros disponen de los aceites en cajas, contaminando así las aceras (figura 12). Asimismo, se constató que el aceite contenido en esas cajas es reutilizado por personas de bajos recursos que lo pasan a recipientes pequeños, causando derrames en las cunetas y el alcantarillado (figura 13).
- Los comercios colocan desechos contaminantes en las aceras tanto en recipientes abiertos como en bolsas de basura, algunas de ellas rotas y con su contenido derramado por la calle y las aceras (figuras 14 a 17). El problema de contaminación en la calle no se limita a los negocios pequeños, sino que incluye a comercios grandes que, a pesar de tener espacio para acumular y trasladar sus desechos, mezclan el material reciclable y la basura en contenedores de gran cabida que se desbordan y derraman los desechos, posteriormente transportados por escorrentías de lluvia hacia las aceras, cunetas y alcantarillas (figura 18).



Figuras 12 y 13. Disposición y derrame de aceites de cocina usados en la calle Loíza



Figuras 14, 15, 16, 17 y 18. Desechos derramados por bolsas de basura rotas y contenedores desbordados en la calle Loíza

Impacto de la política pública

Según la Ley Núm. 21 de 1969 y sus enmiendas, la solución al problema del lanzamiento de basura "se consigue con una campaña educativa adecuada, con la ayuda de todas las asociaciones

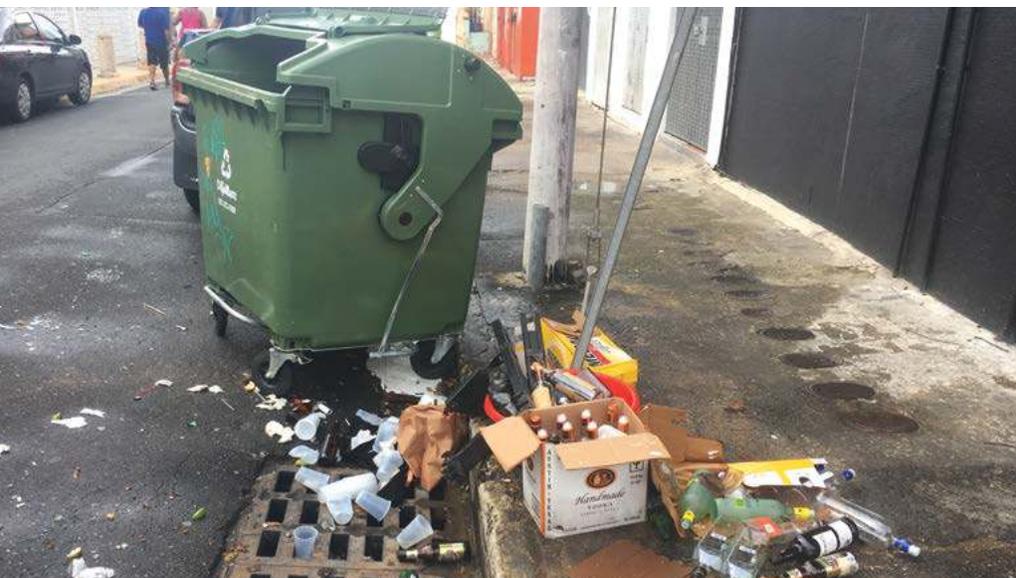


Figura 19. Acumulación de basura y escombros junto a letreros de prohibición en la calle Loíza

cívicas, más solo tendrá éxito con el establecimiento de sanciones penales". Asimismo, se establece que "nuestra meta hacia una civilización mejor conlleva necesariamente legislación hacia esos efectos".

La huella del componente punitivo de esa ley se observó en la ineffectividad manifiesta de los rótulos que prohíben el lanzamiento de basura en la calle Loíza. Se documentaron 4 de estos letreros que fijan sanciones monetarias a los violadores, algunos de ellos acompañados por letreros destinados a reservar espacio para colocar contenedores de basura. Durante las visitas realizadas a dichos espacios, se observó que al pie de los letreros se lanzan basura y escombros de construcción (figura 19).

Figura 20. Acumulación de basura cerca de rejillas de agua pluvial en la calle Loíza



El componente educativo de esa ley se ha implementado en la isla, mayormente, a través de campañas de comunicación unidireccional o campañas de comunicación y acción realizadas en ríos y playas, pero sin atender los puntos de origen de algunos de los contaminantes que llegan a esos cuerpos de agua. En la playa de Ocean Park, por ejemplo, se llevan a cabo intervenciones frecuentes para prevenir el lanzamiento de basura o mitigar sus efectos. En la calle Loíza, sin embargo, existen unas pocas chapas sembradas en el pavimento con el siguiente mensaje: "No contamines... llega a la playa". Las chapas se sitúan cerca de las rejillas de agua pluvial que, a su vez, están cerca de contenedores saturados alrededor de los cuales se deposita basura en el piso, justo al lado de los letreros que advierten de las multas por lanzamiento de basura (figura 20).

La documentación de las condiciones de la calle Loíza permitió concluir que no hay servicios públicos que lleven a cabo la limpieza periódica de las aceras, calles y alcantarillas. Tampoco existen iniciativas privadas o de voluntarios que realicen este tipo de acciones con regularidad. Se observó que algunos vecinos y negocios barren las aceras: algunos materiales se recogen y otros se desplazan hacia las cunetas, mientras que una gran cantidad de material pequeño y contaminantes terminan en el alcantarillado de aguas pluviales (figuras 21 a 27).

El agua de lluvia arrastra todo tipo de desechos, bacterias, aceites, químicos, metales y otros contaminantes. Las escorrentías se recogen mediante sistemas de drenaje pluvial y se descargan en



cuerpos de agua locales. La Casa de Bombas Baldorioty de Castro recoge las escorrentías pluviales del área delimitada al norte por la avenida McLeary, al sur por la avenida Eduardo Conde, al este por la calle Taft y la calle Igualdad y al oeste por la calle Laguna, al sur de la avenida Baldorioty de Castro. El sistema de alcantarillado pluvial descarga en un canal que desemboca en la laguna Los Corozos, la cual descarga a su vez en la laguna San José.

La contaminación de cuerpos de agua genera una exposición desigual a riesgos y peligros medioambientales en comunidades próximas a cuerpos de agua impactados por las descargas de aguas pluviales provenientes — entre otros lugares— de la calle Loíza. Algunas de ellas son Villa Palmeras, Playita, Shanghai, Cantera, Embalse y Caño Martín Peña, comunidades que han cargado históricamente con la inequidad económica y social.

Para evitar que la realización de una campaña contra el lanzamiento de basura en la calle Loíza perpetúe los problemas de inequidad ambiental en esas comunidades, sería necesario promover mensajes consecuentes con la responsabilidad moral, social y legal de todos los actores sociales involucrados en el problema y fomentar formas de producción, comercialización y consumo sostenibles, así como garantizar las condiciones necesarias para reducir los desechos —o al menos separar el material reciclable en la fuente— y asegurar el manejo adecuado de lo que realmente es basura.



Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26 y 27. Desplazamiento de basura hacia el alcantarillado de aguas pluviales en la calle Loíza



RECONOCIMIENTO DE MATERIALES DESPUÉS DEL HURACÁN MARÍA: VERTEDEROS CLANDESTINOS EN LA CUENCA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

POR SOLEDAD GAZTAMBIDE ARANDES Y JULIO C. VERDEJO ORTIZ

Durante décadas, Puerto Rico ha enfrentado una crisis en el manejo de materiales descartados con efectos nocivos en los ecosistemas que nos rodean. Esta crisis tiene múltiples orígenes que convergen: las dinámicas de producción e importación en la economía del país, las prácticas de consumo y las costumbres sobre qué y cómo descarta la población y las respuestas de política pública de un Estado con crecientes limitaciones presupuestarias.

Uno de los efectos de esta crisis es la gran cantidad de materiales que se depositan informalmente en distintos lugares urbanos, rurales, costeros y montañosos. Estos vertederos clandestinos o depósitos ilegales se convierten en diversas fuentes de contaminación que pueden afectar cuerpos de agua como ríos y quebradas. En demasiados casos, los desechos terminan en nuestras costas, donde se suman a los 7 millones de toneladas de materiales que llegan cada año a los océanos globales (Schilling, 2014).

Se estima que la población de Puerto Rico produce anualmente más de 4 millones de toneladas de materiales desechados. De estos se reciclan 280,000 toneladas, lo que representa tan solo un 7 % (Autoridad de Desperdicios Sólidos, 2008b). Ante el cierre de vertederos y la falta de políticas y servicios que promuevan la reducción, desvío y reciclaje, a los que se añade la condición fiscal de las agencias estatales y municipales, la población —y posiblemente el sector privado y municipal— recurre a la utilización de predios baldíos, fincas, carreteras rurales y calles urbanas como lugares para depositar materiales descartados.

Este comportamiento puede tener su origen en la costumbre histórica de manejo de los materiales en la ciudad. En el siglo XVIII, los ciudadanos de los centros urbanos descartaban todos los residuos en las calles para que fueran recogidos por carreteros. En los campos, los residuos se quemaban o se colocaban en pendientes escarpadas que conducían a cuerpos de agua y las crecidas de las corrientes disponían de todo el material (Villanueva Colón, 1995). Esta conducta puede magnificarse debido a la percepción de que los depósitos ilegales son la opción más fácil y económica para la disposición y de que esta acción no conlleva consecuencias punitivas (Comerford *et al.*, 2018). En respuesta a esta problemática, investigadores como Villanueva Colón (1995) e Ichinose y Yamamoto (2011) han atado los vertederos clandestinos a la falta de espacios de depósito intermedios más cercanos a las comunidades. Para poder ampliar y corroborar este análisis se hace necesario un primer paso: establecer qué áreas exhiben presencia de vertederos clandestinos.

Para la Naturaleza y la Fundación Segarra Boerman e Hijos se unieron en un proyecto para documentar el Reconocimiento de Materiales y Eventos post-María (REMM). Esta iniciativa optimiza la disponibilidad de nuevas imágenes aéreas de las islas de Puerto Rico, lo que permite reconocer las áreas utilizadas como depósitos de distintos materiales en áreas cercanas a ríos y quebradas. Su identificación e inventario son un paso importante para combatir

y educar sobre el manejo responsable de los residuos sólidos. A tal efecto, se creó un área de fotointerpretación cuyo criterio fue la cercanía a áreas ribereñas y su accesibilidad, basada esta última en la proximidad a carreteras primarias, secundarias y terciarias. El área de interés representó unos 1,125 kilómetros cuadrados o un 12 % del área total de la isla de Puerto Rico. La fotointerpretación se realizó en una plataforma web en la que el fotointérprete podía acceder a imágenes aéreas desarrolladas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) durante octubre de 2017.

El proceso de fotointerpretación identificó más de 15,000 puntos con la categoría de basura. Posteriormente, se hizo una selección

de los que se encontraban fuera de la huella urbana. Este criterio se estableció porque el proyecto busca enfocarse en los espacios abiertos cercanos a recursos hídricos. Además, la mayoría de los puntos urbanos parecían ser depósitos temporeros a raíz de los efectos del huracán. Una vez realizada la selección preliminar, se identificaron 5,395 puntos de interés. Para la etapa final de análisis se llevó a cabo una última fotointerpretación de los puntos identificados utilizando imágenes aéreas de enero a junio de 2018. Como resultado, se encontraron 198 lugares que podrían ser vertederos clandestinos ubicados en la periferia de áreas urbanas y rurales. También se identificaron otros vertederos de mayor magnitud.



Figura 1. Mapa de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan. Los puntos rojos representan los vertederos clandestinos identificados en el estudio.



Figura 2. Vertedero clandestino en la comunidad Monacillos
(Foto: Digital Globe, marzo de 2017)

En la cuenca del estuario de la bahía de San Juan (figura 1) se identificaron ocho vertederos clandestinos en los municipios de San Juan y Loíza. La mayoría de ellos se encuentran en la periferia urbana en espacios abiertos y entre la huella construida. Llamaron la atención dos casos particulares. El primero se encuentra en el sector aledaño a la urbanización Las Lomas de San Juan, en la comunidad Monacillos (figura 2). Se trata de un espacio de gran magnitud con características que sugieren la presencia de escombros y otros materiales. A pesar de hallarse en un área altamente visible, la existencia de este vertedero se observa en fotos aéreas desde el año 2006. El segundo vertedero, ubicado a orillas de la laguna San José y aledaño al Residencial Villa Kennedy, es un espacio de menor extensión cuyos materiales llegan fácilmente al cuerpo de agua (figura 3).

Los resultados de este inventario se harán públicos a través de un mapa interactivo. También se está diseñando una aplicación web de *crowd-sourcing* que permita a la ciudadanía documentar, mediante fotos o coordenadas en un mapa, los vertederos clandestinos en sus comunidades. Asimismo, se busca ofrecer a cualquier persona los puntos de contacto en las agencias y municipios para facilitar la presentación de querrelas formales y/o coordinar iniciativas de limpieza y prevención.

Los vertederos clandestinos son uno de los mayores retos que enfrentamos como país dentro del ámbito del manejo integral de desperdicios sólidos. Dejar basura al aire libre y cerca de cuerpos de agua es una de las principales fuentes de contaminación tanto en ecosistemas marinos como en ecosistemas de agua dulce y terrestres. La ahora conocida crisis de plásticos en los océanos es un ejemplo de cómo la suma de



Figura 3. Vertedero clandestino en el Residencial Villa Kennedy
 (Foto: Digital Globe, marzo de 2019)

muchas acciones e inacciones pequeñas ha generado unas de las problemáticas ambientales de mayor envergadura a nivel global.

La producción y manejo de materiales, particularmente los plásticos, es uno de los principales retos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. Este problema, que suele simplificarse a uno de índole ecológica o ambiental, también tiene repercusiones profundas en aspectos de la salud, económicos, demográficos y urbanísticos. La cantidad de residuos que generamos es una problemática sumamente compleja que requiere programas para incentivar modelos de diseño y producción circulares, investigación y desarrollo para encontrar materiales alternativos, la promoción de cambios en los patrones de consumo y manejo de los desperdicios y el desarrollo de acuerdos voluntarios con empresarios y distribuidores, entre otras estrategias. Para abordar uno de los mayores retos ambientales de esta era, es necesario que los gobiernos regulen, que las empresas innoven y que los individuos actúen. Solo lo lograremos si reconsideramos la manera en que fabricamos, usamos y manejamos los materiales.

Dicen que “ojos que no ven, corazón que no siente”. Este mapa de vertederos clandestinos propone visibilizar un problema que a veces queda escondido por pendientes, por vegetación y por costumbre. Junto con entidades como el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, esperamos poder conectar a la ciudadanía, las organizaciones sin fines de lucro, las organizaciones comunitarias y las entidades gubernamentales con el fin de implementar soluciones creativas para reducir la basura en el ambiente.



INICIO

CONTENIDO



HÁBITAT, PECES Y VIDA SILVESTRE



ESTUARIO
PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN



DIAGNÓSTICO

POR HAROLD MANRIQUE HERNÁNDEZ

El paisaje natural de Puerto Rico ha sido impactado numerosas veces por disturbios atmosféricos. La respuesta de los ecosistemas ha sido el enfoque principal de los estudios ambientales posteriores al disturbio. El huracán María tuvo efectos ambientales sin precedentes en nuestra historia. Tras su paso por la isla, los esfuerzos iniciales se centraron en estudiar el impacto directo en el ecosistema, pero hay efectos a largo plazo que influirán en su recuperación, afectando estructura, composición, hábitat y diversidad. Un ejemplo de impacto directo fue la reducción en la población de la cotorra puertorriqueña, que estaba al borde de la extinción debido al paso del huracán Hugo en 1989. A largo plazo, María cambió la estructura y la composición de la cobertura forestal de El Yunque, provocando un aumento en el índice de calor que cobró la vida de más individuos de esta especie protegida. La reestructuración del ecosistema llevará a muchas especies a adaptarse a cambios en la disponibilidad de hábitat, el alimento y la competencia con especies pioneras e invasivas. El impacto del evento atmosférico en la cobertura forestal se estima en un total de hasta 31 millones de árboles afectados.

El litoral costero es el primero en recibir los efectos asociados a eventos ciclónicos, de manera que el impacto es mayor en los ecosistemas costaneros. La marejada ciclónica es lo suficientemente fuerte como para alterar en su totalidad el paisaje de las costas, causando un efecto en cadena de erosión, transporte y deposición de sedimentos. Además del impacto directo que recibieron durante el evento, ecosistemas costaneros como los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas quedaron sepultados tras el paso del huracán María. Las praderas sirven de hábitat para nuestro manatí antillano, de cuya dieta forman parte. El 11 % de los arrecifes de coral fue destruido, con áreas que alcanzaron

una tasa de mortalidad del 100 %. Las playas presentaron cambios estructurales debido al transporte de sedimentos, la reducción de dunas y la pérdida de vegetación. Las más afectadas fueron las del suroeste de Puerto Rico: hubo localidades en Patillas que perdieron el 90 % de la vegetación. La disponibilidad de hábitat para el anidaje de tortugas se vio afectado por un tiempo, por lo que especies como el carey sufrieron una pérdida del 24 % de sus nidos. Sin embargo, no se reportaron muertes de adultos y hubo avistamientos de individuos anidando después del huracán.

El impacto en el ecosistema estuarino no se limitó a su litoral costanero, ya que, por su característica ribereña, recibió también los impactos procedentes de los ecosistemas lóticos (ríos, quebradas, etc.). El transporte de sedimentos por medio de los ríos aumentó exponencialmente debido a la pérdida de cobertura forestal. La erosión de las laderas, representada en eventos como deslizamientos, y el aumento en las descargas, que causó cambios en la morfología de los canales ribereños, fueron las principales

causas del transporte de sedimentos. El cambio en la morfología ribereña tiene efectos directos en la disponibilidad de hábitat y la estructura de las comunidades bentónicas que también impactarán el ecosistema estuarino. La localización de los estuarios los sitúa cerca de áreas urbanas. Los ecosistemas acuáticos-urbanos reflejaron su mayor problema en la presencia de patógenos. La falta de electricidad y el impacto directo a infraestructuras provocaron desbordamientos de sistemas sanitarios y sépticos. Estas aguas sin tratar, transportadas por ríos y quebradas, alcanzaron y afectaron los ecosistemas estuarinos.

El huracán María cambió las condiciones del paisaje natural, generando una cadena de respuestas directas e indirectas tanto inmediatas como a largo plazo. Los siguientes artículos discutirán su impacto desde una perspectiva ecológica, incorporando la vulnerabilidad de los ecosistemas y su resiliencia ante disturbios ciclónicos.





IMPACTO Y VULNERABILIDAD DE LOS ARRECIFES DE CORAL Y LAS PRADERAS DE YERBAS MARINAS

POR PATRIA I. APONTE MARCANO

Introducción

En septiembre de 2017, los huracanes Irma y María azotaron la isla de Puerto Rico causando graves daños a los ecosistemas marinos, entre ellos los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas. Estos ecosistemas constituyen el hábitat de múltiples especies marinas de importancia comercial, brindan protección a la costa y respaldan una amplia gama de actividades recreativas.

Los arrecifes de coral son de vital importancia por ser la primera línea de defensa de la isla contra las olas de las tormentas y las inundaciones. Estas estructuras disipan la fuerza de las olas, actuando como barrera natural para evitar la erosión costera y proteger las playas, la infraestructura, propiedades públicas y privadas y, sobre todo, a la población (Bauzá Ortega, 2013). Al igual que los arrecifes de coral, las praderas de yerbas marinas atenúan la energía de las olas y las corrientes superficiales (Bauzá Ortega, 2015). Además, disminuyen la erosión y estabilizan los sedimentos del fondo marino, brindando protección a la infraestructura costera ante un evento atmosférico (Bauzá Ortega, 2015). Debido a los beneficios y servicios que ofrecen, la conservación de estos ecosistemas es de suma importancia para la protección de nuestras costas.

Los recursos marinos de la costa del estuario de la bahía de San Juan son los que históricamente han recibido mayor presión, impacto y estrés por su proximidad a la zona metropolitana (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2015). Otros estresores como los huracanes, que a su vez traen consigo la deposición de sedimentos, fertilizantes y descargas de aguas residuales, comprometen la salud del coral y su resiliencia para adaptarse al cambio climático.



Figura 1. Coral cuerno de alce (*A. palmata*) en el arrecife de Isla Verde (Foto: Paco López)

Las comunidades coralinas del estuario y los hábitats asociados a ellas se encuentran principalmente en las aperturas al mar de la bahía de San Juan y la laguna del Condado. También hay arrecifes en la porción marina de la costa entre Cataño y Loíza. Uno de los arrecifes que se destacan por la riqueza de su vida marina es el de la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde, que forma parte de una cadena de arrecifes de franja que va desde San Juan hasta Piñones y es de vital importancia para la protección de nuestras costas (figura 3). Allí encontramos una gran variedad de organismos marinos, como tortugas, peces, tiburones y crustáceos, al igual que especies de coral amenazadas, como el coral cuerno de alce (*Acropora palmata*) (figura 1).

El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) comaneja la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado (figura 4) en conjunto con el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). En la laguna encontramos praderas de yerbas marinas que sirven de alimento a numerosas especies acuáticas, entre ellas especies amenazadas como la tortuga peje blanco (*Chelonia mydas*) y el manatí antillano (*Trichechus manatus*). Hasta el momento, las especies reportadas incluyen la yerba de tortuga (*Thalassia testudinum*) (figura 2), la yerba de manatí (*Syringodium filiforme*), la yerba de paleta (*Halophila decipiens*) y la yerba *Halodule wrightii* (Bauzá Ortega, 2015). La presencia de yerbas marinas en el estuario ha sido documenta-



Figura 2. Yerba de tortuga (*T. testudinum*) en la laguna del Condado (Foto: PEBSJ)



Figura 3. Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde, designada por la Ley Núm. 274 del 26 de septiembre de 2012 (Foto: Arrecifes Pro Ciudad)



Figura 4. Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado, designada por la Ley Núm. 112 del 30 de septiembre de 2013, que permite su restauración y conservación (Foto: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales)



da en la bahía de San Juan, la laguna del Condado, el canal San Antonio y la laguna La Torrecilla (Bauzá Ortega, 2015).

Impacto y vulnerabilidad

El impacto de los huracanes en las comunidades de coral puede asumir muchas formas: desde desprender corales ramificados hasta arrancar, agrietar o destrozor colonias enteras. Los corales sueltos o fragmentados pueden permanecer vivos en el fondo del mar, pero corren el riesgo de ser arrastrados por las olas de tormenta posteriores, que seguirán reduciendo la cantidad de coral vivo en el arrecife (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2019b).

En febrero de 2018, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) evaluó los impactos de los huracanes en los arrecifes coralinos de Puerto Rico con el fin de llevar a cabo una restauración de emergencia para rescatar y relocalizar los corales vivos que aún eran viables. La evaluación se enfocó en los arrecifes de "alto valor", caracterizados por una alta cobertura de coral, por la pre-

sencia de especies en peligro de extinción y por su contribución a la protección costera. Los hallazgos indicaron que las especies de coral más afectadas en la costa del estuario fueron el coral estrella lobulado (*Orbicella annularis*) y el coral cuerno de alce (*Acropora palmata*), debido a su morfología de ramificación (NOAA, 2019b). Estos corales forman parte de los principales constructores de arrecifes y ambos están en la lista de especies amenazadas.

A continuación, se muestran los porcentajes de los daños sufridos por estas dos especies de corales (figura 5) y por las colonias de coral en general (figura 6), calculados utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{(\# \text{ corales o colonias impactadas})}{(\# \text{ total de corales o colonias})} \times 100 = \% \text{ de daños}$$

En las dos estaciones de Ocean Park se registraron daños del 79 % y del 100 %, respectivamente, para el coral *A. palmata* y daños del 33 % para el coral *O. annularis* únicamente en la estación 2. Por otra parte, en las estaciones de Piñones y Viejo San Juan se registraron daños del 71 % y del 54 %, respectivamente, solo para el coral *A. palmata*.

En general, el 98 % de las colonias de corales evaluadas en la porción marina del estuario estaban adheridas al sustrato en el momento de la inmersión. Solo el 2 % fue impactado, ya sea por rompimiento de la colonia, fragmentos adheridos o colonias viradas y/o sueltas.

A continuación, se muestra un mapa del estuario de la bahía de San Juan con los distintos lugares de estudio y la magnitud del impacto que recibió el arrecife tras el paso del huracán (figura 7). La mayoría de las estaciones mostraron daños menores (<10 %), mientras que en Ocean Park y Piñones se registraron daños moderados (10-50 %) y severos (>50 %), respectivamente (NOAA, 2019b).

Reserva Marina de la Isla Verde

“La Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde recibió un fuerte impacto, principalmente por los eventos de descargas residuales a consecuencia del huracán María”, dijo Paco López-Mújica, miembro de la Junta de Manejo de la organización Arrecifes Pro Ciudad. Estas descargas salieron por Boca de Cangrejos y llegaron corriente abajo, aproximadamente a una milla de distancia, al arrecife de Isla Verde. Por otro lado, las alcantarillas sanitarias que se encuentran en la urbanización Bíascochea se desbordaron, resaltó López-Mújica, quien señaló que las bombas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) no tenían electricidad para funcionar y succionar hacia la línea principal. Esto tuvo consecuencias negativas para los corales y las yerbas marinas por la cantidad de algas que se propagaron.

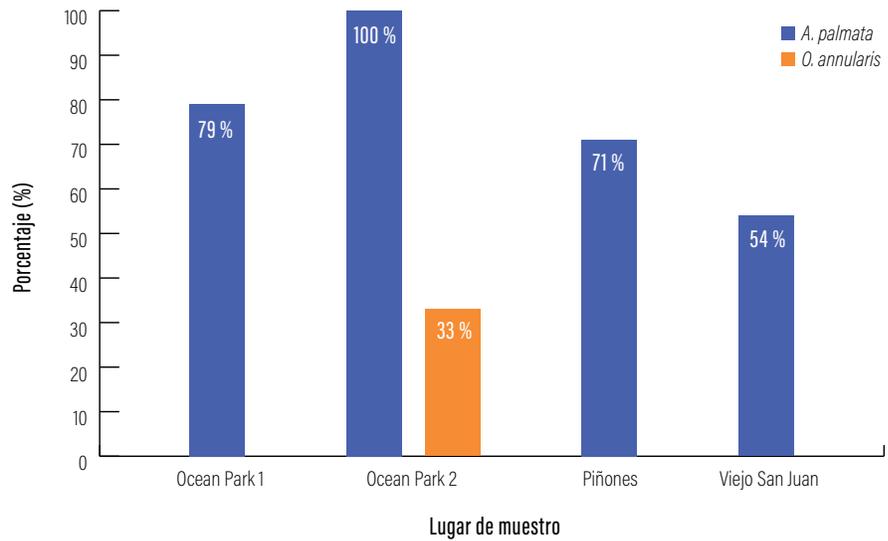


Figura 5. Porcentaje de daños a los corales en peligro de extinción *A. palmata* y *O. annularis* en el estuario de la bahía de San Juan

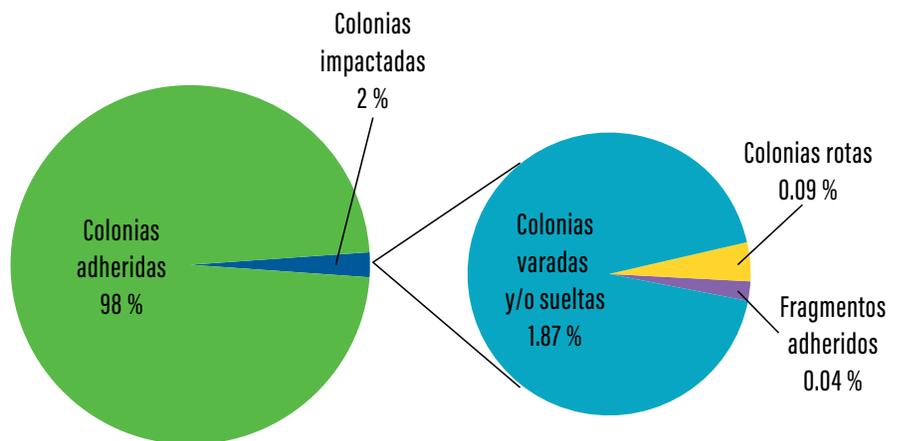


Figura 6. Porcentaje de daños a las colonias de coral en el estuario de la bahía de San Juan

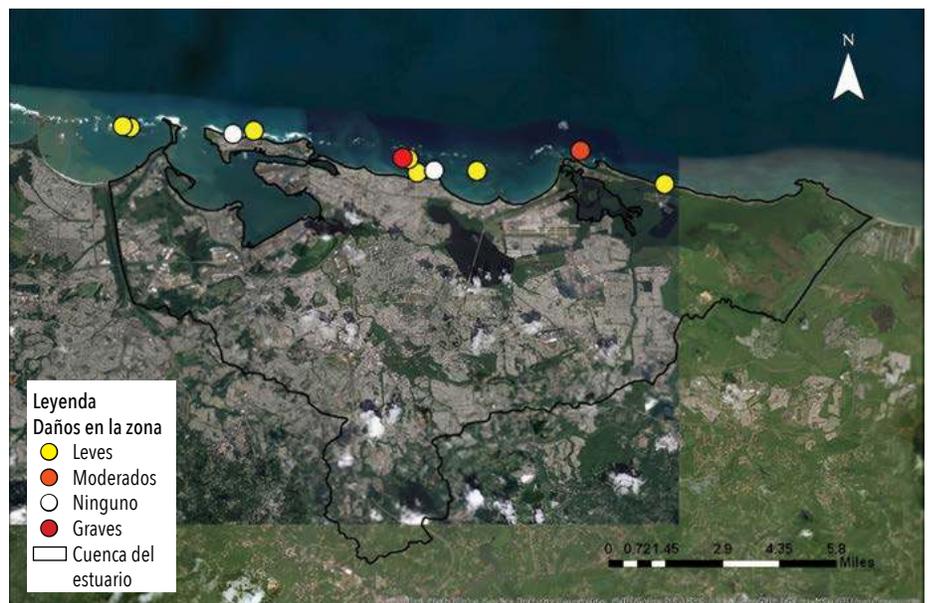


Figura 7. Mapa de la magnitud de los daños a los arrecifes en el estuario de la bahía de San Juan tras el paso del huracán María



Según el informe de 2018 de la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde, se observó mucha turbidez y presencia de macroalgas en el arrecife después del huracán María. Eventos atmosféricos como los huracanes traen consigo una gran cantidad de sedimentos que cubren el arrecife. Con la ayuda de las corrientes y olas, el sedimento se levanta en la columna de agua y se pierde la transparencia, lo que se traduce en menos luz para la fotosíntesis de los corales y yerbas marinas. También se observó el rompimiento de corales *A. palmata*, de los cuales solo una colonia sobrevivió sin fragmentarse (figura 8). En este lugar, la NOAA realizó una siembra de fragmentos de coral *A. palmata* traídos de los arrecifes de Ocean Park y Punta Las Marías (figura 9).

Los vientos de huracán generan fuertes olas y corrientes que tienen la capacidad de arrancar y destrozarse las yerbas marinas. Esto sucede porque la energía de las olas provoca un desgaste de los sedimentos del fondo marino con la fuerza suficiente para arrancar las yerbas de raíz (NOAA, 2019a). Además, el aumento en la precipitación genera más escorrentía, con un alto contenido de sedimentos, nutrientes y contaminantes que llegan a los cuerpos de agua. Se ha documentado que los sedimentos depositados en hábitats bentónicos, como las praderas de yerbas marinas, pueden cubrir y sofocar a estas criaturas, así como deteriorar la calidad del agua por la eutrofización o



Figura 8. Colonia de *A. palmata* en el arrecife de Isla Verde (Foto: NOAA)



Figura 9. Fragmento de *A. palmata* sembrado en el arrecife de Isla Verde (Foto: NOAA)

exceso de nutrientes en las aguas (Hernández Delgado *et al.*, 2018).

En la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde, las yerbas marinas fueron cubiertas por macroalgas y sedimentos arrastrados por el oleaje y las marejadas. La presencia de una gran cantidad de macroalgas puede ser indicador de contaminación orgánica, como lo es el alto grado de nitratos proveniente de los desechos humanos (heces fecales), producto de las descargas de aguas sanitarias

sin tratar que se observaron luego del ciclón. Asimismo, tras el paso del huracán se documentó la presencia del alga invasora *Halophila stipulacea*, que ha desplazado las yerbas marinas nativas en segmentos extensos (Hernández Delgado *et al.*, 2018). La presencia de macroalgas como esta se ha convertido en una preocupación para el manejo de las praderas de yerbas marinas, en particular debido a su alta resistencia a las perturbaciones provocadas por los huracanes.

Conclusión

Llevar a cabo una evaluación rápida es sumamente importante para conocer la magnitud y extensión de los impactos de los huracanes en las comunidades coralinas del estuario y los hábitats asociados. Los fragmentos de coral que aún están cubiertos por tejido vivo se pueden rescatar y colocar nuevamente en el arrecife. La restauración de emergencia puede reducir en gran medida la cantidad de colonias de coral perdidas por el impacto de los huracanes. Dicha restauración no solo beneficia a las poblaciones de coral, de las cuales muchas están clasificadas como amenazadas según la Ley de Especies en Peligro de Extinción, sino que también preserva la complejidad estructural proporcionada por los arrecifes de coral, que protege a las comunidades costeras.

Iniciativas como los arrecifes artificiales y la siembra y cultivo de corales son de vital importancia para la restauración de los ecosistemas marinos. Estimular el crecimiento de corales proveerá, a largo plazo, una mayor protección de la infraestructura costera ante eventos atmosféricos como los huracanes. Además, comprender mejor la salud y la capacidad de recuperación de los ecosistemas de yerbas marinas, realizar una evaluación ampliada de los impactos de los huracanes y recuperar los recursos perdidos ayudarán a asegurar la sostenibilidad de las contribuciones económicas y ecológicas de las praderas de yerbas marinas.

Como parte de los esfuerzos para mejorar las comunidades acuáticas y como un ejemplo de restau-

ración a emular, el PEBSJ colocó 45 módulos de arrecifes artificiales en el norte de la laguna del Condado en 2008 (Bauzá Ortega, 2015). Su objetivo era crear hábitat marino para aumentar la biodiversidad marina y estimular el crecimiento de corales. Dos años después, la población y diversidad de peces aumentó en un 90 % y se identificaron sobre 2,500 colonias de coral en crecimiento (Bauzá Ortega, 2015). Actualmente, se desconoce el estado de estas estructuras, que deben ser evaluadas y restauradas de ser necesario.

Figura 10. Arrecife artificial en la laguna del Condado (Foto: PEBSJ)



Según Carlos Diez, biólogo marino y coordinador del Programa de Tortugas Marinas del DRNA, el impacto del huracán María en las playas de anidaje de tortugas en San Juan y el litoral estuarino fue mínimo, pues en ese momento no había nidos activos de tinglares (*Dermochelys coriacea*). Por otro lado, los juveniles de carey (*Eretmochelys imbricata*) y pejeblanco (*Chelonia mydas*) monitoreados en los fondos de Isla Verde y el Escambrón seguían habitando la zona y presentaban un buen peso y estado físico. Según Diez, cuando comenzó la temporada de anidaje del tinglar en abril de 2018, las playas ya tenían arena y estaban listas.



EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE LOS MANGLARES EN EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

POR BENJAMIN L. BRANOFF

A excepción de sus aguas, los manglares son el ecosistema más visible y reconocible del estuario de la bahía de San Juan. Ya sea atravesando Piñones, donde estos magníficos árboles forman un laberinto expansivo y enmarañado de los bosques circundantes, o bien a lo largo de la laguna del Condado o del caño Martín Peña, donde solo existe una delgada línea de manglares entre la costa y la ciudad, estos árboles abrazan las aguas del estuario de la bahía de San Juan y forman una frontera que aporta servicios de gran valor a la gente que la rodea. La protección de la costa, la filtración de agua, el hábitat de la pesca y el almacenamiento de carbono son solo algunos de los valiosos servicios que estos ecosistemas ofrecen a los habitantes de Puerto Rico. Sin embargo, solo pueden ser brindados óptimamente por manglares con un funcionamiento saludable. Si bien es cierto que los manglares son sistemas resilientes y capaces de funcionar en entornos estresantes, los huracanes Irma y María fueron disturbios anómalamente fuertes y presentaron un raro desafío para los manglares del estuario de la bahía de San Juan. Además de los disturbios naturales, estos manglares están sujetos a una fuerte presión humana debido a su cercanía a áreas urbanas, lo cual puede cambiar la manera en que responden a las tormentas tropicales. Investigaciones recientes han medido la mortalidad de los árboles, así como la pérdida y recuperación del dosel del manglar, después de las tormentas. Esta investigación muestra que, aunque se espera que los manglares del estuario se recuperen en los próximos cinco años, existen ciertas vulnerabilidades que afectarían esta recuperación y que podrían ser monitoreadas.

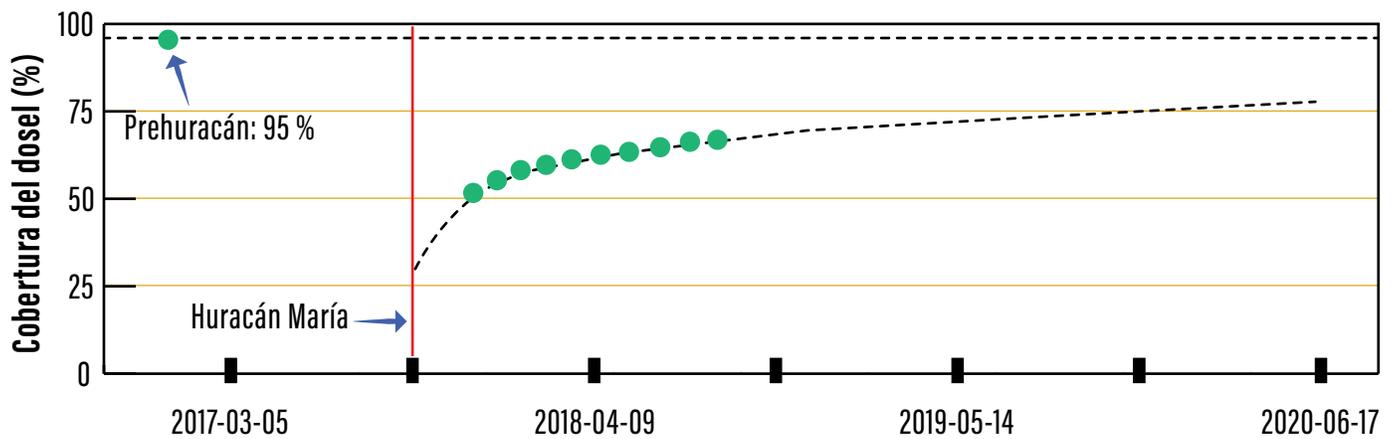


Figura 1. Cobertura del dosel antes y después de los huracanes Irma y María. En 2017, antes de los huracanes, la cobertura del dosel de manglares estaba cerca del 100 % en todo el estuario de la bahía de San Juan. Inmediatamente después de los huracanes, la cobertura del dosel se redujo a alrededor del 50 % y se recuperó a alrededor del 75 % a partir de mayo de 2019. Si esta tendencia continúa, se puede esperar una recuperación completa del dosel en aproximadamente 5 años, alrededor de 2022.

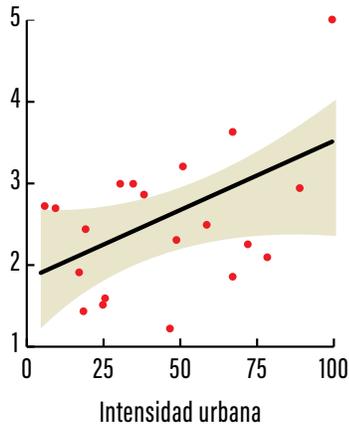
Los manglares en Puerto Rico están acostumbrados a las tormentas tropicales periódicas y presentan adaptaciones para ser más resistentes a estos disturbios. Dichas adaptaciones incluyen una baja altura que disminuye la susceptibilidad de los troncos a romperse, así como una dispersión abundante y amplia de semillas que ayuda a asegurar un nuevo crecimiento después de la mortalidad. En octubre de 2017, inmediatamente después del huracán María, un censo informó una pérdida total de cobertura del dosel del 50 % (figura 1).

Un año después del huracán, la cobertura del dosel se recuperó en alrededor del 75 % y la mortalidad total se estimó en aproximadamente el 20 %. Se observó que la mortalidad y la pérdida del dosel fueron más altas en árboles más altos y en el mangle negro (*Avicennia germinans*), mientras que la mortalidad más baja ocurrió en el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). Se prevé que la

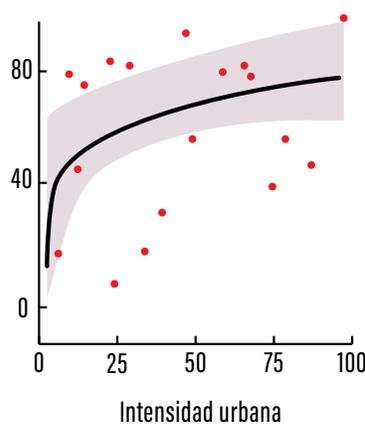
cobertura del dosel se acercará al 100 % en aproximadamente 5 años. Durante ese tiempo, la luz adicional que llega al suelo del bosque ayudará a los árboles más jóvenes a reemplazar a los individuos más grandes que murieron. Este es un ciclo natural de los bosques de manglares del Caribe y no indica una vulnerabilidad extrema. Sin embargo, la alta mortalidad de los manglares negros, que ya son poco comunes, puede sugerir que esta especie sufrirá una presión poblacional a largo plazo, lo que cambiaría la composición de árboles en el estuario. Un mayor monitoreo ayudará a mantener un registro del progreso de recuperación relativa para todas las especies alrededor de esta zona.

El estrés que generan las tormentas tropicales periódicas en los manglares del Caribe puede aumentar debido a la presencia de desarrollo urbano en algunas áreas. A lo largo del siglo XX, se han tomado ciertas medidas de protección que han dado lugar a

Especies de árboles



% Mangle blanco



% Mangle negro

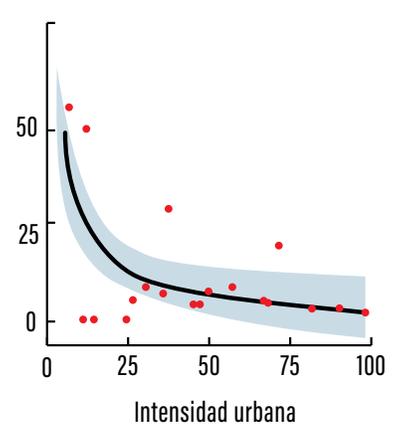


Figura 2. Relación entre composición de especies de los manglares e intensidad urbana en el estuario de la bahía de San Juan. La composición de especies de los manglares está relacionada con la intensidad urbana circundante. Los bosques más urbanos tienen una mayor diversidad de árboles debido a la mayor cantidad de especies que no pertenecen a los manglares, así como a una mayor abundancia de manglares blancos y una menor abundancia de manglares negros.

la reforestación de muchas áreas. Sin embargo, algunos residentes siguen deforestando el hábitat de los manglares en el estuario para el ganado, a menudo en lugares ocultos, lo que contribuye aún más a la fragmentación de los bosques. Dicha fragmentación ha dejado en estos bosques una serie de vulnerabilidades que pueden influir en la recuperación tras el paso de los huracanes. La más notable es la composición de especies (figura 2).

Una encuesta reciente encontró que, aunque las tres especies de árboles de mangle (rojo, blanco y negro, ya que el mangle botón no es un mangle verdadero) están presentes en el estuario de la bahía de San Juan, la abundancia relativa de dichas especies está relacionada con la intensidad de la urbanización colindante. En particular, el mangle negro es poco común en el caño Martín Peña, la porción más urbana del estuario, mientras que el mangle blanco es a menudo la única especie que se encuentra allí. Por lo tanto, el mangle negro es la especie menos común en las áreas urbanas y también fue la más afectada después de los huracanes. Lo opuesto sucedió con el mangle

blanco. Esto puede significar que los manglares negros son más vulnerables a los huracanes en las zonas más urbanas del estuario, por lo que deben ser monitoreados más de cerca para detectar patrones de recuperación, mientras que el manglar blanco se recuperará normalmente con poca intervención.

Las mediciones de aves y ranas en los manglares antes y después de los huracanes también identificaron vulnerabilidades potenciales en estas comunidades animales. Las grabaciones acústicas sugieren que tanto el número de detecciones como el número total de especies detectadas disminuyeron después de los huracanes Irma y María (figura 3). De hecho, tras el paso de los ciclones hubo especies que no se detectaron en ninguno de los sitios, entre ellas el pájaro bobo de manglar (*Coccyzus minor*), el canario de manglar (*Dendroica petechia*) y el bienteveo (*Vireo altiloquus*). Todas estas especies utilizan los manglares como hábitat, lo que significa que su desaparición puede deberse a los cambios anteriormente descritos: la mortalidad y la pérdida de cobertura del dosel de los manglares. Al igual que ocu-

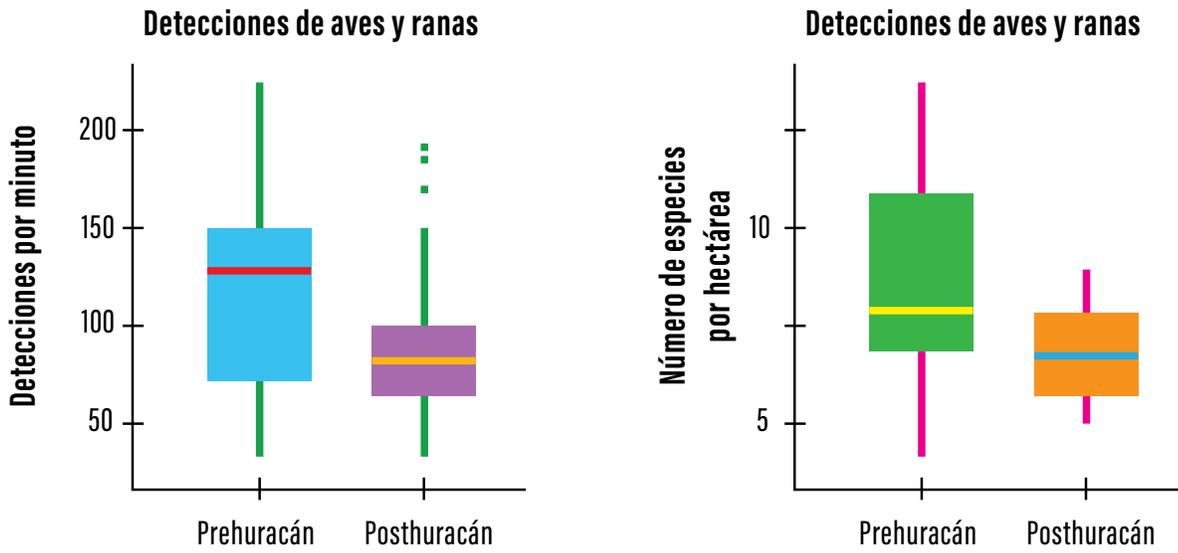


Figura 3. Detecciones de aves y ranas y número de especies de aves y ranas detectadas en los manglares antes y después de los huracanes Irma y María. Tanto el número de detecciones de aves y ranas como el número de especies de aves y ranas disminuyeron de marzo a noviembre de 2017. Si bien esta disminución puede deberse a los huracanes de septiembre de 2017, también puede ser resultado de las diferencias estacionales normales en estos animales. Se necesitan encuestas más frecuentes para realizar un seguimiento de la recuperación de la fauna del manglar después de las tormentas.

re con los árboles, algunas de estas especies de aves y ranas —entre ellas especies endémicas de Puerto Rico y especialistas de manglares— son más raras en áreas urbanas, por lo que presentan una mayor vulnerabilidad después de las tormentas. La realización de monitoreos frecuentes podría ayudar tanto a cuantificar su retorno a medida que los manglares se recuperan como a tomar ciertas medidas de protección.

A pesar de que los manglares son resilientes y presentan adaptaciones a las tormentas periódicas, el estrés adicional de los ambientes urbanos en el estuario de la bahía de San Juan y el aumento en la intensidad de huracanes son buenas razones para implementar un programa de monitoreo y manejo continuo de los manglares a fin de incrementar su resiliencia. La manera más efectiva de lograr este objetivo es aumentar el hábitat del manglar y las áreas de amortigua-

miento alrededor de la ciudad, lo cual permitirá una mayor conectividad del hábitat para especies más vulnerables, como el mangle negro y las aves especialistas de manglares. Un mayor refuerzo en el cumplimiento de las leyes que criminalizan la deforestación de manglares también contribuirá a limitar la fragmentación, además

del establecimiento de nuevos programas que promuevan el crecimiento de manglares en áreas abandonadas. Finalmente, mantener un programa de monitoreo científico activo ayudará a vigilar los componentes más vulnerables de los manglares en el estuario y asegurará una recuperación más rápida en la próxima tormenta.

Recomendaciones

1. Aumentar la conectividad de los manglares y las áreas de amortiguamiento para agregar resiliencia a las comunidades de árboles y aves.
 - (a) Recuperar tierras abandonadas como nuevo hábitat de manglar.
 - (b) Restaurar las conexiones de marea históricas cuando sea posible.
2. Seguir monitoreando la recuperación de los manglares —especialmente la del mangle negro— y la de las aves luego de la temporada de huracanes de 2017.
 - (a) Fomentar la formación de nuevos hábitats de manglar lejos del agua, pues son óptimos para el mangle negro.



ANÁLISIS DE ESTRESORES AMBIENTALES Y VULNERABILIDAD DE ESPECIES COSTERAS EN ÁREAS DE HUMEDAL ASOCIADAS A LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS: CONSIDERACIONES PARA LA REHABILITACIÓN Y REFORESTACIÓN DE HUMEDALES URBANOS COSTEROS

POR WILMER O. RIVERA DE JESÚS

Los humedales urbanos costeros son ecosistemas de gran valor, ya que ofrecen importantes servicios ecológicos: secuestro de carbono, regulación del clima local, retención de contaminantes, control de plagas, hábitat crítico para especies adaptadas a condiciones de humedal, protección costera y aportación a procesos fluviales en la conexión marino-terrestre, entre otros (Farber *et al.*, 2006; Mitsch y Gosselink, 2000; Zedler y Kercher, 2005). Los impactos asociados al cambio climático y a la actividad antropogénica, propia de los ambientes urbanos, generan una mayor presión sobre estos ecosistemas y, a la vez, la pérdida de funciones ecológicas importantes. La rehabilitación ecológica de los humedales debe enmarcarse en la realidad del cambio climático, considerando cómo las variaciones en las condiciones ambientales impactan su estructura. El análisis de estos estresores nos brinda información sobre la vulnerabilidad que estos ecosistemas pueden presentar ante el cambio climático y los posibles impactos en la vida silvestre, además de permitir la planificación de esfuerzos de rehabilitación considerando diversos escenarios ambientales.

En la actualidad, la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas, ubicada en Cataño (figura 1), es manejada en conjunto por la organización de base comunitaria Corredor del Yaguazo, Inc. y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Con un área aproximada de 500

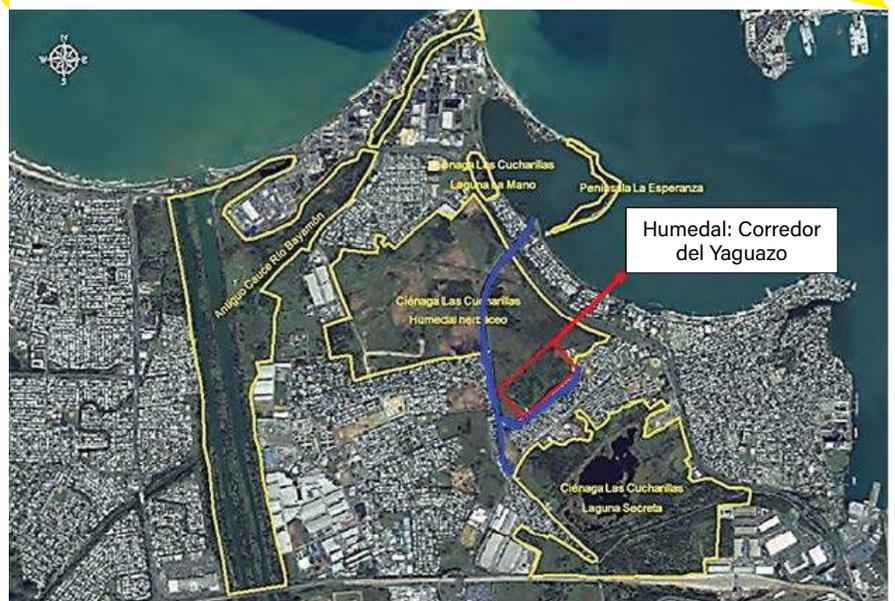
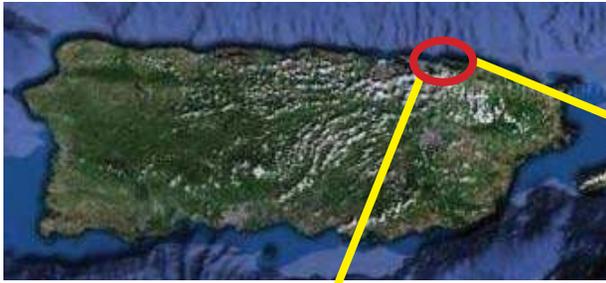


Figura 1. Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas y su localización dentro del estuario de la bahía de San Juan. La línea amarilla demarca las áreas que abarca la reserva. La línea roja demarca zonas de humedal donde se han desarrollado análisis de condiciones ambientales. La línea azul resalta canales de agua dulce influyentes sobre las zonas de humedal evaluadas (canal La Malaria y canal de la comunidad Juana Matos).

hectáreas de terreno, esta ciénaga es el humedal remanente más grande en la zona metropolitana y forma parte del estuario de la bahía de San Juan (figura 1). Dicho humedal se clasifica como uno estuarino/palustrino según el Inventario Nacional de Humedales de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Bajo la clasificación Ramsar, puede ser considerado como uno de tipo marino/costero de agua salobre por la influencia de las aguas superficiales que discurren a través de la cuenca y del agua de mar. La geología de esta zona, según los mapas del Servicio Geológico de Estados Unidos, se caracteriza principalmente por formaciones calizas y depósitos aluviales ribereños-arcillosos. La dinámica hidrológica que se da en esta ciénaga promueve flujos de agua dulce y la combinación de estos flujos con agua de mar como resultado de los cambios diurnos en marea y la posible expansión de la cuña salina a través del subsuelo hacia zonas que comprenden este humedal.

En los pasados años, antes del paso del huracán María, se han evaluado parámetros ambientales en términos de precipitación, temperatura, humedad prevaeciente en el suelo, variaciones en la profun-

dididad del nivel freático y salinidad del agua freática en áreas de humedal asociadas a esta ciénaga (véase el recuadro rojo en la figura 1). El análisis de estos parámetros muestra cambios importantes en los patrones de humedad, la prevalencia de condiciones secas y el incremento en las condiciones salinas, lo cual es cónsono con las tendencias de cambio climático proyectadas para la región del Caribe y Puerto Rico (Cardona Olarte *et al.*, 2013; Erwin, 2009; Lambs *et al.*, 2015; Puerto Rico Climate Change Council, 2013). Los registros de precipitación y temperatura entre los años 2013 y 2017 señalan que los eventos de lluvia más importantes ocurren en los meses de mayo y junio y en los meses de octubre y noviembre, los cuales forman parte de los períodos húmedos característicos para la región del Caribe y Puerto Rico (Daly *et al.*, 2003).

Las mayores acumulaciones de lluvia ocurren en noviembre, observándose un pico significativo en noviembre de 2013, con una precipitación total de 571 mm de lluvia (figura 2). Si comparamos este pico con los meses de noviembre subsiguientes, se observa una tendencia hacia acumulaciones de lluvia más limitadas que es indicativa de la prevalencia de condiciones secas en esta zona (véanse

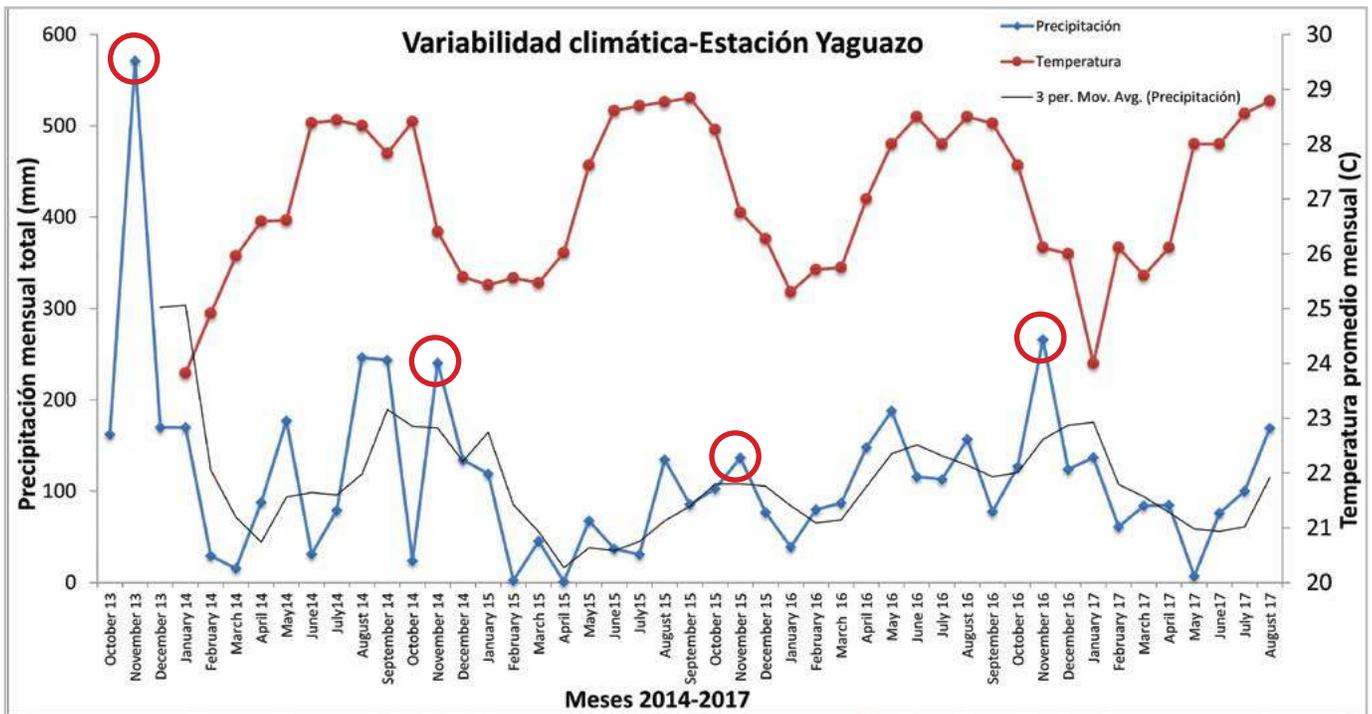


Figura 2. Precipitación mensual acumulada y temperatura promedio mensual registradas de 2013 a 2017 en la estación meteorológica de Yaguazo

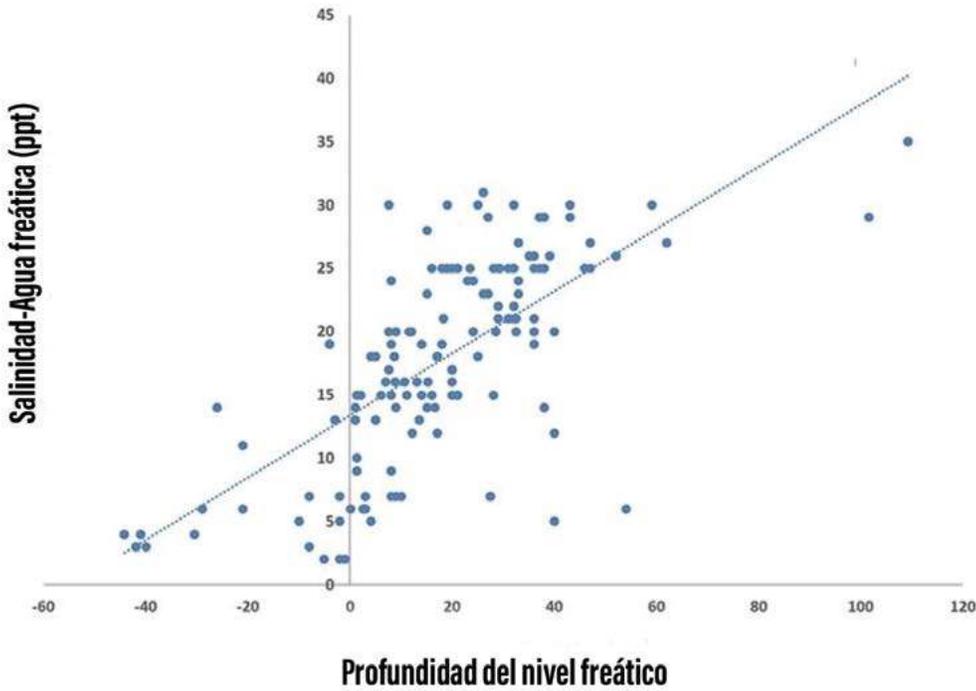


Figura 3. Relación entre la profundidad del nivel freático y la salinidad del agua freática, $R^2 = 0.48$. Coeficiente de correlación, $r = 0.70$. La relación muestra un aumento en la salinidad del agua freática al incrementar la profundidad del nivel freático.

los círculos rojos en la figura 2). Por su parte, se destacan épocas secas de enero a abril y en los meses de agosto y septiembre, que coinciden climatológicamente con los períodos secos en la región del Caribe y Puerto Rico (Daly *et al.*, 2003). La prevalencia de condiciones secas en estas áreas de humedal promueve limitaciones en la disponibilidad de agua y reducciones significativas en la humedad del suelo, no solo por el efecto de la baja precipitación, sino también por el incremento en la profundidad del nivel freático y el aumento en la salinidad del agua freática que ocurren bajo estas condiciones, los cuales responden a la baja tasa de precipitación, el efecto de la evaporación en el sustrato y la influencia que puede ejercer la expansión de la cuña salina a consecuencia del alza en el nivel del mar (Lambs *et al.*, 2015). La figura 3 muestra cómo el agua freática, en pozos de muestreo instalados en este hu-

medal, incrementa su salinidad al aumentar la profundidad del nivel freático, principalmente durante los períodos secos. Si la tendencia en cuanto a precipitación es la de incrementar la frecuencia de períodos secos, se promoverá un nivel freático más profundo que causará un aumento en la salinidad del agua freática y, por consiguiente, condiciones de estrés hídrico y salino sobre estas áreas de humedal. Considerando estas tendencias de cambio, podemos establecer que en los pasados años —y antes del huracán María— la prevalencia de condiciones estresantes en estas zonas de humedal es evidente, limitándose la disponibilidad de agua dulce e incrementando la condición salina en el ambiente. El cambio climático global y los cambios ambientales a escala regional promueven el incremento de estas condiciones a nivel de los ecosistemas, alterando tanto su estructura como su funcionamiento y generando

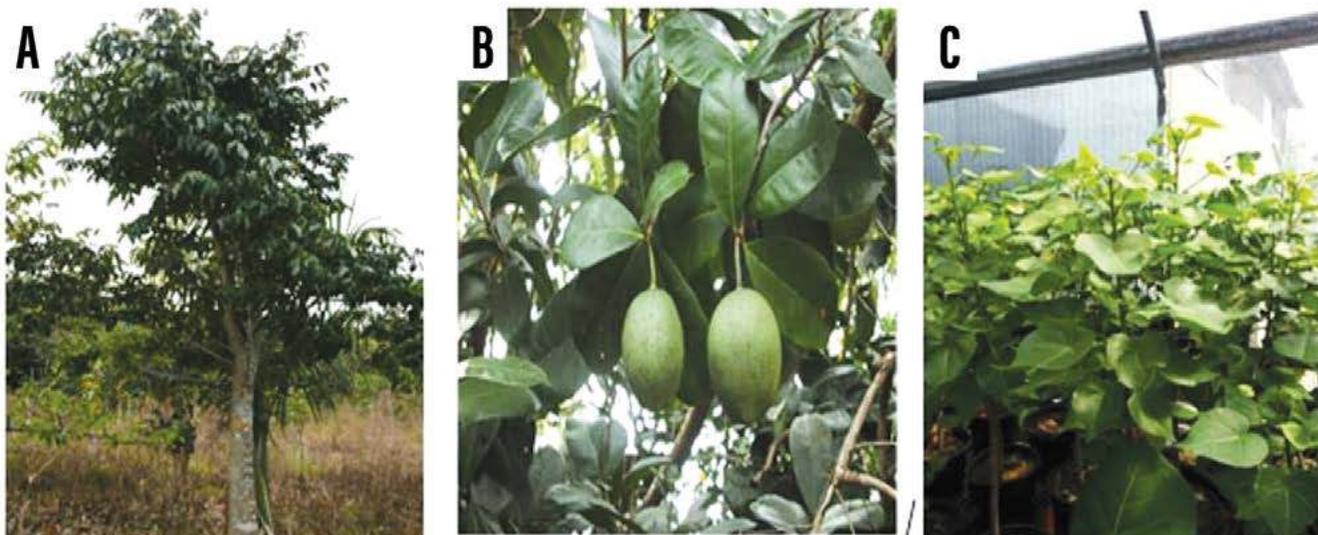


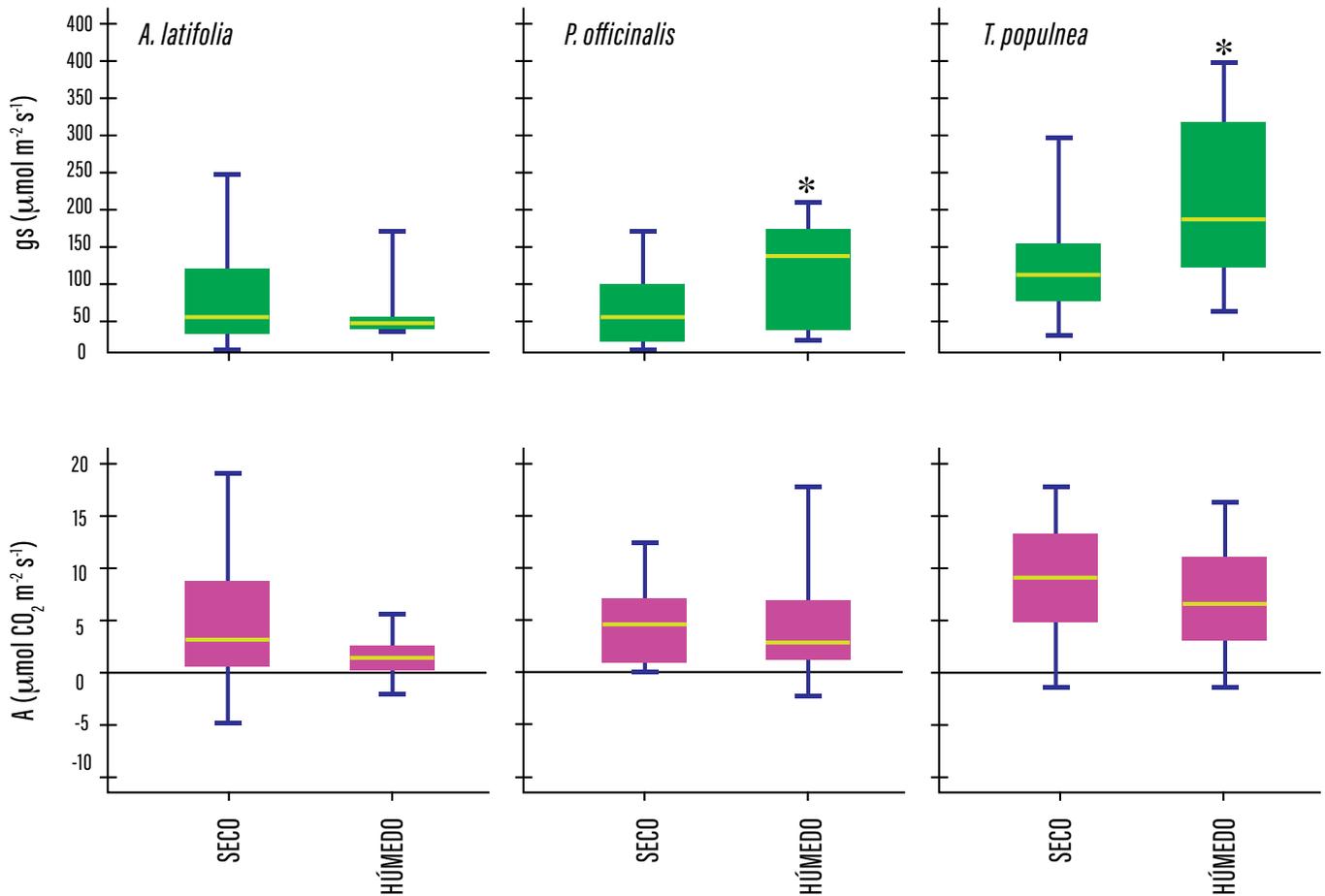
Figura 4. Especies arbóreas asociadas a las áreas de humedal estudiadas *Pterocarpus officinalis* (A), *Amphitecna latifolia* (B) y *Thespesia populnea* (C)

impactos en los servicios ecológicos que estos sistemas naturales brindan.

La prevalencia de condiciones estresantes genera impactos en la vida silvestre, incluida la vegetación asociada a estos ecosistemas, como resultado del estrés hídrico y salino. A corto y largo plazo, dichas condiciones afectan el éxito del establecimiento de estas especies y pueden causar problemas de supervivencia. Las especies más vulnerables y con menor capacidad de aclimatación son las que enfrentarán mayores retos en cuanto a estabilidad y supervivencia con estos escenarios ambientales. Para las zonas de humedal evaluadas se han desarrollado análisis ecofisiológicos de campo, en términos de conductancia estomática (gs) y tasa de fotosíntesis neta (A), en especies arbóreas adultas tales como *Pterocarpus officinalis*, *Amphitecna latifolia* y *Thespesia populnea* (figura 4). Estas especies, que se consideran no halófitas (menos tolerantes a la salinidad) y presentan la mayor vulnerabilidad a las condiciones ambientales pre-

valecientes en estos ecosistemas, han sido y son utilizadas en proyectos de reforestación desarrollados en los humedales. Al evaluar su respuesta ecofisiológica a las condiciones prevalecientes en el ambiente, se observan reducciones significativas en la capacidad de estas plantas para asimilar carbono y mantener su tasa de fotosíntesis neta, principalmente durante los períodos secos (figura 5). Tales reducciones son más marcadas en los individuos de *Amphitecna* y *Pterocarpus* debido al cierre estomático que experimentan como resultado del estrés hídrico y salino (figura 5). En cambio, *Thespesia* presenta una mejor asimilación de carbono, lo cual se relaciona, a su vez, con una mayor apertura estomática en comparación con las otras especies (figura 5). De hecho, muestra una mayor tolerancia y aclimatación a estas condiciones, lo cual permite que, a diferencia de las demás especies, presente una mejor estabilidad ante los cambios en el ambiente.

A pesar de que *Thespesia* muestra la mejor tolerancia y capacidad de aclimatación a estas condicio-



nes, la prolongación de estos estresores y su prevalencia a largo plazo pueden generar problemas en la respuesta ecofisiológica de la especie y, al igual que ocurre con *Amphitecna* y *Pterocarpus*, presentar dificultades en su estabilidad y supervivencia. Las respuestas ecofisiológicas demostradas por la mayor parte de estas especies indican que, ante estos cambios ambientales, las mismas son más estables en humedales de agua dulce donde la influencia salina es más limitada y prevalece una mayor disponibilidad de agua dulce. El cambio en las condiciones ambientales que experimentan estos ecosistemas y los impactos en la vida silvestre representan el reto en el que deben enmarcarse los esfuerzos

de rehabilitación y reforestación. Los cambios abruptos, como consecuencia del cambio climático, deben ser considerados la nueva realidad de estos sistemas naturales, y en términos de conservación y manejo se debe prestar especial atención a aquellas especies que muestran la mayor vulnerabilidad a estos estresores ambientales. Los esfuerzos de rehabilitación y manejo deben tomar en cuenta la capacidad de respuesta de las especies a los cambios en el ambiente, centrándose en la selección y la siembra exitosa de especies más tolerantes y mejor aclimatadas.

Figura 5. Especies arbóreas asociadas a las áreas de humedal estudiadas *Pterocarpus officinalis* (A), *Amphitecna latifolia* (B) y *Thespesia populnea* (C)



EVALUACIÓN RÁPIDA DE BOSQUES URBANOS Y POBLACIONES DE AVES DESPUÉS DEL HURACÁN MARÍA

POR LAURA L. FIDALGO DE SOUZA

Introducción

Esta investigación forma parte de los requisitos de la Escuela Especializada en Matemáticas, Ciencias y Tecnología de San Juan para completar el proyecto de investigación del curso de ciencias de undécimo grado de la alumna Janeshka M. Fernández Mercado, bajo la mentoría de la estudiante doctoral Laura L. Fidalgo De Souza de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.

Cuatro meses después del paso del huracán María por Puerto Rico, realizamos una evaluación rápida de las condiciones de las poblaciones de aves y los árboles en 6 parchos de bosques en la zona metropolitana de San Juan. Nuestro objetivo era identificar los efectos del huracán María en la abundancia (cantidad de individuos) y riqueza (número de especies) de aves, así como los daños en la vegetación de los bosques urbanos.

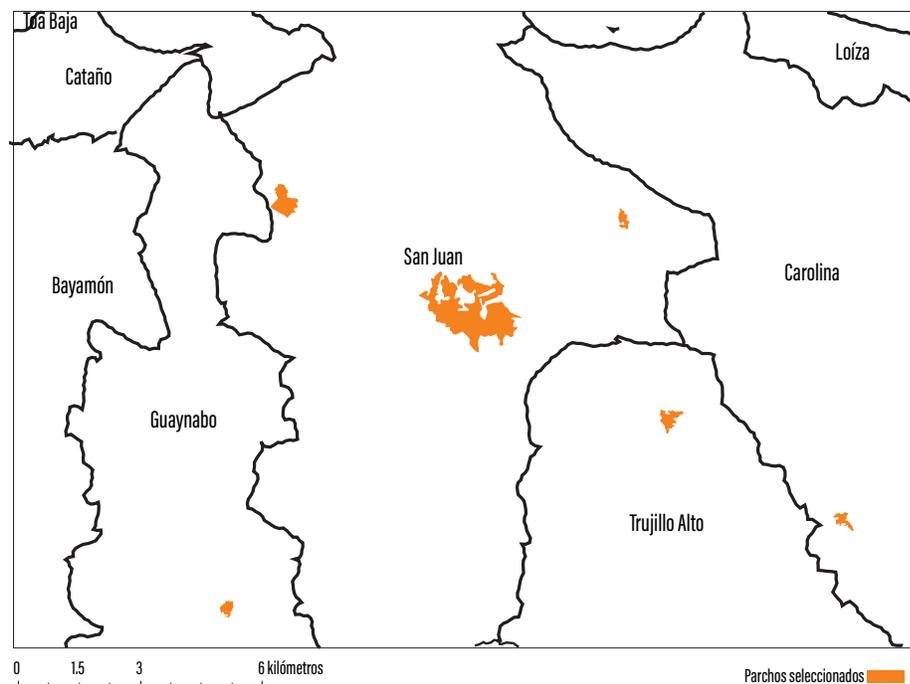
La pérdida de bosques a causa de desastres naturales reduce hábitats importantes para las poblaciones de aves. Debido a las continuas presiones de desarrollo humano, los bosques urbanos tienen una mayor vulnerabilidad ante eventos como los huracanes debido a la fragmentación. Esto crea parchos de bosque cuya función como hábitat para aves es limitada en recursos de alimento, refugio y área de anidaje. Simultáneamente, las aves proveen servicios ecosistémicos que contribuyen a la productividad y la expansión de los bosques, entre ellos la polinización, la dispersión de semillas y el control de plagas para las plantas. Es importante estudiar las aves, ya que mantener estables sus poblaciones ayuda a conservar los bosques.

Área de estudio

Esta evaluación de poblaciones de aves y hábitat de bosques urbanos se realizó durante los meses de enero a mayo de 2018 en la zona metropolitana de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan, al norte de Puerto Rico. El área de estudio se encuentra dentro de la zona de vida de bosque húmedo subtropical (Ewell y Whitmore, 1973), con una precipitación anual de 1,752 mm y una temperatura promedio anual de entre 21 °C y 31 °C. La elevación del terreno fluctúa entre 0 y 238 m sobre el nivel del mar. A pesar de su carácter urbano, el área de San Juan conserva parchos de bosque que se dividen entre áreas protegidas y propiedades privadas de parcelas sin desarrollar. De un total de 40 parchos previamente evaluados por su composición de aves y estructura de bosque (Suárez Rubio y Thomlinson, 2009), se seleccionaron seis para la evaluación después del huracán María ubicados en los municipios de Carolina, Trujillo Alto, San Juan y Guaynabo (figura 1). Dado que los parchos de bosque varían en tamaño, el número de puntos de conteo aumenta con el área para obtener un recuento representativo de las especies de aves presentes en ellos: 1 punto para los parchos de 1 a 2 hectáreas (El Mirador, n = 1), 2 puntos para los parchos de 3 a 4 hectáreas (Juan Rodríguez, n = 1), 3 puntos para los parchos de 5 a 10 hectáreas (Campo Rico, n = 1), 4 puntos para los parchos de 11 a 20 hectáreas (Monte Trujillo, n = 1), 5 puntos para los parchos de 21 a 30 hectáreas (San Patricio, n = 1) y 10 puntos para los que tienen

más de 60 hectáreas (Jardín Botánico, n = 1). Los veinticinco (25) puntos se identificaron mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) utilizando como referencia las coordenadas de los puntos del estudio de Suárez Rubio y Thomlinson (2009).

Figura 1. Parchos seleccionados en la zona metropolitana de San Juan, Puerto Rico



Evaluación de daños a los árboles

Se evaluaron los daños causados a la vegetación en los 25 puntos de conteo de aves. En cada punto se midieron, a 1.3 metros de la base del tronco, cuatro árboles con un diámetro a la altura del pecho (DBH) mayor o igual que 2 cm. También se clasificó cada árbol de acuerdo con la especie y el tipo de daño estructural causado por el huracán. Para estimar el daño a la vegetación se utilizó el protocolo de salud forestal (*Forest Health*) de la Agencia de Protección Ambiental federal (Tallent-Halse-



II, 1994) con las siguientes categorías de daños: daño de corona [bajo (L, 0-30 %), medio (M, 31-60 %) y alto (H, >61 %)], claridad del dosel o defoliación [bajo (L, 0-30 %), medio (M, 31-60 %) y alto (H, >61 %)], daño al tronco [(desarraigado (U), división (S), punta (T) y ninguno (N)], agente natural de daños [viento (W)], brote de hojas nuevas o refoliación (Sí o No) y estado de salud o enfermedad [plaga de insectos (I), hongos (D) o ninguno (N)].

Conteo de aves

Replicamos la misma metodología de conteo de aves que Suárez Rubio y Thomlinson (2009). Las aves se contaron usando el método de conteo de puntos dentro de un radio fijo de 25 m (Hutto *et al.*, 1986). Los puntos previamente establecidos tenían al menos 100 m de separación para evitar contar los mismos individuos por punto. Cada punto de observación se visitó una vez durante 10 minutos, entre las horas de 6:30 a 10:30 a. m., con poco o ningún viento y sin precipitación, a fin de aumentar la detección de aves. Se apuntaron todas las observa-

ciones visuales y auditivas hasta un máximo de 100 m. Además, se estimó la distancia entre cada pájaro y el punto de observación. Las aves que volaban por el área fueron anotadas, pero excluidas de los análisis.

Resultados

Se observó un total de 357 individuos y 24 especies en los 25 puntos de conteo. Nuestros resultados muestran una tendencia similar a la de estudios previos sobre el tamaño del bosque y la diversidad de aves: mientras más grande era el área del parcho, mayores fueron la abundancia (número de individuos, figura 2) y la riqueza (número de especies, figura 3) observadas. La figura 4 muestra las cinco especies de mayor frecuencia: la reinita común (BANA, n=60), la tórtola cardosantera (ZEND, n=45), el mozambique (GAGR, n=44), el zorzal pardo (PETH, n=29) y la tórtola aliblanca (WWDO, n=28). Todas son aves comunes en zonas urbanas por ser especies generalistas que presentan alta tolerancia a la presencia humana y flexibilidad en la dieta y el hábitat.

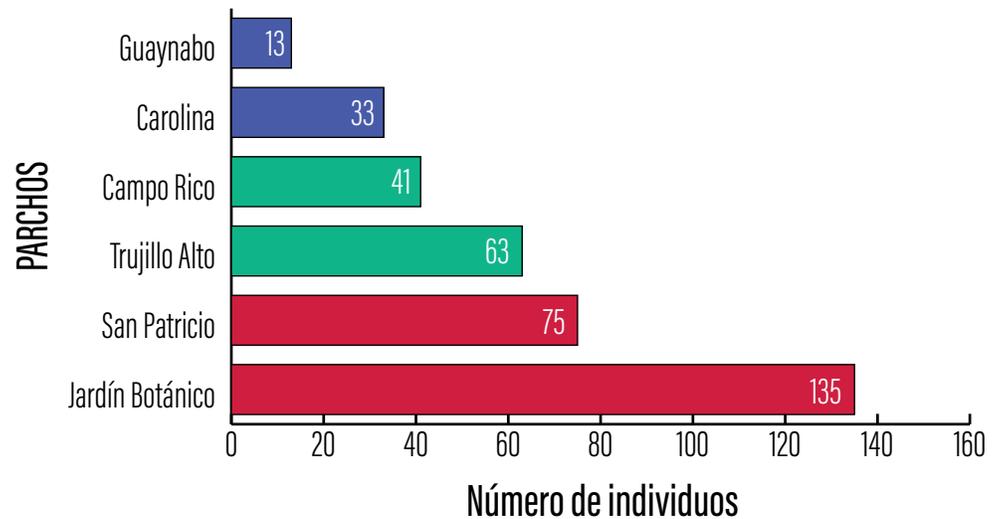


Figura 2. Abundancia de aves detectada por parcho estudiado

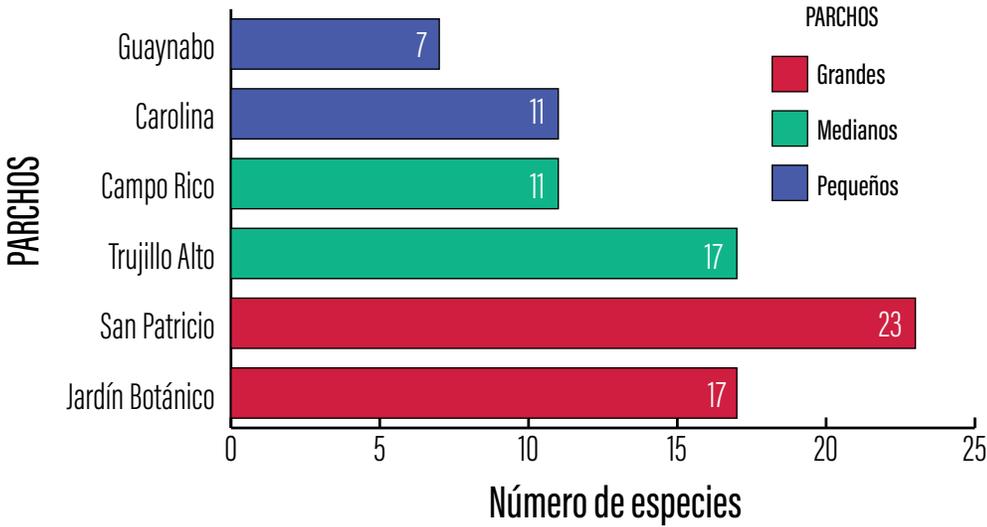


Figura 3. Riqueza de aves detectada por parcho estudiado

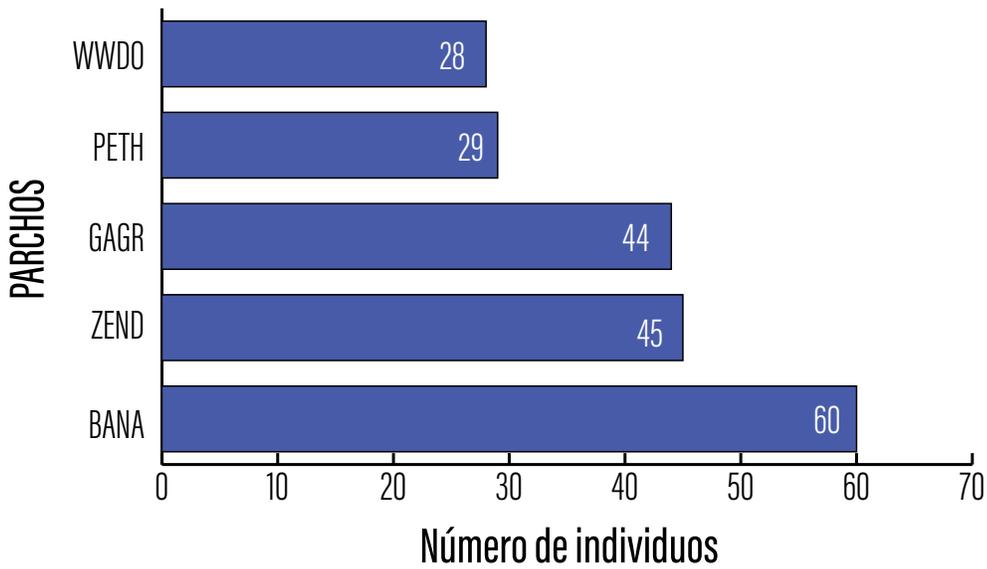


Figura 4. Las cinco especies de aves con mayor número de individuos observados: BANA (reinita común), ZEND (tórtola cardosantero), GAGR (mozambique), PETH (zorzal pardo) y WWDO (tórtola aliblanca)

Se identificó un total de 100 árboles pertenecientes a 26 especies, con diámetros de tronco (DBH) de 3.5 a 318.3 cm, para determinar la salud forestal después del huracán. La evaluación de salud forestal se dividió en cinco categorías: daño de corona (pérdida de ramas), defoliación (pérdida de hojas), daño al tronco, refoliación (con retoños) y enfermedad (presencia de hongos o plagas). La figura 5 muestra que, de los 100

árboles observados, el 76 % tuvo un alto daño de corona, el 88 % presentó una alta defoliación, el 25 % experimentó daño al tronco y el 6 % presentaba alguna enfermedad. A pesar de los altos daños a la vegetación, se observó refoliación en el 96 % de los árboles evaluados, lo que indica una alta recuperación dentro de los primeros 4 a 8 meses siguientes al paso del huracán María. En particular, la familia de las palmas fue la que resistió los efectos del huracán con un menor porcentaje de



daños (33 %) en la corona (tabla 1). Durante los primeros meses de conteo de aves (enero y febrero) se observaron palomas, pitirres, zorzales y changos visitando las palmas y comiendo sus frutos, que fueron un importante recurso de alimento después del evento atmosférico.

Conclusión

La evaluación realizada resume el estado de las aves y la salud forestal de su hábitat luego del huracán María en seis parchos de bosques urbanos. Logramos observar 24 especies de aves —16 residentes, 4 endémicas, 3 migratorias y 1 introducida— con mayor frecuencia de especies generalistas adaptadas a la vida en áreas urbanas.

Además, observamos un patrón común: mientras más grande es el tamaño del parcho, mayor es la diversidad de aves observadas. En cuanto a las condiciones de los parchos de bosques, obtuvimos un alto porcentaje de árboles con grandes daños. Mayormente, los árboles tuvieron altas pérdidas de ramas y hojas. Sin embargo, el 96 % presentó refoliación y el 94 % estaba libre de enfermedades (hongos o plagas). Tomando como guía el método utilizado en este estudio, se debe multiplicar el esfuerzo realizado con un mínimo de 18 parchos —3 de cada tamaño— y al menos 3 visitas por punto para poder robustecer el análisis estadístico y determinar con mayor eficacia las condiciones de las aves y los bosques urbanos del estuario de la bahía de San Juan.

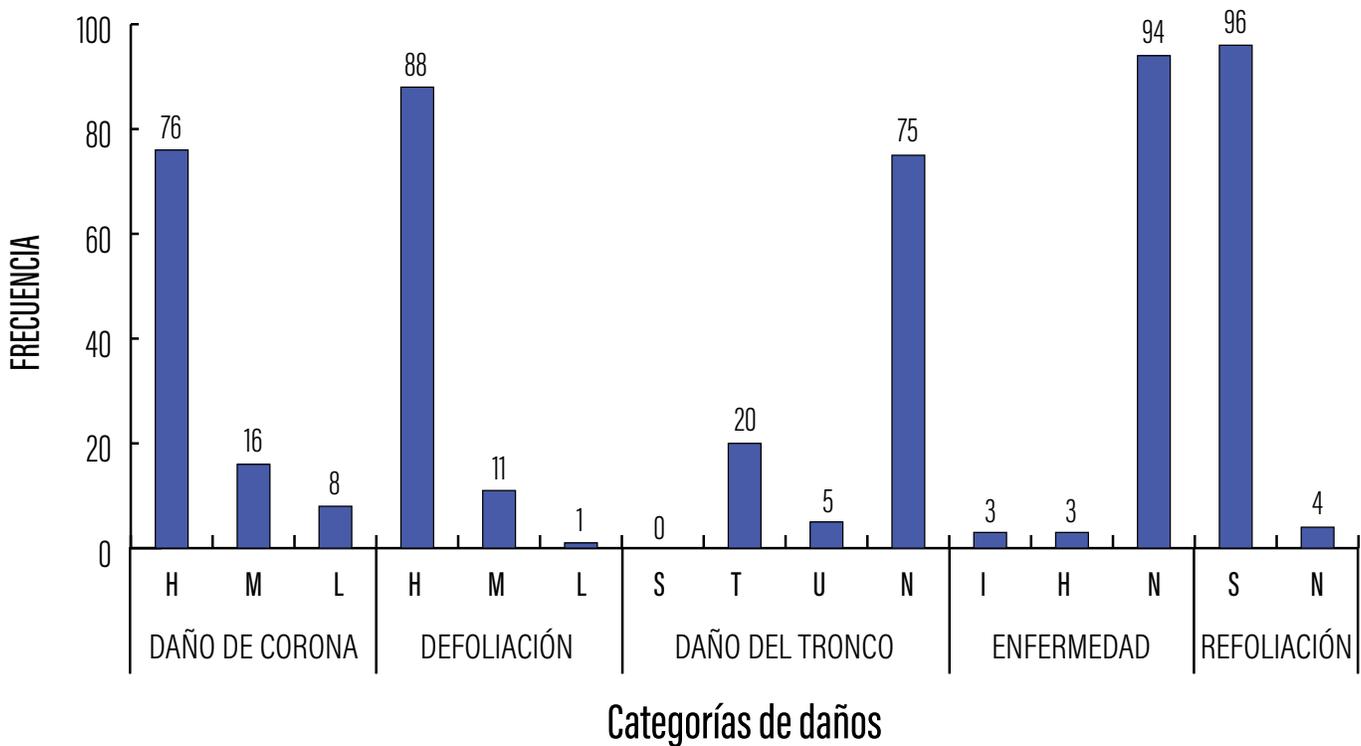
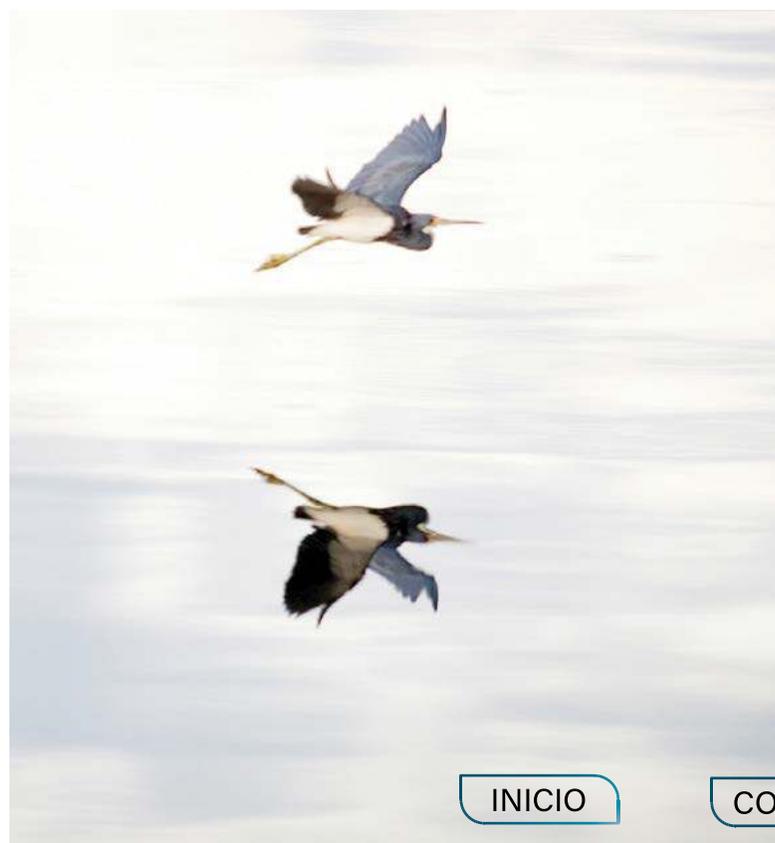


Figura 5. Frecuencia observada por categorías de salud forestal: daño de corona [bajo (L, 0-30 %), medio (M, 31-60 %) y alto (H, >61 %)], claridad del dosel o defoliación [bajo (L, 0-30 %), medio (M, 31-60 %) y alto (H, >61 %)], daño al tronco [desarraigado (U), división (S), punta (T) y ninguno (N)], agente natural de daños [viento (W)], brote de hojas nuevas o refoliación (Sí o No) y estado de salud o enfermedad [plaga de insectos (I), hongos (H) o ninguno (N)].

TABLA 1.

Resultados de daños observados con mayor frecuencia en los árboles

Nombre del árbol	Cantidad	Alto daño de corona	Alta defoliación	Alto daño del tronco	Enfermedad	Con refoliación
<i>Acassia</i>	13	12	13	3	2	10
Palma	9	3	7	1	0	9
Palo de mango	9	3	7	1	1	9
<i>Pterocarpus</i>	9	6	7	2	0	9
Roble nativo	9	4	7	2	0	9
Tulipán africano	9	9	9	4	1	9
Reina de las flores	7	6	6	3	1	7
Árbol de chinche	6	6	6	2	0	6
<i>Cassia</i>	4	3	4	0	0	4
Oreja de mono	4	3	4	1	0	4
Otras especies	21	19	16	4	1	20
Total	100	74	86	23	6	96



INICIO

CONTENIDO



INICIO

CONTENIDO



INFRAESTRUCTURA NATURAL



ESTUARIO
PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN



ESTUARIO



DIAGNÓSTICO

POR BRENDA TORRES BARRETO

La infraestructura natural juega un papel fundamental como amortiguador de desastres ante eventos naturales como huracanes y terremotos. La vegetación atenúa inundaciones y absorbe buena parte del agua de lluvia contaminada y de las escorrentías sanitarias. Nos refresca en tiempos de calores extremos y protege las costas de la erosión. En una isla con altos niveles de enfermedades respiratorias, la vegetación es importante porque purifica el aire y aumenta la producción de oxígeno. Pero solo algunas de estas áreas —el 16 % del territorio de Puerto Rico— están categorizadas como áreas naturales protegidas.

Los bosques, mangles y corales actuaron como barreras naturales para aminorar el impacto de intensidad catastrófica de los huracanes Irma y María en 2017. La Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño, el humedal de mayor extensión territorial en la región metropolitana, sirvió como infraestructura pluvial y sanitaria. Igual función cumplió el Bosque de Piñones, que comprende una tercera parte de los bosques de mangle protegidos en Puerto Rico. Arrasados por los vientos y marejadas, estos recursos salvaron vidas.

Los diseños de construcción con los fondos asignados a la recuperación tienen que incluir estrategias para reponer la pérdida, preservar y ampliar la infraestructura natural. Para ello, hace falta una política pública que reconozca su aportación a nuestra calidad de vida y a la reducción de riesgos ante eventos naturales. Cuantificar el beneficio económico de áreas verdes y abiertas permite entender su costoefectividad.

Jurisdicciones como las de Washington, D. C. y Portland, en Oregón, han establecido reglamentos e incentivos para que los nuevos sistemas de manejo de aguas estén en armonía con el entorno ambiental. Esta inversión puede ahorrar de un 30 % a un 60 % en las mejoras de los sistemas

para el manejo de escorrentías, en comparación con la infraestructura tradicional. Si los municipios y el Gobierno central adoptaran estas políticas, obtendrían mayores beneficios de los fondos disponibles, a la vez que proveerían a la población espacios de recreación, interacción y aprendizaje.

El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan ha impulsado estas técnicas ambientalmente sostenibles, como el manejo estratégico de la vegetación, los suelos y los procesos naturales, para el control de escorrentías y para crear ambientes urbanos más saludables. Planificamos y diseñamos con la participación activa de las comunidades.

En la costa sur de la laguna del Condado, reparamos y replantamos mangles para restaurar el hábitat de diversidad de fauna, mientras redujimos los riesgos de inundación de las comunidades vecinas. También, instalamos jardines de lluvia para aminorar el impacto de descargas de aguas contaminadas y proteger este valioso atractivo turístico.

En la cuenca del río Grande de Loíza, desarrollamos un proyecto de desalinización de agua para que la comunidad tenga acceso a un suministro adecuado de agua potable segura. Con estas iniciativas, creamos oportunidades para involucrar a los vecinos en el cuidado de los cuerpos de agua, así como actividades y guías educativas.

En Bayamón, a través del proyecto de infraestructura del Centro Ambiental Santa Ana, en el Parque Nacional Julio Enrique Monagas,

buscamos restablecer y expandir los ecosistemas del bosque y la agricultura urbana. Mientras reverdecemos la infraestructura gris, contribuimos a reducir el agua pluvial y el efecto del calor, mejoramos la calidad tanto del aire como de las aguas y ofrecemos un paisaje natural más saludable para las personas que se ejercitan en el parque, a quienes también proveemos actividades de educación ambiental.



Estas experiencias y la documentación científica que las sostiene están disponibles para los forjadores de la política pública. A continuación, se ofrecen análisis y recomendaciones que aprovechan los recursos ambientales como solución para que Puerto Rico esté en condiciones óptimas para enfrentar eventos naturales futuros.



CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y BOSQUES URBANOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN A CAUSA DE LOS HURACANES IRMA Y MARÍA

POR JUAN ORENGO ROLÓN

Introducción

La vegetación es esencial para el buen funcionamiento de todo ecosistema, ya sea rural o urbanizado, debido a que cumple funciones como regular el microclima, proveer hábitat para distintas especies de fauna y aportar tanto al ciclo de nutrientes como al ciclo hidrológico (Baró *et al.*, 2014). Dentro de las ciudades, la vegetación provee una gran cantidad de beneficios llamados servicios ecosistémicos que promueven el bienestar de la ciudadanía, la remoción de contaminantes atmosféricos, el control y la purificación de las aguas de escorrentía, la reducción del consumo de energía eléctrica y la mitigación del efecto “isla de calor”, entre otros (Low, 2014). Actualmente, la mayoría de la población a nivel mundial está concentrada en centros urbanos y se espera que esta tendencia siga aumentando junto con la tasa global de urbanización (Buhaug y Urdal, 2013). La cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan (EBSJ) también ha estado sujeta a la expansión urbana, la tala de árboles y otros disturbios que han provocado una merma en su infraestructura verde (Lugo, 2000; Ramos Santiago *et al.*, 2014).

Los embates de los huracanes Irma y María en Puerto Rico fueron grandes perturbaciones naturales que provocaron una reducción en la cobertura vegetal (figura 1) e incrementaron la mortalidad arbórea que ya

promovían los disturbios antropogénicos dentro de la cuenca del EBSJ (Brandeis *et al.*, 2014; Feng *et al.*, 2018; Lugo, 2000; Ramos Santiago *et al.*, 2014). Se estima que a nivel de isla se perdieron de 23 a 31 millones de árboles luego del huracán María, mientras que el municipio de San Juan perdió alrededor del 24.8 % de su cobertura arbórea (Feng *et al.*, 2018; Meléndez Ackerman *et al.*, 2018). Esto crea un problema para las comunidades localizadas dentro de la cuenca del estuario, ya que se pueden generar deficiencias en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la resiliencia comunitaria y el bienestar de sus residentes (Jennings *et al.*, 2016; Low, 2014).

El hecho de que el 36.3 % del área total de la cuenca del EBSJ esté compuesta por zonas residenciales resalta la importancia que tiene la vegetación localizada en estos sectores (Brandeis *et al.*, 2014). Estudios llevados a cabo en múltiples vecindades dentro de la subcuenca hidrográfica del río Piedras han detectado un patrón de pérdida de cobertura vegetal que ha sido más severo para algunas comunidades (Ramos Santiago *et al.*, 2014). Esto implica que ciertas vecindades obtendrán una menor cantidad de servicios, haciéndolas más vulnerables a futuros eventos climáticos. Puesto que el 10 % de la cuenca del EBSJ se compone de áreas naturales protegidas y bosques urbanos, estos espacios se podrían ver como una alternativa capaz de ayudar a compensar las deficiencias en la provisión de servicios que podrían padecer ciertas localidades (estuario.org).

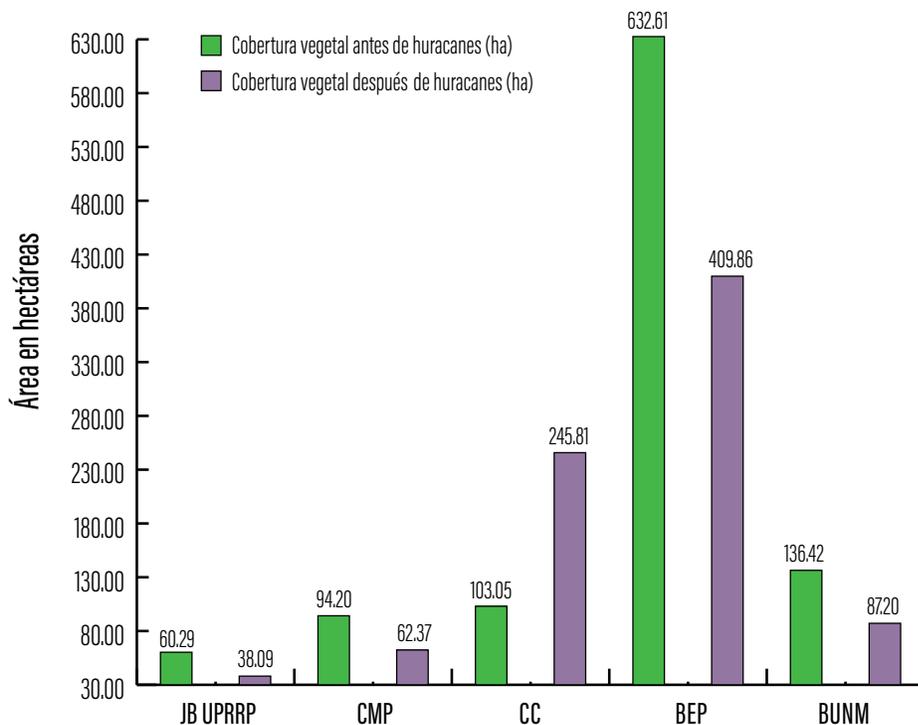


Figura 1. Cambios en la cobertura vegetal promovidos por los huracanes Irma y María en cinco zonas de importancia ecológica para la cuenca hidrográfica del EBSJ

Algunos de los propósitos principales de los bosques urbanos son conservar especies de flora y fauna, promover la investigación científica, proveer servicios a la ciudadanía, mantener la calidad de los cuerpos de agua cercanos y crear un espacio de cobertura vegetativa que ayude a mitigar los efectos adversos del ambiente urbano. Tras el paso de los huracanes Irma y María, áreas como el Jardín Botánico de Río Piedras, el Bosque Urbano del Nuevo Milenio y el Bosque Estatal de Piñones, entre otras zonas de gran valor ecológico, sufrieron una gran pérdida de cobertura vegetal, por lo cual se esperaría observar una disminución en su capacidad para brindar servicios ecosistémicos (Meléndez Ackerman *et al.*, 2018). Esto resalta la importancia de promover la recuperación de la infraestructura verde dentro del EBSJ como herramienta para dis-



minuir las vulnerabilidades ecológicas exacerbadas por los huracanes (Lugo, 2000; Meléndez Ackerman *et al.*, 2018).

Comprender cómo se afectó la cobertura vegetativa en los bosques urbanos y las áreas naturales protegidas dentro de la cuenca del EBSJ es de suma importancia para poder planificar estrategias dirigidas a aumentar la resiliencia ante futuros eventos climáticos. El proyecto G-LiHT (Goddard's Lidar, Hyperspectral and Thermal Imager) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA) utilizó cámaras de alta resolución para capturar imágenes aéreas en diversas zonas de la isla con el fin de entender mejor el efecto que tuvieron los huracanes sobre los bosques urbanos y naturales de Puerto Rico (nasa.gov). El objetivo principal de esta evaluación fue utilizar las imágenes capturadas por la NASA para cuantificar cómo los huracanes promovieron cambios en la cobertura de árboles y arbustos (vegetación leñosa), así como en los servicios que dicha cobertura provee (eliminación de contaminantes atmosféricos, secuestro y almacenaje de CO₂). Para cuantificar estos cambios dentro de la cuenca se utilizó la herramienta i-Tree Canopy, diseñada por el Servicio Forestal de Estados Unidos, que permite hacer fotointerpretaciones con el uso de puntos de muestreo aleatorios para facilitar la estimación de la cobertura vegetal y los servicios asociados a la misma (i-Tree tools.org).

Desarrollo: resultados, discusiones e información relevante

El análisis llevado a cabo con los puntos de muestreo de i-Tree Canopy y las imágenes capturadas por el proyecto G-LiHT de la NASA permitieron estimar la cobertura de vegetación leñosa antes y después de los huracanes (figuras 2 y 3), junto con los cambios en la provisión de servicios, para cinco zonas de importancia ecológica dentro de la cuenca hidrográfica del EBSJ: el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, el Bosque Urbano del Nuevo Milenio, la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas, el caño Martín Peña y Bosque Estatal de Piñones. En estas áreas se perdió en promedio un 24.2 % de la cobertura vegetal (tabla 6), cantidad similar a la pérdida experimentada por el municipio de San Juan (24.8 %). Esta pérdida en la cobertura del follaje (hojas en las copas) provocó una merma del 35.5 % en el potencial que tienen los árboles y arbustos para proveer servicios ecológicos dentro de las zonas de estudio, con excepción de la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas, donde se documentó una pérdida del 76 %. Aparte de esto, se perdieron aproximadamente 132,147 toneladas de carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂) que solían estar almacenadas en el tejido vegetal (biomasa) (tabla 6B). Esta disminución en la provisión de servicios es preocupante debido a que reduce la calidad del aire que respira la ciudadanía.



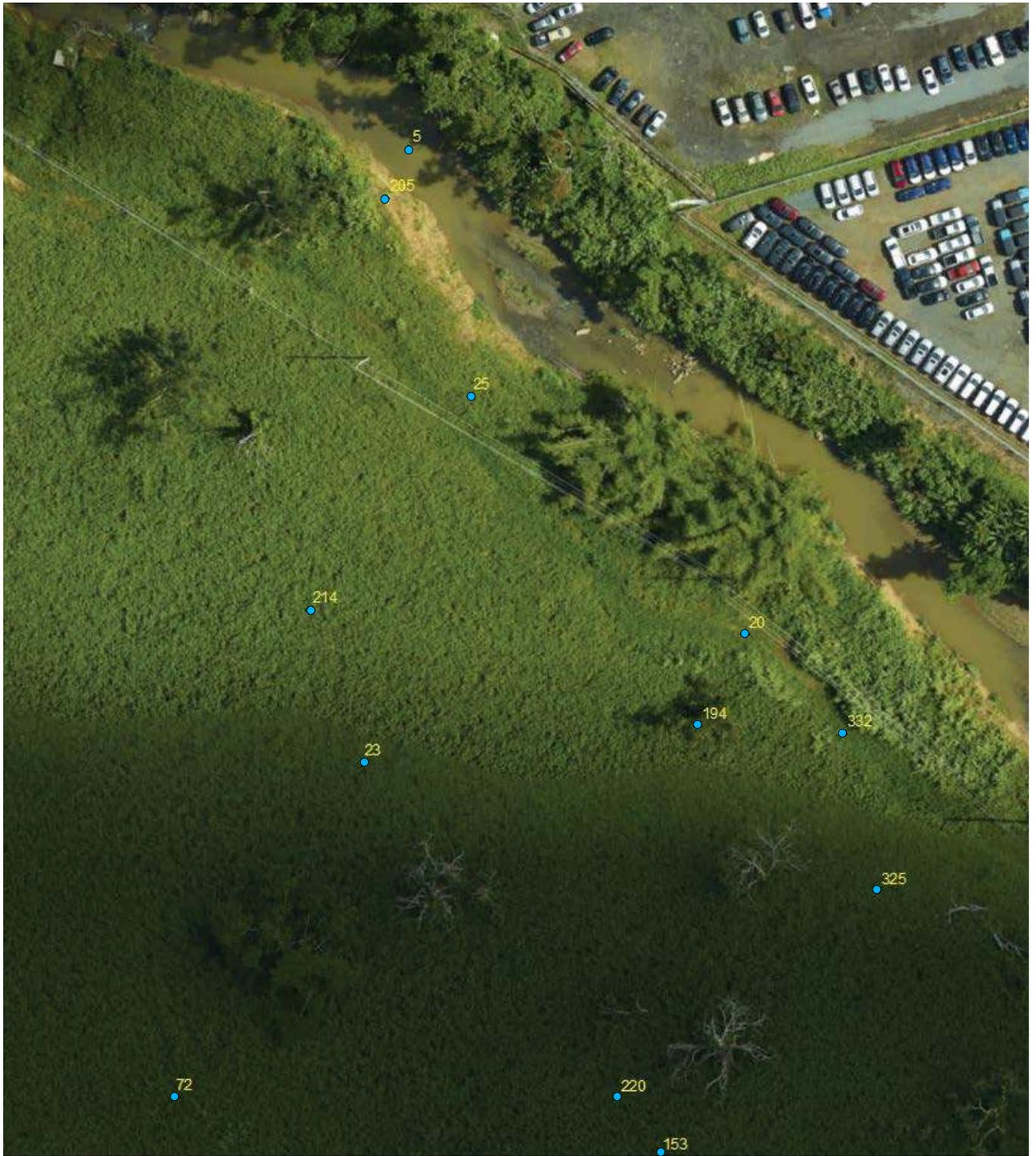


0 0.0047050095 0.019 millas

Figura 2. Puntos de muestreo de i-Tree Canopy sobre el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, antes del huracán María



ESTUARIO



0 0.0047050095 0.019 millas

Figura 3. Puntos de muestreo de i-Tree Canopy sobre el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, después del huracán María

La falta de energía eléctrica en los meses posteriores al paso del huracán María provocó un aumento en el uso de generadores eléctricos, lo cual incrementó a su vez las emisiones de contaminantes atmosféricos. Este factor, junto con la disminución en el potencial que tiene la vegetación a la hora de purificar la atmósfera, tiene un efecto nocivo en la calidad del aire que representa un peligro para ciertos sectores de la población, como los pacientes de asma, una enfermedad crónica cuya prevalencia en Puerto Rico supera la de Estados Unidos (Associated Press, 2018). En zonas como el caño Martín Peña esto es aún más grave, ya que la prevalencia de esa enfermedad supera la del resto de la isla para los niños menores de cinco años de edad (Sheffield *et al.*, 2014). Al haber perdido aproximadamente el 22 % de su cobertura vegetal, se estima que la vegetación leñosa dentro del caño Martín Peña secuestra alrededor de 387.2 toneladas menos de contaminantes atmosféricos al año como consecuencia de los huracanes (tabla 3A). Sustancias como el material particulado de 10 micrones (PM_{10}) y 2.5 micrones ($PM_{2.5}$) de diámetro están formadas por pequeñas partículas que pueden traspasar las vías respiratorias, promoviendo efectos dañinos para la salud. Estas dos sustancias tienden a depositarse en la superficie de las hojas de los árboles, lo cual evita que queden suspendidas en la atmósfera y reduce el riesgo de que sean inhaladas. A consecuencia de la pérdida de follaje, es posible que aumente la concentración de estos y otros tipos de contaminantes, junto con la probabilidad de otras contingencias como las inundaciones.

Puerto Rico genera 5,839 MW de energía distribuidos entre 31 unidades generadoras principales en 20 instalaciones (Kwasinski, 2018). Las plantas más importantes y afectadas por el huracán María fueron la Central Cambalache en Arecibo, la Central Palo Seco en Cataño, las Centrales Termoeléctrica y Ciclo Combinado Aguirre en Salinas, la Central Costa Sur en Guayanilla y las Centrales Termoeléctrica y Ciclo Combinado en San Juan (Autoridad de Energía Eléctrica, 2019).

La isla cuenta con dos fincas eólicas: una en Santa Isabel, con capacidad de 95 MW, y otra en Punta Lima, al noreste, con capacidad de 23.4 MW (Kwasinski, 2018). De ambas, solo Punta Lima fue afectada por el huracán, ya que sus 13 molinos enfrentaron vientos sostenidos de 125 mph, a diferencia de los de Santa Isabel, que estaban fuera de la trayectoria del ciclón (Kwasinski, 2018). Las plantas fotovoltaicas también sufrieron daños considerables. Para septiembre de 2017, había cinco plantas fotovoltaicas (paneles solares) alrededor de la isla. Al igual que con las fincas eólicas, las más afectadas fueron las que estaban dentro de la trayectoria del huracán, como la planta fotovoltaica de Humacao (Kwasinski, 2018). A pesar de estos daños, los paneles solares domésticos que sobrevivieron a los vientos jugaron un papel importante a la hora de brindar energía a familias sin servicio eléctrico mientras la Autoridad de Energía Eléctrica intentaba reestablecer el suministro.

Por otra parte, la quema de combustibles libera compuestos como los hidrocarburos, el dióxido de azufre (SO_2) y otras partículas de materia fina ($PM_{2.5}$) que se consideran posibles cancerígenos (Ramachandran *et al.*, 2018). La Agencia de Protección Ambiental (EPA) establece un estándar primario de una hora en 75 ppb (*parts per billion* o partes por mil millones) para las emisiones de SO_2 en el aire ambiental, pero dada la situación levantaron su reglamento hasta diciembre de 2017 (Office of Land and Emergency Management, 2017). Según datos recopilados, tras el paso del huracán María, de noviembre a diciembre de 2017, se registró un aumento significativo de monóxido de carbono (CO) y de dióxido de azufre (SO_2), excediendo este último el parámetro de la EPA por un 80 % (Ramachandran *et al.*, 2018). Después del huracán, algunos artículos reportaron un aumento en la cantidad de pacientes con asma, una enfermedad directamente relacionada con la contaminación atmosférica y otros factores (Byrd, 2018).

El caño Martín Peña (figura 4) es una de las zonas más densamente pobladas del área metropolitana y, a la vez, una de las más pobres en todo Puerto Rico (Amiri, 2018; Sheffield *et al.*, 2014). Al haber sido construidas sobre humedales, las comunidades del caño sufren de inundaciones recurrentes que se vuelven sumamente insalubres por las deficiencias en los sistemas de alcantarillado. Esto, junto con la descarga de aguas usadas en el canal del caño, menoscaba la calidad del agua, promoviendo que la tasa de enfermedades crónicas en esta comunidad sea más alta que en muchas otras comunidades de la isla (Sheffield *et al.*, 2014). La pérdida de casi una cuarta parte de su cobertura vegetal supone un riesgo, ya que una menor cantidad de árboles y arbustos incrementa las aguas de escorrentía, lo cual promueve las inundaciones. También podrían aumentar las cantidades de contaminantes como selenio y cobre que se han reportado en el área del caño, ya que, al haber una menor cantidad de raíces insertadas en el suelo, serán menos los contaminantes que quedan atrapados en estos filtros naturales que ayudan a purificar el agua y el suelo.

Otra zona de gran valor ecológico para la cuenca del EBSJ es la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño (figura 5), que contiene el humedal de agua dulce más grande dentro de la cuenca (Bauzá Ortega, 2015). Al igual que en el caño Martín Peña, la comunidad Juana Matos, localizada cerca de Las Cucharillas, se caracteriza por tener un perfil económico bajo. La pérdida en cobertura vegetal que experimentó esta área luego de los huracanes ha hecho que muchos de los enfoques en el manejo de esta reserva vayan dirigidos a la reforestación y recuperación del manglar afectado por el evento atmosférico. Los resultados de i-Tree Canopy estimaron una pérdida de cobertura arbórea de aproximadamente 27.87 %, con muchos de los árboles afectados localizados en el área del manglar. Los mangles funcionan como una especie de escudo durante las tormentas, ya que estas especies de árboles evitan la erosión en las zonas costeras y frenan las marejadas y los vientos huracanados, lo cual protege a las comunidades aledañas de las inundaciones causadas por los huracanes. Al contar con una menor cantidad de mangles, la comunidad Juana Matos se encuentra



Figura 4. Caño Martín Peña



Figura 5. Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas

en un estado de mayor susceptibilidad ante futuras tormentas, ya que la barrera defensiva que componía el manglar se debilitó.

Los manglares también fueron grandemente afectados en el Bosque Estatal de Piñones (figura 6), donde el 70 % de las especies de árboles son mangles (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [DRNA], 2008). Según los resultados de i-Tree Canopy, en esta área se documentó la mayor pérdida en cobertura vegetal (222.7 ha). Esto afecta significativamente a la cuenca del EBSJ en su totalidad, ya que, aparte de ser el bosque urbano de mayor extensión territorial en el estuario, se estimó una reducción del 35.2 % en la capacidad de su vegetación para eliminar contaminantes atmosféricos (tabla 5A). Al igual que en la Reserva Natural de la Ciénaga Las

Cucharillas, la aminoración en la cobertura de mangles representa un riesgo para la zona costera debido a la reducción del potencial del manglar a la hora de resistir marejadas, controlar inundaciones y sostener el terreno durante eventos atmosféricos. La pérdida de estos árboles también amenaza a especies que dependen de este bosque como hábitat, entre ellas algunas consideradas en peligro, como es el pelicano pardo (*Pelecanus occidentalis*) (DRNA, 2008).

La conservación y la protección de especies nativas de la isla que están en peligro de extinción son algunas de las funciones más importantes que cumplen los bosques urbanos y los jardines botánicos dentro de la cuenca estuarina. Lugares como el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico en Río Pie-



■ Figura 6. Bosque Estatal de Piñones

dras (figura 7) y el Bosque Urbano del Nuevo Milenio (figura 8) no solo sufrieron una reducción en su cobertura arbórea (28 % y 18.3 %, respectivamente) a causa de los huracanes. Al igual que las demás zonas del EBSJ, estos dos bosques urbanos experimenta-

ron una merma en su capacidad para proveer hábitat y promover la biodiversidad de especies tanto de flora como de fauna. El análisis de i-Tree Canopy ayudó a estimar la pérdida de servicios de purificación atmosférica en estas dos zonas (tablas 1A y 2A). Sin embargo, el programa solo contabilizó la pérdida de servicios según los cambios en la cobertura del follaje de la vegetación leñosa, sin tomar en consideración la reducción en el número de especies. Debido a que una menor diversidad de especies implica menor cantidad de servicios ecosistémicos, se podría esperar una aminoración incluso mayor en la provisión de beneficios no solo para el Jardín Botánico y el Bosque Urbano del Nuevo Milenio, sino para el área de la cuenca en general.



■ Figura 7. Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras



Figura 8. Bosque Urbano del Nuevo Milenio

La conservación de especies vegetativas dentro de los jardines botánicos y bosques urbanos es aún más importante hoy en día, ya que factores como los disturbios antropogénicos y el calentamiento global han puesto en peligro a alrededor del 33 % de las especies de plantas vasculares a nivel global. Los bosques urbanos dentro del EBSJ no solo contienen especies que requieren protección y propagación, sino que también son espacios que promueven la ciencia ciudadana y la difusión de conocimiento acerca de la importancia de estas especies (Chen y Sun, 2018).

Otra contingencia provocada por los huracanes fue la reducción del secuestro y almacenaje de CO_2 en la biomasa vegetal. Para las cinco zonas evaluadas, se secuestraron en total alrededor de 5,287 toneladas de dióxido de carbono menos de lo que se solía secuestrar anualmente antes de los huracanes. Al mismo tiempo, se liberaron aproximadamente 132,147 tonela-

das de carbono en forma de CO_2 que solían estar almacenadas en la biomasa de las especies vegetativas. Ambos factores promueven el calentamiento global, ya que los árboles que sobrevivieron a las tormentas secuestrarán una menor cantidad de dióxido de carbono y aquellos que murieron pueden reemitir este gas de efecto invernadero de vuelta a la atmósfera durante su proceso de descomposición.





TABLA 1.

Cambios promovidos por los huracanes Irma y María en la provisión de servicios ecosistémicos y su valor monetario equivalente dentro del Jardín Botánico de Río Piedras

A. Servicio (provisión anual)	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida anual
	Antes	Después		Antes	Después	
Eliminación de CO	207 lb	130 lb	76 lb	\$138	\$87	\$51
Eliminación de NO ₂	1,292 lb	817 lb	475 lb	\$472	\$298	\$174
Eliminación de O ₃ troposférico	4.35 t	2.75 t	1.6 t	\$24,756	\$15,646	\$9,110
Eliminación de PM _{2.5}	401 lb	253 lb	147 lb	\$45,820	\$28,959	\$16,862
Eliminación de PM ₁₀	1.75 t	1.11 t	0.64 t	\$10,935	\$6,911	\$4,024
Secuestro de CO ₂	752.29 t	475.45 t	276.84 t	\$34,935	\$22,036	\$12,899
Total:						\$43,120
B. Cambios en el carbono almacenado en la biomasa de los árboles y su valor monetario equivalente						
	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida total
	Antes	Después		Antes	Después	
	18,892 t	11,940 t	6,952 t	\$875,627	\$553,396	\$322,230

TABLA 2.

Cambios promovidos por los huracanes Irma y María en la provisión de servicios ecosistémicos y su valor monetario equivalente dentro del Bosque Urbano del Nuevo Milenio

A. Servicio (provisión anual)	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida anual
	Antes	Después		Antes	Después	
Eliminación de CO	737 lb	471 lb	266 lb	\$54	\$34	\$20
Eliminación de NO ₂	1,842 lb	1,177 lb	665 lb	\$160	\$102	\$58
Eliminación de O ₃ troposférico	10.81 t	6.91 t	3.9 t	\$8,411	\$5,376	\$3,035
Eliminación de PM _{2.5}	1,042 lb	666 lb	376 lb	\$15,570	\$9,952	\$5,618
Eliminación de PM ₁₀	5.13 t	3.28 t	1.85 t	\$4,199	\$2,684	\$1,515
Secuestro de CO ₂	1,702.46 t	1,088.17 t	614.29 t	\$78,904	\$50,433	\$28,471
Total:						\$38,717
B. Cambios en el carbono almacenado en la biomasa de los árboles y su valor monetario equivalente						
	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida total
	Antes	Después		Antes	Después	
	42,755 t	27,327 t	15,428 t	\$1,981,579	\$1,266,576	\$3,248,155

TABLA 3.

Cambios promovidos por los huracanes Irma y María en la provisión de servicios ecosistémicos y su valor monetario equivalente dentro del caño Martín Peña

A. Servicio (provisión anual)	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida anual
	Antes	Después		Antes	Después	
Eliminación de CO	495.5 lb	327.85 lb	167.65 lb	\$36	\$24	\$12
Eliminación de NO ₂	1,238.14 lb	819.12 lb	419.02 lb	\$107	\$71	\$36
Eliminación de O ₃ troposférico	7.26 t	4.8 t	2.46 t	\$5,672	\$3,752	\$1,920
Eliminación de PM _{2.5}	700.45 lb	463.4 lb	237.05 lb	\$10,499	\$6,946	\$3,553
Eliminación de PM ₁₀	3.44 t	2.28 t	1.16 t	\$2,831	\$1,873	\$958
Secuestro de CO ₂	1,148 t	759.51 t	389 t	\$53,207	\$35,201	\$18,006
Total:						\$24,485
B. Cambios en el carbono almacenado en la biomasa de los árboles y su valor monetario equivalente						
	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida total
	Antes	Después		Antes	Después	
	28,830.8 t	19,074.03 t	9,756 t	\$1,336,229	\$884,029	\$452,199

TABLA 4.

Cambios promovidos por los huracanes Irma y María en la provisión de servicios ecosistémicos y su valor monetario equivalente dentro la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas

A. Servicio (provisión anual)	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida anual
	Antes	Después		Antes	Después	
Eliminación de CO	701.62 lb	167.44 lb	534.18 lb	\$51	\$12	\$39
Eliminación de NO ₂	1,753 lb	418.37 lb	1,334.63 lb	\$152	\$36	\$116
Eliminación de O ₃ troposférico	10.2 t	2.46 t	7.74 t	\$8,030	\$1,916	\$6,114
Eliminación de PM _{2.5}	991.7 lb	236.7 lb	755 lb	\$14,866	\$3,547	\$11,319
Eliminación de PM ₁₀	4.87 t	1.17 t	3.7 t	\$4,009	\$956	\$3,053
Secuestro de CO ₂	1,620 t	386.54 t	1,233.46 t	\$75,334	\$17,978	\$57,356
Total:						\$77,997
B. Cambios en el carbono almacenado en la biomasa de los árboles y su valor monetario equivalente						
	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida total
	Antes	Después		Antes	Después	
	40,067.5 t	9,711.36 t	30,356.14 t	\$1,891,920.88	\$451,518.21	\$1,440,403



TABLA 5.

Cambios promovidos por los huracanes Irma y María en la provisión de servicios ecosistémicos y su valor monetario equivalente dentro del Bosque Estatal de Piñones

A. Servicio (provisión anual)	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida anual
	Antes	Después		Antes	Después	
Eliminación de CO	3,420 lb	2,220 lb	1,200 lb	\$252	\$163	\$89
Eliminación de NO ₂	8,520 lb	5,520 lb	3,000 lb	\$741	\$480	\$261
Eliminación de O ₃ troposférico	50.06 t	32.44 t	17.62 t	\$38,936	\$25,232	\$13,704
Eliminación de PM _{2.5}	4,820 lb	3,120 lb	1,700 lb	\$72,075	\$46,708	\$25,367
Eliminación de PM ₁₀	23.73 t	15.38 t	8.35 t	\$19,439	\$12,597	\$6,842
Secuestro de CO ₂	7,880.47 t	5,106.9 t	2,773.57 t	\$365,238	\$236,690	\$128,548
Total:						\$174,811
B. Cambios en el carbono almacenado en la biomasa de los árboles y su valor monetario equivalente						
	Cantidad		Reducción total	Valor monetario		Pérdida total
	Antes	Después		Antes	Después	
	197,908.25 t	128,253.4 t	69,654.86 t	\$9,172,505	\$5,944,193	\$3,228,312

TABLA 6.

Cambios promovidos por los huracanes Irma y María en la provisión de servicios ecosistémicos y su valor monetario equivalente dentro de cinco zonas de importancia ecológica para la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan

A. Tipo de cobertura	JB UPRRP		CMP		CC		BEP		BUNM	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Vegetación leñosa	49.7	31.4	65.1	43.1	36.6	8.73	71	46	77.6	49.6
Superficie impermeable	9.54	11.9	7.94	8.53	0.2	0.2	0.6	0.6	4	4.4
Césped	38.8	52.3	12.9	20.2	49.7	53.8	1.39	3.77	18	45.2
Suelo expuesto	0.6	1.79	0.4	4.96	0.6	4.37	1.59	8.93	2	0.8
Agua	1.39	2.19	13.7	17.3	12.9	13.1	25.4	24.6	0	0
Otros	0	0.4	0	0	0	19.8	0	16.1	0	0
B. Cambios en la cobertura de vegetación leñosa										
	JB UPRRP		CMP		CC		BEP		BUNM	
Área total (ha)	121.3		144.7		281.57		891		175.8	
Cobertura vegetal perdida (%)	18.3		22		27.87		25		28	
Cobertura vegetal perdida (ha)	22.1		31.8		78.5		222.75		49.2	

JB UPRRP = Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras; CMP = Caño Martín Peña; CC = Ciénaga Las Cucharillas; BEP = Bosque Estatal de Piñones; BUNM = Bosque Urbano del Nuevo Milenio

Conclusiones y recomendaciones

Indudablemente, los huracanes Irma y María fueron dos disturbios naturales de gran magnitud que disminuyeron la cobertura vegetal y alteraron la estructura de los bosques naturales y urbanos que se encuentran en la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan. A su vez, provocaron una merma en el potencial de la vegetación para brindar servicios ecosistémicos a la ciudadanía que reside dentro del estuario. Esta aminoración no solo provocó la pérdida de los servicios documentados por el programa i-Tree Canopy, sino que también afectó la provisión de muchos otros servicios que no se contabilizaron, entre ellos el control y la purificación de las aguas de escorrentía, la provisión de hábitat, la polinización llevada a cabo por organismos polinizadores, la mitigación del efecto “isla de calor”, el control de marejadas y vientos huracanados en los manglares, la compactación del suelo y el control en la erosión del terreno. Estos son solo algunos de los numerosos servicios suministrados por la infraestructura verde, los cuales son esenciales para aumentar la resiliencia de una zona ante futuras catástrofes climatológicas y cuya reducción provoca una disminución en la calidad de vida y un aumento en las vulnerabilidades ecológicas de una zona. Dichas vulnerabilidades se podrían agravar en las siguientes décadas, pues se argumenta que, a consecuencia del calentamiento global y del cambio climático, los huracanes como Irma y María podrían ser más frecuentes. Esto implica que habrá una limitación en el tiempo que tienen las especies vegetativas para recuperar sus estructuras y su potencial para proveer servicios ecológicos (Burley *et al.*, 2008; Lugo, 2000; Resilient Puerto Rico Advisory Commission, 2018).

Se podría concluir que las comunidades que componen el caño Martín Peña se encuentran entre las más vulnerables a futuros fenómenos atmosféricos. Promover la siembra de ciertas especies vegetativas podría ser una alternativa para mitigar las inundaciones, las escorrentías y la concentración de contaminantes en las aguas de la cuenca hidrográfica del EBSJ (Kondo *et al.*, 2015; Mguni *et al.*, 2015).

Para poder atenuar las vulnerabilidades ecológicas que promovieron los huracanes Irma y María dentro del EBSJ es importante invertir en la recuperación y la proliferación de sus áreas verdes. La

infraestructura vegetal rara vez se coloca como prioridad a la hora de designar fondos para el desarrollo de los centros urbanos. Para destacar la importancia de la cobertura vegetal para el bienestar de las ciudades, el programa i-Tree Canopy estima el valor monetario que tienen los servicios ecosistémicos provistos por la flora. Dentro de las zonas evaluadas con i-Tree Canopy, se determinó que el valor económico de todos los servicios perdidos a causa de los huracanes fue de aproximadamente \$359,130 anuales. Atribuir un valor monetario a estos servicios podría incentivar el mantenimiento y la promoción de la vegetación como herramienta para mejorar la calidad de vida, proteger las comunidades de futuras catástrofes naturales y mitigar los efectos adversos del cambio climático dentro de zonas urbanas y rurales.

Limitaciones

La evaluación de los cambios en cobertura y servicios llevada a cabo usando la herramienta i-Tree Canopy, junto con las imágenes aéreas tomadas por el proyecto G-LiHT de la NASA dentro del programa ArcMap, permitieron realizar una fotointerpretación de puntos de muestreo más precisa que la que habría permitido el uso exclusivo de Google Earth (programa normalmente utilizado para muestreos de i-Tree Canopy) gracias a la calidad de las imágenes tomadas por los investigadores de la NASA. El muestreo estuvo limitado por la disponibilidad de las imágenes dentro de las cinco áreas de interés y por la pixelación de algunas fotos a la hora de acercar la imagen hacia un punto en específico. Las imágenes G-LiHT de la ciénaga Las Cucharillas, después de los huracanes, no estaban disponibles, por lo que se utilizaron imágenes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) tomadas el 24 de septiembre del 2017 (4 días después del huracán María). Para el análisis del resto de las zonas después de María se utilizaron imágenes de la NASA tomadas en abril de 2018. Evaluar cuatro zonas meses después del huracán permitió un cierto grado de recuperación en las especies vegetativas. Por esta razón, después de los huracanes, la ciénaga Las Cucharillas presenta una cobertura vegetal más baja que la de cualquier otra zona (8.73 %) (tabla 6).



LAS PLAYAS Y DUNAS DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN: IMPACTO Y RECOMENDACIONES

POR JORGE F. BAUZÁ ORTEGA

El litoral de la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan contiene playas y dunas de alto valor recreativo y ecológico, entre ellas las playas de Condado, Ocean Park e Isla Verde, así como Piñones y Vacía Talega en Loíza. Es de saber que estas playas son un tesoro ecológico, fuente de inspiración, recreación, diversión, protección y seguridad, pues son barreras costeras. Sin embargo, a pesar de su valor, estas fueron y son impactadas. Recordemos que una playa es un delicado proceso de balance dinámico cuya alteración se traduce en pérdida de arena, en erosión costera, en una playa menos. Veamos cómo ocurre este proceso.

La arena en una playa se mueve, va y viene guiada por la acción de viento, las olas y la corriente del litoral. De la duna a la berma se transporta la arena para luego quedar sumergida donde las olas la regresan a la playa y el viento a la duna. Pero también existe una corriente lenta y paralela a la costa llamada la corriente o deriva del litoral. Esta corriente distribuye la arena a lo largo de una playa, de una esquina del litoral a la otra. Se trata de un circuito constante pero balanceado, de un intercambio continuo de arena a lo largo y ancho de la playa. Esta es la dinámica de la celda en una playa. Una dinámica delicada y en equilibrio.

El problema ocurre cuando interrumpimos esa dinámica y ese equilibrio por medio de distintas acciones. La peor de ellas es la extracción de arena para la construcción. Es como retirar efectivo de una cuenta de ahorros sin hacer un depósito después. Indudablemente, observaremos una pérdida, en este caso, pérdida de arena y eventual erosión costera. Esta actividad se dio con gran intensidad en las costas de Loíza, a partir de 1946, para la construcción del Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín.

La Autoridad de los Puertos de Puerto Rico cuenta con diez aeropuertos, de los cuales dos están ubicados dentro de la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan: el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín (SJU), ubicado en Carolina, y el Aeropuerto Fernando L. Ribas Dominicci (SIG), también conocido como Aeropuerto de Isla Grande, ubicado en San Juan. Igualmente, la agencia tiene más de 25 muelles alrededor de la isla, entre ellos 21 que están localizados en la bahía de San Juan.

El Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín experimentó pérdidas de aproximadamente \$86 millones en daños estructurales provocados por el huracán María. Debido a la falta de electricidad y de internet, los sistemas de reservas de vuelos de las aerolíneas sufrieron averías que imposibilitaron la salida de pasajeros (Garvin, 2017). Además, los cuatro radares utilizados para manejar el tráfico aéreo quedaron destruidos, por lo que el flujo de aviones se redujo a menos de 12 vuelos comerciales diarios (Gómez Álvarez, 2017).

Otra gran amenaza a las playas es la construcción misma de estructuras en la costa, mal planificadas, por supuesto. Un ejemplo de ello es la construcción de espolones, las estructuras que salen perpendiculares a la costa para disipar la energía del mar y supuestamente proteger la vida y la propiedad. En este caso, los espolones interrumpen el tránsito de la arena —producto de la deriva del litoral— de una zona de la playa a otra y producen un desbalance, ya que la arena llegará a un lado, pero no al otro. El resultado es la erosión y desaparición de la playa a un lado del espolón. Esta actividad está muy presente en las costas de Ocean Park, por ejemplo.

A estas amenazas se suman la construcción de represas en ríos que estrangulan el aporte de arena de la cuenca, la deforestación de la vegetación costera, la basura marina, el tránsito peatonal y vehicular sobre las dunas, las descargas de aguas pluviales-sanitarias y la combinación de todas las anteriores.

Ahora bien, si a estos ecosistemas delicados y debilitados les añadimos la fuerza natural de un huracán

como María, entonces las consecuencias son más intensas, ya que, por su naturaleza, estos fenómenos tienden a erosionar la costa en unos puntos y acumular arena en otros. En el sector Vacía Talega en Loíza, por ejemplo, las olas entraron y transportaron grandes cantidades de arena en las zonas del litoral donde la duna sufrió impactos por el tráfico peatonal y vehicular. De hecho, depositaron arena en la carretera PR-187 (figura 4) que luego hubo que recoger con maquinaria pesada. Curiosamente, las olas rompieron por estos puntos débiles o brechas producto del tráfico vehicular y peatonal. Otros transportes masivos de arena hacia la carretera ocurrieron en la playa del Último Trolley en Ocean Park y en el balneario del Escambrón. En esencia, la entrada del mar a tierra ocurre en estos puntos, precisamente, por la desaparición de la barrera natural: las dunas que una vez existieron.

Por otro lado, hay que entender la interacción que existe entre las playas, las dunas y los ecosistemas cercanos o asociados. Por ejemplo, la investigadora Inglés Serrano y sus colaboradores del Recinto Universitario de Mayagüez (2017) realizaron un análisis de la erosión en la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde utilizando imágenes aéreas del año 2010 (antes del huracán María) y de los días 24 y 25 de septiembre de 2017 (después del huracán María). El grupo concluyó que el impacto en dicha reserva no fue tan severo como se esperaba gracias a la protección natural que brinda la cadena de arrecifes ubicados en su área norte. Estas barreras de arrecifes no solo protegieron la reserva, sino también todo el litoral, salvaguardando así vidas y propiedad. Imagínense qué habría pasado con toda la infraestructura gris que va desde Condado hasta Isla Verde si esa franja de arrecifes no existiera.

Para que conste, la ola de mayor altura registrada durante el paso del huracán María en la boya 41053, al norte de San Juan, fue de 18 pies de altura (figura 1). En la misma línea, la marejada ciclónica registrada en la bahía de San Juan por el mareómetro de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica fue de 2.4 pies (figura 2) sobre el nivel del mar promedio, aunque el sensor dejó de funcionar, por lo que no se puede descartar que los niveles fueran superiores (Pasch *et al.*, 2017).

Boya 41053 (San Juan) – Altura significativa de las olas

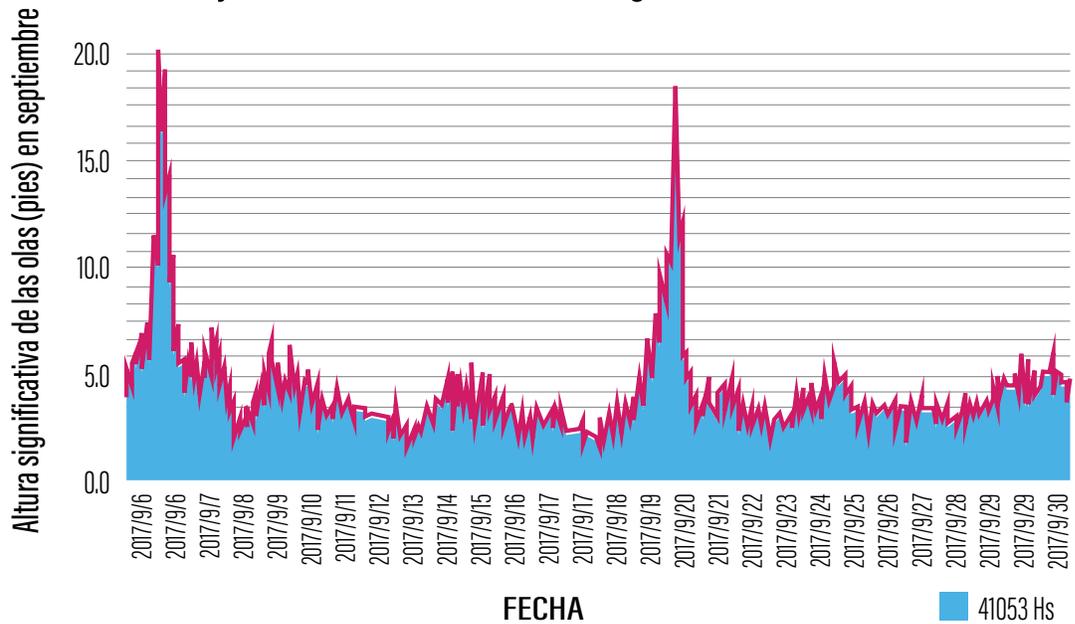


Figura 1. Altura significativa de las olas registrada por la boya 41053, al norte de San Juan, durante el paso del huracán María (Fuente: National Weather Service, 2017).

Alturas horarias de marea registradas en la estación 9755370 – San Juan, La Puntilla, Estuario de la Bahía de San Juan, PR

Del 2017/09/19 00:00 GMT al 2017/09/21 23:59 GMT

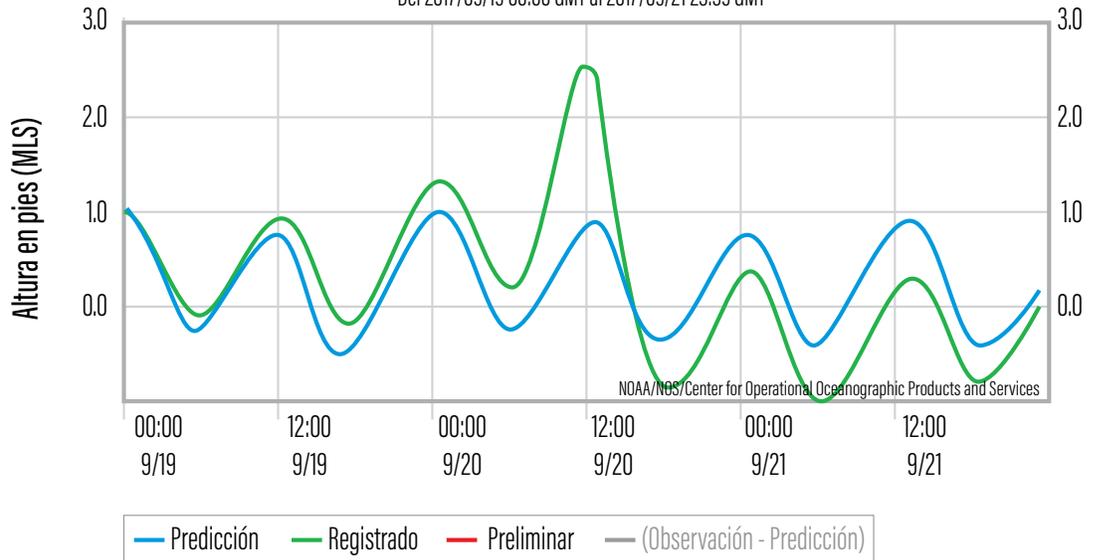


Figura 2. Observaciones de nivel del mar promedio obtenidas por el mareómetro de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, ubicado en la bahía de San Juan, durante el paso del huracán María (Fuente: National Weather Service, 2017)

Ahora bien, existen otros tipos de olas. Por ejemplo, están las llamadas marejadas invernales, que son olas generadas por tormentas invernales a miles de kilómetros de distancia de la orilla. Se trata de olas largas y muy parejas, con mucha energía, casi perfectas, que nos dejan perplejos, pues aparecen cuando no hay viento. Sin embargo, su capacidad destructiva puede superar la de las olas generadas por los huracanes. Por ejemplo, apenas seis meses después del embate del huracán María (4 y 5 de marzo de 2018), nuestras costas fueron impactadas por las marejadas producidas por uno de esos sistemas invernales (*Nor'easter*). Durante el evento, la boya 41043 registró un nuevo récord para la costa norte de Puerto Rico: una ola de 20 pies de



altura (National Weather Service, 2018). Estas olas destruyeron parte del Paseo de la Princesa en el Viejo San Juan (figura 3) y movieron una gran cantidad de arena y escombros en la PR-187 (figura 4), el Último Trolley (figura 5), Ocean Park y Condado.

Existen estrategias para retener la arena en la duna y fortalecer nuestras playas. Una de ellas es la siembra de vegetación costera como el bejuco de playa (*Ipomea*), la uva playera (*Coccoloba uvifera*) y la yerba de sal (*Spartina*), que hacen crecer las dunas y, además, las estabilizan. Estos proyectos verdes también se pueden combinar con la colocación de trampas de arena y la retroalimentación de arena, que consiste en recolectar arena en zonas donde abunda y está disponible para transportarla a la playa que deseamos restaurar.

Robert J. Mayer y sus colegas (2018), quienes llevan más de una década restaurando dunas exitosamente en la costa norte de Puerto Rico, recomiendan capturar arena con el método de matrices biomiméticas, sembrar y estabilizar las dunas con vegetación costera, implementar un sistema de vigilancia y patrullaje, cercar las dunas y los sistemas sensibles para protegerlos del tráfico tanto vehicular como peatonal y colocar rótulos informativos sobre la importancia de proteger y restaurar las dunas.

¿Por qué entonces es necesario proteger y restaurar las dunas? Porque nos protegen y lo hacen gratis. Como vemos, las dunas son barreras naturales en los momentos turbulentos del mar. Es decir, amortiguan las olas producidas por las tormentas invernales y tropicales, evitando a la vez las



Figura 3. Destrucción del Paseo de la Princesa en el Viejo San Juan durante las marejadas invernales de marzo de 2018 (Fuente: Martínez Pérez, 2018)



Figura 4. Carretera PR-187 en Loíza luego de las marejadas invernales de marzo de 2018 (Fuente: Inter News Service, 2018)



Figura 5. Sector Último Trolley en Ocean Park durante las marejadas invernales del 4 y 5 de marzo de 2018 (Fuente: Calidad de Vida Vecinal, 2018)

inundaciones costeras que tanto nos asustan. Más aún en la actualidad, cuando experimentamos un ascenso en el nivel del mar debido al calentamiento global, donde la ola cada día llegará más arriba o tierra adentro para encontrarse con seres vivos, edificaciones y propiedades.

Además de funcionar como barrera natural, las dunas son ricos

ecosistemas costeros, pues albergan plantas únicas en su clase y criaturas del litoral como el cangrejo ermitaño. La berma y la duna son los lugares donde las tortugas marinas depositan sus huevos. La triste realidad es que día a día perdemos dunas y playas. Este problema se intensifica por la falta de medidas para protegerlas, pero aún estamos a tiempo de actuar.



EROSIÓN EN OCEAN PARK DE JULIO A AGOSTO DE 2019: CAUSAS, CAMBIOS Y RECUPERACIÓN

POR ERNESTO L. DÍAZ VELÁZQUEZ Y MIGUEL F. CANALS SILANDER

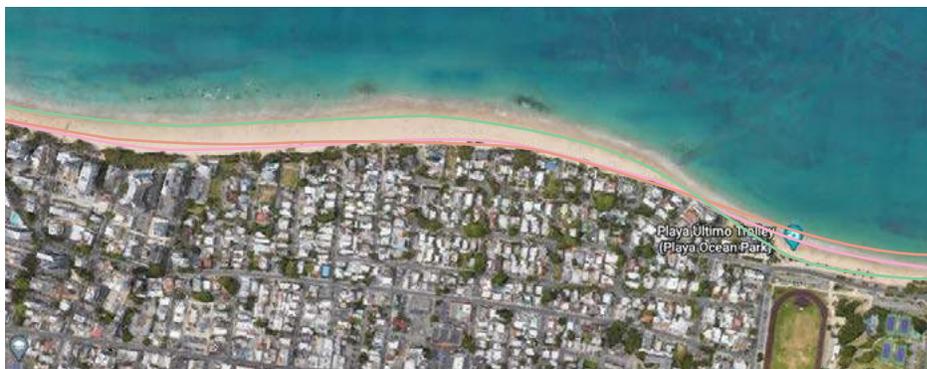
Durante el mes de agosto de 2019, residentes y visitantes de la comunidad de Ocean Park, en el municipio de San Juan, experimentaron uno de los episodios de erosión de playas más dramáticos de las pasadas cuatro décadas. Vecinos, científicos, tortugueros, surfistas, medios de comunicación, funcionarios gubernamentales, políticos y ciudadanos interesados en el tema visitaban a diario las playas localizadas entre las calles Santa Ana, Santa Cecilia, San Miguel y Tapia de esta comunidad para indagar sobre lo que pasaba. La rápida pérdida de arena y la reducción en el ancho y la elevación de la playa a finales del verano no respondían a la típica dinámica natural de erosión (invierno) y acreción (verano) que experimentan anualmente las playas de este sector. Los vecinos y surfistas del área señalaron que, contrario a otros años, la esperada “marejada de los muertos” de principios de noviembre de 2018 no llegó, así como tampoco lo hicieron las frecuentes marejadas de invierno, con dirección típica del norte y del norte-noroeste, ni las marejadas de cuaresma. También indicaron que esta ausencia de marejadas no permitió el transporte de arena desde el oeste hacia el este a través del “chorro” o corriente inducida por el oleaje, refiriéndose a la variabilidad estacional que exhiben estas playas.

Los cambios en la línea de costa ocurridos entre 1930 y 2010 (figura 1), documentados mediante el análisis de fotografías aéreas del segmento comprendido entre las calles Santa Ana y Tapia, revelan que la línea de costa para los años 1950 a 1952 correspondió al menor ancho de playa del total de años analizados en el área costera delimitada antes del episodio de erosión experimentado entre julio y agosto de 2019, seguido de la línea de costa de 1971 y aquella correspondiente al ancho de playa

asociado a la línea de 1930 a 1937. Las líneas de costa posteriores a 1990 presentaron anchos de playa mayores y se pudo documentar la variabilidad estacional a escalas de tiempo multianuales.

Posteriormente, el examen de las series de imágenes publicadas en Google Earth™ (1994-2019), así como múltiples visitas semanales al área, permitieron identificar la dramática reducción en el ancho del segmento de playa objeto de este análisis durante los meses de julio y agosto 2019. Se documentó la pérdida de 91 pies de ancho de playa en uno de los transectos evaluados durante dicho período y la pérdida vertical de 14 pies de arena medidos en la cara norte de la pared de una de las residencias más amenazadas por este episodio de erosión en Ocean Park, que dejó al descubierto estructuras de protección compuestas por tambores de 55 galones rellenos de piedra y hormigón, así como rocas de dimensiones y pesos poco estables depositados en la base de la estructura (figura 2).

Durante entrevistas realizadas a residentes del área, la anterior dueña de la residencia indicó que las obras de protección fueron colocadas por su padre durante la década de 1950, luego de marejadas que produjeron eventos de erosión que derribaron muros y provocaron inundaciones costeras. Al no disponer de datos sobre el oleaje para esta década, inferimos que pudo tratarse de marejadas y oleaje asociados a huracanes tales como Baker, Charlie o Connie, o bien, según notas de prensa de la época, que muy probablemente fueron los devastado-



res impactos producidos en Puerto Rico por el huracán Santa Clara (Betsy) en 1956.

Como parte de un proyecto subvencionado por el Programa de Manejo de la Zona Costanera de Puerto Rico, mediante un contrato con el Recinto Universitario de Mayagüez, los autores analizaron 40 años de datos de simulaciones de oleaje de alta resolución para este segmento marino costero. Estos datos se obtienen llevando a cabo simulaciones de oleaje de alta resolución espacial forzados con datos del modelo Wavewatch III y del modelo atmosférico GFS, ambos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Dichos modelos, que permiten reconstruir el clima del oleaje costero en Puerto Rico desde 1979 hasta 2019, confirman los señalamientos de pescadores, surfistas y residentes de Ocean Park: que el invierno de 2018-2019 ha sido el de menor actividad de oleaje de largo período en los últimos 40 años. Para demostrarlo, la gráfica de la figura 3 incluye un análisis de la potencia cumulativa (en MWh/metro o megavatios-hora por metro de costa) simulada del oleaje de largo período (10 segundos o más) en un punto en las afueras de los arrecifes de Ocean Park. La

Figura 1. Análisis secuencial de fotos aéreas históricas (1930-2010) realizado por el Programa de Manejo de la Zona Costanera



Figura 2. Muro de residencia en riesgo en la calle Santa Cecilia, en Ocean Park, el día 28 de agosto de 2019 (Foto: Ernesto L. Díaz Velázquez, Programa de Manejo de la Zona Costanera)

Potencia cumulativa del oleaje de largo período ($T > 10$ s) en las afueras de Ocean Park (Oleaje de todas las direcciones = AZUL, oleaje del noroeste = VERDE)

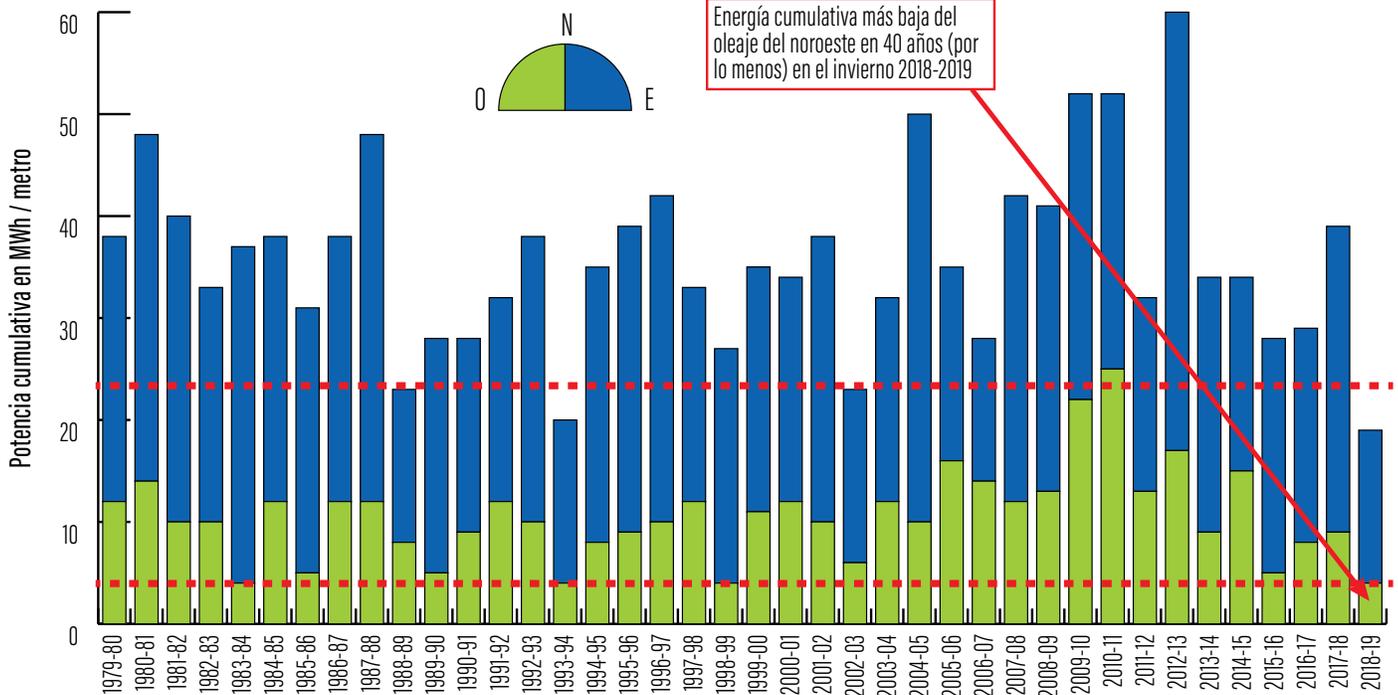


Figura 3. Potencia cumulativa (MWh/metro o megavatios-hora por metro de costa) asociada al oleaje de largo período desde el invierno de 1979-1980 hasta el invierno de 2018-2019. Gráfica preparada por el Dr. Miguel F. Canals Silander (Centro de Ciencias e Ingeniería Aplicadas del Océano y Sistema Caribeño de Observación Costera Oceánica de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez) como parte de un proyecto subvencionado por el Programa de Manejo de la Zona Costanera del Departamento de Recursos Naturales. Las barras verdes ilustran la potencia cumulativa solo para el oleaje proveniente del cuadrante noroeste (el cuadrante entre norte y oeste).

interpretación de estos datos y el análisis de los efectos del déficit de energía del norte y del noroeste durante el invierno de 2018-2019 sugieren que no se produjo el transporte del sedimento de fondo (*offshore-onshore*) ni del sedimento desde el oeste hacia el este en las playas de Ocean Park y que, por consiguiente, este sedimento no estuvo disponible en el ámbito próximo costero para ser depositado por el oleaje de baja energía asociado al verano.

Otros sectores al oeste de Ocean Park, particularmente el sector de Punta Piedrita, experimentaron una acumulación inesperada de sedimentos como resultado de la disminución de energía del oleaje durante el invierno de 2018-2019. En estos segmentos de costa se produjeron depósitos masivos de arena que no se habían visto en décadas. Como dato importante,

aunque se trata de una celda distinta del litoral de San Juan, la playa frente al Hotel Vanderbilt también aumentó considerablemente, lo cual tampoco había ocurrido en décadas. Todo esto cambió con dos eventos tropicales que no afectaron directamente a Puerto Rico, pero sí generaron marejadas de largo período que llegaron a la costa norte de la isla: el huracán Dorian (31 de agosto al 2 de septiembre de 2019), que devastó las Bahamas, y el huracán Humberto (8 al 13 de septiembre de 2019), cuya intensidad, trayectoria y velocidad de traslación produjeron el oleaje del norte-noroeste que posibilitó el movimiento de sedimento de fondo y el oleaje desde el oeste hacia el este que permitió la progresiva y rápida recuperación de la playa en el segmento objeto del estudio. La acumulación de arena como resultado de

estos eventos y otras marejadas recientes ha alcanzado los 14 pies en la cara norte de la pared de la estructura al este de la calle Santa Cecilia. El 27 de octubre de 2019, el transecto de playa monitoreado durante tres meses tenía un ancho de 67.5 pies, lo cual sumado al aumento en el volumen acumulado verticalmente demostró una rápida recuperación de la playa.

El episodio de erosión de las playas de Ocean Park analizado en este artículo es análogo al que enfrentó la playa Caza y Pesca de Arecibo durante el período 2017-2018. Ambas playas han podido recuperarse con relativa rapidez gracias a la deposición de sedimentos producida por el oleaje de largo período asociado a marejadas del norte y del norte-noroeste. El análisis de estos casos plantea que tanto la incidencia, frecuencia e intensidad de las fuerzas hidrodinámicas (principalmente el oleaje) que intervienen en la dinámica de un segmento o celda litoral como su ausencia alteran el equilibrio y el comportamiento típico de las playas e inciden en el balance de los sedimentos en una celda litoral. En el caso de la costa al norte del Condado, Ocean Park e Isla Verde, los sedimentos resultantes de la erosión de sus playas se mantienen relativamente confinados debido a la presencia de una extensa formación de arrecifes de coral paralela a la línea de costa. Estos arrecifes, además, protegen la costa llegando a atenuar hasta un 97 % de la energía

del oleaje que, de otra manera, podría impactar de manera directa las comunidades, playas e infraestructuras costeras. En otros segmentos costeros carentes de la protección que brindan los arrecifes coralinos, el sedimento puede perderse para siempre si es transportado más allá del borde de la plataforma insular. La toma de decisiones en materia de planificación, el establecimiento de retiros, franjas de separación y una línea de construcción costera, así como la evaluación de alternativas para la protección de infraestructura pública o privada en las costas, deben examinar la relación entre las fuerzas hidrodinámicas que actúan en cada celda litoral, la presencia o ausencia de arrecifes de coral, el ancho de las playas y la presencia de manglares, al igual que las dimensiones de las dunas, las tasas de erosión o acreción en las playas, los cambios históricos en la línea de costa y los escenarios de aumento en el nivel del mar actuales y proyectados para estos espacios.

Los autores trabajan actualmente en el desarrollo del Atlas de Alta Resolución del Clima del Oleaje para Puerto Rico, que estará disponible gratuitamente para el público a través de una interfaz web fácil de usar y permitirá entender mejor las futuras situaciones de erosión y/o acreción de arena que puedan estar relacionadas con la variabilidad estacional, anual y multianual del clima del oleaje en Puerto Rico.



INICIO



CONTENIDO



VULNERABILIDADES DE LOS ÁRBOLES URBANOS EN EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN DESPUÉS DEL HURACÁN MARÍA

POR ELVIA J. MELÉNDEZ ACKERMAN, ANA TRUJILLO PINTO, SOFÍA OLIVERO LORA, MERVIN E. PÉREZ PÉREZ, ESMERALDA TORRES, ARAMIS GARAY CRUZ, ROBERTO VILCHES, JOSÉ G. GARCÍA BAYÓN, GABRIEL RODRÍGUEZ, ADRIANA RIVERA, STEPHEN URIARTE, EMILIO CONCEPCIÓN Y ELIZABETH DÍAZ

La importancia de mantener y optimizar los servicios ecológicos de los espacios verdes es reconocida por muchas ciudades alrededor del mundo que consideran el desarrollo y manejo de la infraestructura verde funcional en sus estrategias de planificación urbana (McPhearson *et al.*, 2015; Wong *et al.*, 2015). Los árboles urbanos son la infraestructura verde de una ciudad, pues ayudan a reducir las escorrentías de lluvia, amortiguan el efecto "isla de calor", mejoran la calidad del aire, reducen la cantidad de sedimentos que entran a los ríos (mediante la erosión del suelo y las escorrentías urbanas) mejorando la calidad de sus aguas, proveen hábitat para la fauna silvestre urbana y reducen los gases de efecto invernadero, entre otros beneficios (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Estudios previos han reconocido la importancia de los árboles para la protección y la salud socioecológica del estuario de la bahía de San Juan (EBSJ). En 2017, los huracanes Irma y María impactaron los árboles urbanos de este sistema estuarino cambiando su estructura y condición, lo cual redujo su capacidad para proveer estos servicios. En este ensayo presentamos los resultados de algunos de esos cambios, basados en múltiples inventarios realizados tras el paso de los ciclones por el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, con el apoyo del Departamento del Interior y el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del Servicio Forestal de Estados Unidos, así como de donantes por medio de la plataforma Experiment.com (figura 1). Dichos resultados sugieren que, sin un manejo adecuado,

la condición actual de los árboles en los bosques urbanos del EBSJ después de los huracanes de 2017 los hará más vulnerables a disturbios futuros. Nosotros argumentamos que un manejo agresivo y preventivo es necesario para asegurar la presencia de árboles saludables y mejorar su capacidad para proveer servicios ecológicos. También enfatizamos que es necesario entender y lidiar con las estructuras sociales que influyen en el manejo de árboles luego de desastres naturales como los huracanes para brindar apoyo a las prácticas apropiadas de manejo de árboles en áreas urbanas del EBSJ.

En San Juan, se redujo la diversidad de especies luego del huracán María. Inventarios realizados en zonas seleccionadas del EBSJ tras los eventos huracanados del 2017 mostraron que las áreas urbanas perdieron en promedio un



Figura 1. Estudiantes universitarios realizando censos en los predios del Departamento de Recreación y Deportes, en Santurce (A), y en la cuenca hidrográfica del río Piedras, en el área de la urbanización University Gardens (B), tras el paso de los huracanes

16.3 % de las especies (tabla 1). Sin embargo, la pérdida de especies no fue necesariamente homogénea en las distintas áreas de muestreo: en el área residencial de University Gardens, por ejemplo, la pérdida de especies de árboles localizados en las aceras fue del doble con respecto al promedio de las zonas de muestreo en la ciudad, pero en ese mismo vecindario la diversidad de estos árboles antes del huracán también era mucho más baja que en las otras áreas de estudio (tabla 1).

TABLA 1.

Cambios en la abundancia de tallos, las especies y la provisión de servicios ecosistémicos de los árboles (por ejemplo, reducción de escorrentías) en varias áreas del municipio de San Juan tras los eventos huracanados de 2017. Datos resumidos de Meléndez Ackerman *et al.* (2018), Rivera (2018) y García Bayón (2019), así como datos de laboratorio no publicados.

ÁREA	# TALLOS			#ESPECIES			REDUCCIÓN DE ESCORRENTÍA (m ³ /año)		
	2017	2018	% Pérdida	2017	2018	% Pérdida	2016	2018-19	% Pérdida
SANTURCE ¹	281	160	26.6	48	40	16.7	141.9	73.1	48.50
CUENCA DEL RÍO PIEDRAS ²	502	368	26.7	96	89	7.3	112.4	67.1	40.30
U. P. R. RÍO PIEDRAS ³	66	48	27.3	26	26	7.7	7,382.3	4,728.9	35.90
UNIVERSITY GARDENS ⁴	33	22	36.4	9	6	33.3	---	---	---
SAGRADO CORAZÓN ⁵	109	91	16.5	---	---	---	---	---	---

Tamaño de la muestra: ¹ 60 parcelas, ² 69 patios, ³ 30 parcelas, ⁴ 0.75 km de calle, ⁵ 1.0 km de calle

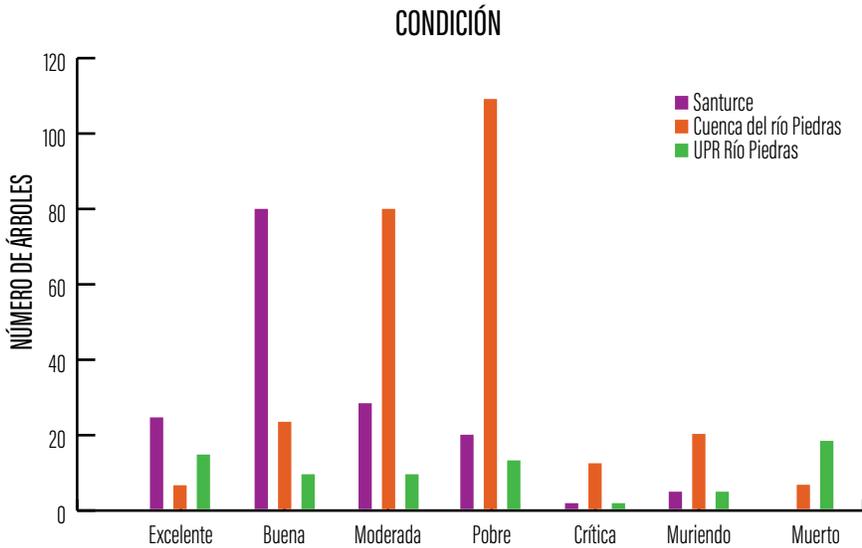


Figura 2. Distribución entre las categorías de condiciones de los árboles en los muestreos realizados después de los huracanes en tres áreas de estudio ubicadas en el municipio de San Juan. Las categorías de condiciones fueron definidas por i-Tree Eco según los porcentajes de mortalidad y pérdida de follaje en las copas: Excelente (<1 % de pérdida), Buena (1-10 % de pérdida), Moderada o Aceptable (11-25 % de pérdida), Pobre (26-50 % de pérdida), Crítica (51-75 % de pérdida) Muriendo (76-99 % de pérdida) y Muerto (100 % de pérdida).

Los eventos huracanados no solo provocaron la pérdida de árboles y especies, sino también cambios en su condición, la cual se deterioró considerablemente. Al agrupar los datos de todos los muestreos, los resultados mostraron que las zonas de San Juan perdieron en promedio el 26.7 % de sus árboles, pero esta pérdida no fue homogénea en las distintas áreas de estudio (tabla 1). Los muestreos indicaron, por ejemplo, que la pérdida local de árboles ubicados en las aceras de la urbanización University Gardens fue un 10 % más alta que la pérdida promedio basada en la combinación de todos los muestreos. Luego del huracán, se determinó que el 42.2 % de todos los

árboles muestreados estaban en peores condiciones o tenían más de un 26 % de pérdida de follaje o muerte en la copa de hojas (figura 2). Nuevamente, esta proporción de árboles no saludables no fue equivalente en las diferentes áreas de estudio, ya que la proporción más alta fue adjudicada a los árboles localizados en jardines residenciales y en el Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico. La optimización de los servicios ecológicos en los espacios verdes urbanos requiere el desarrollo y mantenimiento de una cobertura arbórea saludable y abundante. Con el uso de la plataforma i-Tree Eco, se estimó que la pérdida de cobertura arbórea provocó una reducción considerable en los servicios hidrológicos provistos por los árboles. En promedio, las áreas de estudio perdieron el 41.6 % de su capacidad de mitigación de aguas de escorrentía (tabla 1).

Los deservicios que surgieron a raíz de los daños causados a los árboles por los huracanes podrían haber desencadenado respuestas sociales e institucionales que afectarían negativamente la cobertura arbórea urbana a largo plazo. Durante la fase de recuperación posterior a María, se cortaron y eliminaron muchos árboles que se conside-

Figura 3. Líneas de troncos cortados de árboles y palmas en calles residenciales de San Juan



raban peligrosos o problemáticos, creando líneas de troncos cortados (*stump lines*) que se han convertido en una escena común a lo largo del paisaje urbano (figura 3). Si bien es cierto que hay organizaciones locales fomentando la reforestación en la isla después del huracán, aún no está claro cuán extendidas y efectivas están siendo estas actividades en la reforestación de las aceras y zonas aledañas a las calles.

El daño causado a los árboles por los huracanes provocó deservicios que podrían haberse prevenido.

Tras el paso de María, los árboles urbanos generaron una acumulación estimada de 615,600 toneladas de escombros orgánicos de vegetación (Lugo, 2019) y crearon situaciones de peligro durante muchos meses luego del evento huracanado. Los escombros acumulados que no fueron recogidos limitaron la transportación, obstruyendo las carreteras, y se convirtieron en un riesgo para la salubridad, ya que crearon un hábitat para organismos vectores de enfermedades, como ratas y mosquitos (figura 4a). Los trabajos de recolección y disposición de esta vegetación debilitaron la economía de municipios que ya enfrentaban dificultades financieras y crearon un problema de disposición de desechos en los vertederos existentes (Lugo, 2019). Los árboles grandes que no contaban con el espacio de siembra suficiente provocaron daños adicionales a la infraestructura construida, especialmente en las aceras y los espacios que integran el diseño de la infraestructura verde y gris (figuras 4b y 4c). Los árboles de rápido crecimiento y de valor estético, que comúnmente se siembran en el paisaje urba-



Figura 4. Deservicios de árboles tras el paso de los huracanes debido a la plantificación y el mantenimiento inadecuado de la infraestructura verde: desarraigo de las raíces por espacios de siembra pobres (A), destrucción de las aceras (B), acumulación de materia orgánica (C) y árboles de *Tabebuia aurea* luego del huracán Irma (D)

no, se convirtieron en una fuente de peligro al sembrarlos en áreas de estacionamiento designadas o simplemente se impidió utilizarlos en espacios urbanos, creando un estorbo adicional a los residentes tras el paso de los ciclones (figura 4d).

La planificación y el manejo de árboles urbanos dentro del contexto de futuros eventos huracanados requieren enfoques socioecológicos.

Para desarrollar y mantener un bosque urbano resiliente no solo necesitamos evaluar la manera en que los huracanes impactan los árboles dentro del paisaje urbano, sino también cómo su impacto en los residentes y el ambiente urbanizado influye en la toma de decisiones y el manejo de árboles en distintos tipos de espacios verdes (figura 4). Nosotros argumentamos que este proceso de retroalimentación, a pesar de ser sutil, puede limitar y demorar la recuperación de la cobertura arbórea urbana y hacer que sea más lenta de lo que se esperaría en áreas naturales. En la escala residencial, algunos individuos podrían haber aprovechado la crisis posterior al huracán para cortar árboles no deseados, a pesar de que hay leyes que prohíben

el corte de palmas ornamentales en complejos residenciales de Hato Rey, las cuales fueron ignoradas. Muchos árboles fueron severamente podados para eliminar conflictos con la infraestructura eléctrica. En la escala institucional, conocemos la existencia de al menos dos proyectos de ley, presentados en respuesta a los eventos huracanados, que limitan las actividades de reforestación dentro del EBSJ. En noviembre de 2017, a dos meses del huracán María, hubo un proyecto para enmendar el artículo 5 de la Ley Núm. 23 del 20 de junio de 1972 (Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales) con el propósito de prohibir la siembra de árboles que crezcan más de seis pies en las cercanías de las escuelas públicas. Otro proyecto (P. del S. 914 del 23 de abril de 2018) hace un llamado a poner límites a la distancia a la que se permite sembrar árboles cuando hay tendidos eléctricos y calles cercanas, así como a establecer multas a aquellos que violen esta ley. Además, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales cedió un permiso al Departamento de Transportación y Obras Públicas, permitiéndole eliminar miles de árboles de calles y carreteras estatales por razones de seguridad. El sector público impugnó fuertemente esta acción, argumentando que muchos de los árboles designados para la eliminación se encontraban en buenas condiciones.

¿Qué se necesita para tener una infraestructura verde resiliente en el área metropolitana de San Juan?

Planificar, diseñar y mantener la infraestructura verde usando la información disponible, tal como se hace para la infraestructura urbana. Un objetivo común en ambos tipos de espacios (verde y gris) es el de optimizar los beneficios para el bienestar humano y generar resiliencia urbana. Sin embargo, el manejo de escombros orgánicos y otros des-

vicios asociados (percibidos y realizados) tras el paso de un ciclón, así como el manejo de la infraestructura verde, deben integrar, en los planes de respuesta a huracanes, el movimiento y la disposición de esta materia orgánica. La madera de los árboles que cayeron a raíz de los huracanes fue (y sigue siendo) un recurso increíblemente desperdiciado que, con un buen manejo y planificación, podría convertirse en una fuente de capital económico.

Promover inventarios comunitarios de los recursos arbóreos. El manejo de los árboles como recurso requiere conocimiento e información de las especies: cuántas se han sembrado y dónde. La mayoría de los inventarios del EBSJ se han hecho en la ciudad de San Juan, pero no abarcan todo el municipio ni forman parte de un esfuerzo concienzudo por planificar y manejar el paisaje arbóreo urbano. Involucrar a las comunidades puede reducir los costos del monitoreo y de la reforestación, lo cual es importante si consideramos que hay poco apoyo gubernamental para el desarrollo y mantenimiento de los bosques urbanos.

Crear una cultura de planificación, manejo y mantenimiento de los árboles urbanos. Una gran parte de los árboles no se encontraba en condiciones óptimas antes de los eventos huracanados. Los árboles saludables son esenciales para optimizar la provisión de servicios ecosistémicos importantes, pero mantener una infraestructura verde saludable requiere que se lleven a cabo acercamientos similares a los que se emplean con la infraestructura gris. Para ello, se necesita una planificación interdisciplinaria en la que expertos en diseño de paisajes, profesionales forestales, científicos y planificadores, así como los responsables de las tomas de decisiones, unan sus conocimientos para crear e implementar programas de reforestación que utilicen la mejor información científica disponible.





ESTUARIO



INFRAESTRUCTURA VERDE COMO ESTRATEGIA DE MANEJO DEL RECURSO DEL AGUA: EL VIVERO ESTUARIO Y LA RED DE BOSQUES URBANOS

POR CYNTHIA BURGOS LÓPEZ, GABRIEL E. AGOSTO DÍAZ Y KATIA AVILÉS

Importancia de la infraestructura verde

La infraestructura verde es aquella que se diseña y construye con el fin de manejar eficientemente los recursos naturales, entre ellos el agua, el suelo y la biodiversidad. En el caso específico de la infraestructura verde para manejo del agua, se replican los procesos naturales del ciclo hidrológico utilizando sus diferentes fases —evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía— con un fin específico de manejo. Por ejemplo, si queremos mejorar la calidad del agua de escorrentía (agua de lluvia que discurre por una superficie impermeabilizada y que posteriormente llegará a un cuerpo de agua natural), los jardines pluviales, las trincheras de percolación y los humedales artificiales serían tres de las numerosas estrategias que podríamos utilizar. Aunque se podrían diseñar de múltiples maneras, todas estas estrategias de infraestructura verde utilizan la infiltración — agua de escorrentía que penetra en la superficie— para limpiar el agua de contaminantes, basura y aguas sin tratar de comunidades que no están conectadas a servicios sanitarios. Los servicios de mejora de la calidad del agua que ofrecen estos sistemas, al igual que la infraestructura natural, se conocen como servicios ecosistémicos.

La finalidad de la infraestructura verde es restaurar el ciclo hidrológico natural que existía antes de la urbanización, de manera que se eliminen contaminantes y se disminuyan el volumen y la velocidad de las crecientes. Algunos ejemplos de infraestructura verde podrían incluir jardines pluviales, tanques de agua de lluvia, jardines verticales, huertos caseros y zonas verdes con vegetación nativa en las carreteras y aceras. Desde antes de que pasaran los huracanes Irma y María, el Programa del Estuario de la Ba-

hía de San Juan (PEBSJ) se había dado a la tarea de implementar infraestructura verde en espacios estratégicos, identificados por líderes comunitarios, donde fuese necesario filtrar escorrentías pluviales antes de que estas aguas llegaran al mar.

La cuenca del estuario de la bahía de San Juan está impermeabilizada en un 70 % y depende 100 % de la infraestructura gris para manejar los recursos por su condición altamente urbanizada. La impermeabilización de una superficie es el proceso de cubrir áreas de suelo donde el agua de escorrentía se podía infiltrar de manera natural con elementos construidos como la brea y el concreto. La impermeabilización de más del 70 % de la cuenca del estuario contribuye a las inundaciones urbanas y se combina con un nuevo régimen de distribución de lluvias, exponiendo a la población a aguas contaminadas. Ante este panorama, el PEBSJ promueve el diseño y la construcción de infraestructura verde para manejar el agua de escorrentía con el fin de mejorar su calidad, reducir su velocidad y minimizar la magnitud de las inundaciones urbanas. Para lograr este objetivo, algunas de las estrategias que se propone establecer son la recolección de agua de lluvia, los jardines verticales y las franjas de vegetación, entre otras. Sistemas adicionales se desarrollarán en colaboración con las comunidades utilizando su conocimiento para diseñar y construir estrategias de infraestructura verde que trabajen con los problemas puntuales de manejo de recursos naturales en cada una de ellas. Para atenuar la situación, la planificación de áreas verdes que ayuden a filtrar las escorrentías y disminuir su velocidad, así como a reducir la magnitud de las

inundaciones urbanas y captar agua de lluvia para los meses más secos, se ha convertido en una necesidad básica para el estuario y todas sus comunidades.

Al caer la lluvia, las aguas se acumulan sin drenar apropiadamente al mar. Estas escorrentías pluviales (corrientes de lluvias) arrastran basura y contaminantes, al igual que descargas sanitarias de residencias y establecimientos que carecen de infraestructura apropiada para disponer de las mismas.

Diseño participativo de áreas verdes

El conocimiento técnico de los profesionales que trabajamos en el diseño y la conservación de las áreas verdes tiene que complementarse con la inteligencia de la comunidad. El diseñador debe convertirse en una herramienta que, a través de diferentes mecanismos de participación ciudadana, permita a las comunidades exponer los problemas e identificar el contexto para desarrollar colaborativamente proyectos que aporten beneficio y utilidad tanto a la comunidad como a los recursos naturales en general.

Para lograr un diseño participativo efectivo de infraestructura verde es vital poder complementar el proceso con programas de capacitación que brinden a la comunidad el conocimiento necesario sobre los componentes de los sistemas (vegetación, suelo, elementos construidos) y el mantenimiento que dichos sistemas requieren. Con el fin de promover la infraestructura verde como solución real,





dando ejemplos concretos, compartiendo técnicas de mantenimiento específicas y explicando su utilidad en entornos urbanizados, se desarrolló un taller de capacitación de 4 horas llamado “Mejores prácticas de manejo: mantenimiento de áreas verdes”. Durante dicho taller, los participantes (profesionales de diferentes campos tales como la educación, el mantenimiento, la salud y el medioambiente, entre otros) asistieron a una charla de 3 horas sobre casos de estudio y técnicas de mantenimiento general de los sistemas, además de recibir una visita guiada al proyecto del vivero y sus alrededores para observar directamente lo que se discutió en la charla. En el recorrido guiado, los participantes pudieron ver en funcionamiento un sistema de recolección de agua de lluvia solar con su sistema de riego, un jardín pluvial con especies herbáceas y ornamentales para promover la biodiversidad del área y un canal de escorrentía cuyo fin es filtrar las aguas antes de que lleguen al río Grande de Loíza. La actividad concluyó con la entrega a los participantes de un certificado y una guía ilustrada sobre los temas discutidos a lo largo del taller.

Vivero Estuario

El Vivero Estuario cuenta con áreas de almacenamiento y oficina, un gazebo de 16 x 24 pies para el desarrollo de futuras actividades y talleres, un sistema solar de recolección de agua de lluvia con dos cisternas de 1,100 galones, un área de propagación con dos tipos de cubiertas diferentes y sistema de riego por aspersión independiente, 14 bancos de siembra con sistema de riego por aspersión independiente y un área para la elaboración de composta (sistema de termopila).

Este proyecto tiene como propósito la propagación y maduración de especies de plantas (arbóreas y herbáceas) para utilizarlas en ejercicios de restauración en los distintos ecosistemas que componen la cuenca del estuario de la bahía de San Juan (particularmente el bosque húmedo subtropical, según la clasificación de Holdridge). Además, se propone desarrollar un huerto comunitario ecológico cuyo objetivo es aumentar la seguridad alimentaria de la población, partiendo de la premisa de que una población sin desarrollo es más propensa a deprender sus recursos naturales de forma no sustentable para satisfacer sus necesidades, especialmente en momentos de crisis.

Para hablar de las distintas especies que se están propagando en el Vivero Estuario es indispensable enumerar los ecosistemas que componen la cuenca del estuario, que incluyen dunas, humedales de agua dulce, humedales de agua salobre (estuarios) y barreras riparias, todos ellos ubicados en la zona climática de bosque subtropical húmedo. El criterio principal para la selección de especies destinadas a la recolección de germoplasma y su posterior propagación es que sean nativas. Sin embargo, se consideran algunas especies introducidas y naturalizadas siempre y cuando no sean invasivas.

Red de Bosques Urbanos

Parte de los esfuerzos del PEBSJ consiste en crear proyectos que aporten directamente a mejorar la calidad del agua en la cuenca del estuario. Si bien es cierto que sobre el 70 % presenta desarrollo urbano, la cuenca hidrográfica todavía cuenta con varios parches boscosos de gran importancia regional por su escala y ubicación. Estas zonas representan un beneficio para la calidad del agua porque sirven como filtro de escorrentías pluviales y constituyen un pulmón urbano indispensable, además de ser áreas de abastecimiento de agua dulce. Asimismo, por todos estos parches fluyen tributarios —como el río Piedras y las quebradas Guaracanal, Juan Méndez, Sábana Llana, Las Curías, Ausubo, Los Guanos y Chiclana— que suplen agua no solo a la bahía, sino también a lagunas y canales.

La Red de Bosques Urbanos del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan persigue delimitar espacios verdes que ayuden a que las aguas de escorrentía provenientes de las lluvias sean interceptadas por el dosel y los sistemas de raíces, infiltrándose al suelo y disminuyendo la cantidad de agua que termina en los drenajes, quebradas y ríos dentro de la cuenca estuarina. Estos espacios también son importantes centros para la educación ambiental, la investigación y las actividades pasivas al aire libre.

A través de la fotosíntesis, las plantas alimentan el suelo con lo que conocemos como exudaciones de azúcares, almidones y proteínas, que son productos fotosintéticos. Las plantas proveen cerca de un 50 % de estas exudaciones de las raíces a la masa biológica microbiana del suelo, de manera que,

mientras mayor sea la diversidad de especies de plantas, más grande será el aumento de microbios del suelo en la biomasa (Steinauer, Chatzinotas y Eisenhauer, 2016). Estos microbios forman parte de la materia orgánica del suelo (materia orgánica formada como producto de la interacción de las plantas y los microorganismos del suelo), que es capaz no solo de aumentar la capacidad de infiltración, sino también la retención del agua, pues incrementa la capacidad de campo de un suelo. Además, al proveer un área de infiltración y retención de agua, quedan allí capturados gran parte de los contaminantes que dicha agua arrastra a su paso, evitando así que alcancen los cuerpos de agua.

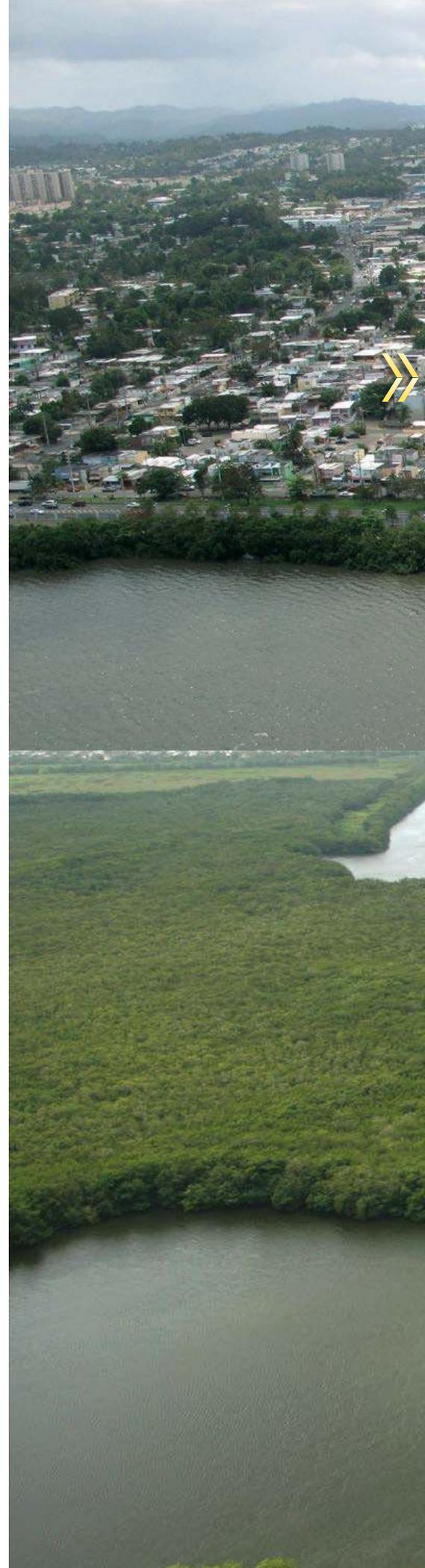
Actualmente, la Red de Bosques Urbanos del PEBSJ cuenta con varios integrantes, entre ellos el Bosque Urbano Doña Inés Mendoza, el Parque Julio Enrique Monagas, el Bosque Estatal de Piñones y el Bosque Estatal de San Patricio.

Creación del Pasaporte de la Red de Bosques Urbanos

La Red de Bosques Urbanos nace del reconocimiento del impacto que tienen los bosques urbanos en la calidad del agua del estuario de la bahía de San Juan y sus comunidades. Este programa pretende crear un espacio de colaboración, apoyo y difusión de información entre los diferentes bosques urbanos que componen la cuenca estuarina. El proyecto surge como estrategia para concienciar al público general acerca de la importancia de conservar estos parches remanentes en la cuenca, generar espacios de aprendizaje y colaborar en proyectos conservación.

Durante el primer año del proyecto, invitamos a participar a cuatro bosques urbanos con diferentes tipos de manejo: público, privado y comunitario. Estos bosques fueron el Parque Nacional Julio Enrique Monagas, el Bosque Urbano Doña Inés Mendoza, el Bosque Estatal de Piñones y el Bosque Estatal de San Patricio. Las metas del proyecto son aumentar la integración de bosques urbanos a la red, desarrollar en conjunto estrategias de manejo de recursos específicas para cada localidad y promover las visitas, la educación y el apoyo del público en general. A largo plazo, el proyecto aspira a trabajar a nivel de política pública con el fin de promover proyectos de infraestructura verde en las zonas de amortiguamiento de estos bosques que ayuden a mitigar el impacto de los usos de las zonas que bordean estos parches.

Como parte de los ofrecimientos de esta primera etapa, se creó el Pasaporte de la Red de Bosques Urbanos, un prototipo de libro que se entregará al público general y que contiene información valiosa acerca de los recursos y servicios provistos por cada uno de los bosques que conforman la red. La intención de esta gesta es fomentar las visitas a los bosques urbanos por parte de diferentes sectores de la comunidad.





INICIO

CONTENIDO





EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA



ESTUARIO
PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN



DIAGNÓSTICO

POR CRISTINA I. RAMÍREZ COLÓN, ELIEZER NIEVES RODRÍGUEZ Y KATIA AVILÉS

El estuario de la bahía de San Juan: un estuario con gente

Si bien es cierto que el aspecto científico es medular a la hora de recopilar, documentar y presentar información relevante sobre la salud y la calidad de las aguas en la cuenca estuarina, también es importante reconocer que la integración de la ciudadanía y los estudiantes en el proceso lo hará más significativo y creará una relación más fuerte con el recurso.

Al promover la participación de las comunidades dentro y fuera de la cuenca, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) se asegura de desarrollar el compromiso en la gente, haciéndola parte del proceso. La integración de estudiantes, maestros y vecinos que viven en los ecosistemas urbanos que componen la cuenca hidrográfica del estuario crea nuevas relaciones de empoderamiento comunitario y ciudadano.

Nuestro estuario y toda la región estuarina, que comprende diversos ecosistemas, se componen de quebradas, embalses, ríos, lagunas y bosques urbanos utilizados tanto por distintos organismos como por la gente que vive en ellos. Por eso decimos que el estuario de la bahía de San Juan es un estuario con gente: gente diversa y comprometida que

debe formar parte de los esfuerzos de conservación de esta zona.

Del alivio inmediato a la recuperación: el rol de la participación y el voluntariado en la transición

La participación es la capacidad para expresar decisiones que sean reconocidas por el entorno social y que afectan a la vida propia y/o a la vida de la comunidad en la que uno vive.

Roger Hart

A través de su Programa de Educación y Voluntariado, el PEBSJ ha creado oportunidades para que toda persona interesada en colaborar y aportar su tiempo lo pueda hacer. Junto con la Red Comunitaria de Agua, el programa escolar Guardianes del Estuario, los recorridos interpretativos y la nueva Certificación de Ciudadanos Científicos del Estuario, brindamos la oportunidad de ser parte de la misión de conservar los cuerpos de agua y llevar el mensaje de que lo que ocurre cuenca arriba afecta la costa, las playas

y los sistemas estuarinos, donde el agua de los ríos que nacen en la montaña se mezcla con el agua del mar. Esta red de participación, descrita en detalle por Eliezer Nieves Rodríguez, se activó después del huracán María para atender de inmediato la situación en el estuario.

Tras el paso del fenómeno atmosférico, la infraestructura colapsada se combinó con grandes cantidades de material vegetativo que se desplazaron y acumularon por vía de la escorrentía en los sistemas de alcantarillado pluvial, exacerbando los casos de inundación en el área urbana. Para atender la situación, se movilizaron más de 90 camiones de basura que retiraron el material que bloqueaba la infraestructura de agua en la comunidad Las Monjas.

Además de los censos de aves y la identificación de descargas, el PEBSJ realizó diagnósticos de área para determinar las prioridades de las personas en las comunidades estuarinas que más aisladas quedaron luego del huracán. Entre ellas se identificaron varias necesidades fundamentales: techo, agua, energía, baño, limpieza de los sistemas de alcantarillado pluvial y capacidad para retomar actividades rutinarias como lavar la ropa. Con el fin de satisfacerlas, el PEBSJ creó un programa de desalinización de agua para proveer agua potable, distribuyó placas solares que se ubicaron en centros comunitarios claves y adquirió, para estos centros comunitarios, materiales tales como lavadoras de bajo o ningún consumo energético, linternas y otros artículos de primera necesidad. Esta experiencia ayudó a replicar el formato para apoyar

a otros estuarios de Puerto Rico, como se hizo en Punta Santiago y Vieques.

Reconociendo que la resiliencia y la vulnerabilidad no son estáticas, sino dinámicas, el PEBSJ formalizó los programas de apoyo comunitario con el fin de mantener la integración y participación real de la gente en los centros comunitarios y las iniciativas de conservación. Las actividades de monitoreo cuentan con una Red Comunitaria de Agua. Los centros resilientes tienen grupos comunitarios activos que los crearon y ahora custodian los nuevos materiales. Los censos de aves cuentan con el peritaje de ciudadanos científicos. Y la infraestructura verde, cuenta con una Red de Bosques Urbanos que vela por la salud integral de la comunidad y los recursos naturales de los que todos dependemos, en particular el recurso del agua.



Figura 1. Censo de Aves Navideño en el Parque Julio Enrique Monagas



Figura 2. Infografía de datos y logros del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan



ACTIVIDADES DE EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA COMO RESPUESTA A LA VULNERABILIDAD EN LOS ECOSISTEMAS DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

POR ELIEZER NIEVES RODRÍGUEZ Y KORALIS REYES MALDONADO

El Programa de Educación Estuarina en un contexto urbano

Con una población de 614,181 habitantes, la cuenca del estuario de la bahía de San Juan se caracteriza por ser una región densamente poblada y, por tanto, su vulnerabilidad no solo se expresa en la infraestructura verde y gris, sino que también aflora en la organización social y, por ende, en el sistema educativo del país. Por este motivo la estabilidad y la “resiliencia” de un ecosistema tan urbanizado se vuelven inherentes a las de los sistemas públicos, como es el de la educación.

Tras el paso del huracán María, el sistema educativo se paralizó por completo e incluso luego del reinicio de las clases muchos planteles escolares no contaban con instalaciones adecuadas. Retomar las clases después de una catástrofe de tal magnitud, cuando los recursos escaseaban, los planteles escolares estaban inhabitables y las cicatrices del evento destructivo aún no sanaban, fue un verdadero reto para los maestros y maestras puertorriqueños.

Como respuesta a la demanda de experiencias educativas que compensen la fragilidad del sistema educativo y que, a su vez, conecten a las personas con espacios naturales que aún están en recuperación, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) expandió su oferta de educación en los distintos ecosistemas de la cuenca hidrográfica. El objetivo principal es llevar un mensaje de conservación e investigación ciudadana a los estu-

diantes, los maestros y todas las personas que viven o participan de actividades en la cuenca estuarina.

1. Actividades escolares

El PEBSJ, a través de su Programa de Educación Estuarina, fungió como apoyo a los maestros para que pudieran llevar a cabo sus actividades de aprendizaje basado en proyectos (PBL) y cumplir, además, con el Programa Contacto Verde (Ley 36 de 2015), que promueve horas contacto de educación ambiental durante visitas a áreas naturales de importancia ecológica y actividades de investigación científica. Estos programas forman parte de los requerimientos que el Departamento de Educación exige a los estudiantes del sistema público.

El Programa de Educación Estuarina facilita charlas, recorridos, talleres y experiencias lúdicas temáticas, organizadas, relevantes y amenas, ofreciendo así la oportunidad de cumplir con estos requisitos. Proveer actividades educativas que permitan a los estudiantes no solo aprender sobre la importancia del estuario, sino también cumplir con los requisitos de su educación formal, es una de las mayores y más fructíferas simbiosis que se pueden establecer en el ecosistema del estuario de la bahía de San Juan.

2. Programa escolar Guardianes del Estuario

Monitorear nuestros cuerpos de agua es un ejercicio que cobra

aún mayor relevancia luego de un evento atmosférico que conllevó el colapso del sistema de acueductos. Uno de los aspectos más importantes, y probablemente el más difícil de seguir a la hora de monitorear, es poder darles seguimiento a los ríos, quebradas, bahías y playas que se decida monitorear. En una sociedad en la que el conocimiento de los datos, la ciencia y la verdad suele limitarse a científicos y expertos, brindar a niñas y niños la oportunidad de participar en la recopilación de datos es un acto de inclusión y empoderamiento ambiental. Esto es precisamente lo que buscamos con el programa escolar Guardianes del Estuario, en el que son los estudiantes quienes proveen la información científica.

Nuestro programa pretende trabajar de la mano con grupos de estudiantes y sus maestros en la recopilación de datos por medio de monitoreos mensuales de calidad del agua. Los estudiantes adoptan un cuerpo de agua que desean monitorear periódicamente, convirtiéndose así en guardianes de algún río, lago, quebrada, bahía o playa. Actualmente, el PEBSJ cuenta con seis (6) escuelas que participan del programa Guardianes del Estuario. Estos grupos, además de colaborar en la recopilación de datos, reciben adiestramientos y charlas sobre diferentes temas relacionados con la conservación del ambiente. Para nosotros es importante no solo asegurar la calidad del agua, sino buscar que los niños y jóvenes se desarrollen en el liderazgo ambiental y puedan ser portavoces dentro de sus escuelas, comunidades y familias.



Figura 1. Censo de Aves Navideño en el Parque Julio Enrique Monagas



Figura 2. Monitoreo de calidad del agua realizado por la Escuela Especializada en Ciencias, Matemáticas y Tecnología a través del programa Guardianes del Estuario



Monitoreo a través de censos de aves participativos

“La importancia de los programas de ciudadanos científicos está en la participación de miembros de la comunidad, maestros, estudiantes, familias y otros ciudadanos para recopilar una gran cantidad de información cuantitativa y cualitativa que le será útil a organizaciones de conservación, que de otra manera no podrían recolectarla por sí solas. También es una oportunidad de adiestrar y motivar a los estudiantes para ver las posibilidades de, en un futuro, dedicarse al campo de la conservación o manejo de la biodiversidad” (Nieves Rodríguez, 2018).

Todos los puertorriqueños presenciamos el poder destructivo que arrojó a nuestra isla con la llegada del huracán María en septiembre de 2017. En nuestro paisaje natural aún quedan huellas de tal devastación y pasarán años antes de que se borren todas o gran parte de esas cicatrices en nuestra geografía física y humana. Incluso con el paso de los años quedará en la memoria colectiva el evento que marcó nuestras vidas y las de nuestros familiares y amigos, así como las de otros or-

ganismos que comparten este espacio geográfico: las aves.

Un caso que merece atención especial son nuestros bosques, tanto los del centro de la isla como los del litoral costero y los urbanos. En todos ellos vimos cómo muchos árboles, algunos ya viejos y grandes, otros jóvenes y de menor tamaño, fueron derrumbados, quebrados o defoliados por la masiva fuerza de los vientos huracanados, algo que adquiere relevancia debido a la llegada de miles de aves migratorias que nos visitan anualmente cerca del mes de octubre y que vienen a pasar el invierno en nuestro terruño, quedándose de visita durante casi cinco meses. Año tras año desde tiempos muy remotos, dichas aves, sienten la ansiedad migratoria o *zugunruhe* (término en alemán que describe las ansias de migrar) y deciden emprender ese viaje de supervivencia en busca de alimento por su falta o escasez en las latitudes del norte.

En 2017, estas aves migratorias se encontraron un Puerto Rico muy distinto al de los años anteriores. Al llegar a la isla, comenzaron a buscar los espacios que aún quedaban forestados para su protección, alimentación y refugio. Algunas de ellas, al igual que nuestras aves endémicas y residentes, vivieron esos momentos resguardadas en bosques, cuevas o algún lugar seguro donde los vientos huracanados no pudieran afectarlas. Las que no alcanzaron estos espacios murieron ante el embate del fenómeno atmosférico.

Por tal razón, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan extendió una invitación a cientos de voluntarios para pajarear y participar en los censos de aves con



Figura 3. Censo de Aves Navideño en el aljibe Las Curías



el fin de documentar su estado en los distintos ecosistemas del estuario, desde la montaña hasta la costa.

Censo de Aves Navideño Gamaliel Pagán Hernández

Este censo, que se realiza todos los años entre el 14 de diciembre y el 6 de enero, forma parte de los esfuerzos de la Sociedad Nacional Audubon por contribuir a la documentación de las aves y crear así una base de datos extensa que aporte a la comunidad científica y los esfuerzos de conservación.

Dentro de este conteo de aves, el PEBSJ también participa en un proyecto de ciencia ciudadana llamado eBird (ebird.org). Este proyecto provee una plataforma de sistemas de información geográfica para la conservación de aves que permite a cualquier persona entrar datos sobre sus observaciones de aves, así como hacer un análisis espacial de frecuencia, abundancia y lugares de avistamiento de esas aves. La plataforma fue creada por el Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell en colaboración con la Sociedad Audubon y una red de grupos ambientales locales pertenecientes a casi todos los países de este hemisferio.

El objetivo de eBird es promover la participación ciudadana en la recopilación de datos y documentar durante todo el año qué aves se observan y dónde. Esta herramienta de conservación y análisis espacial ayuda a los científicos a conocer la frecuencia y abundancia de ciertas especies, analizar el patrón migratorio de las que llegan a nuestra isla todos los años y

velar por aquellas que se encuentran en estado vulnerable o en peligro de extinción. Sobre todo, nos dice dónde es que la gente observa las aves con información de tiempo y espacio. Lo más importante es que fomenta en niños, jóvenes y adultos la actividad de observar con un propósito, de conocer tanto a nuestras aves residentes como a las que nos visitan todos los años y, por consiguiente, de velar por la conservación de los espacios que estas aves utilizan.

La vulnerabilidad como propulsor educativo y participativo

La vulnerabilidad de un ecosistema tiende a verse como una debilidad que nos aleja de alcanzar una meta de estabilidad y resiliencia. Sin embargo, en el Programa de Educación Estuarina comprendimos que la vulnerabilidad tiene el potencial de convertirse en una virtud, despertando en las personas el interés por la conservación. Cuando logramos entender que los organismos son entes sensibles y constantemente expuestos a riesgos que atentan contra su supervivencia, sucede algo cuyo valor es incalculable: nos interesamos, nos hacemos preguntas, nos cuestionamos y, más importante aún, nos involucramos.

Precisamente esa fue la experiencia con nuestros voluntarios luego de que el huracán categoría 4 nos mostrara cuán vulnerable puede ser aquello que damos por sentado. En la temporada 2016-2017 de nuestro Censo de Aves Navideño Gamaliel Pagán Hernández, contamos con la participación de 37 voluntarios. Sin embargo, después del huracán María, en la tem-



Figura 4. Censo de Aves Navideño en el Parque Julio Enrique Monagas

porada 2017-2018, recibimos 107 voluntarios, incrementando así la participación en más del triple.

El aumento en los esfuerzos de observación de aves no solo se vio reflejado en nuestros voluntarios, sino también en el PEBSJ como entidad gestora. Para la temporada 2016-2017, llevamos a cabo censos de aves en siete lugares distintos. Al año siguiente, aumentamos la cantidad de lugares a 10 y para la temporada 2018-2019 duplicamos esa cantidad, cubriendo así hasta 20 lugares distintos a lo largo de la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan.

Gracias a estos esfuerzos, pudimos expandir nuestra recopilación de datos y su aportación a plataformas de ciencia ciudadana como eBird. En los

censos navideños de 2016-2017, antes del huracán, se observaron 50 especies de aves, mientras que en la temporada 2017-2018 se observaron 65 especies y en la de 2018-2019 el número aumentó a 84 especies de aves observadas.

Si bien es cierto que el incremento en la participación ciudadana y los esfuerzos estuarinos no se puede atribuir por completo a la revelación de las vulnerabilidades del ecosistema, resulta innegable que, al igual que el mangle que aprendió a echar raíces más resistentes, nuestra conciencia colectiva aprendió a dirigir la mirada hacia aquello que merece ser observado, cuantificado y conservado.

Lecciones aprendidas

Sin duda alguna, la participación de estudiantes de nivel escolar y

universitario crea las condiciones necesarias para conseguir voluntarios para la conservación de nuestra geografía y nuestras aves en años venideros. Además, propicia la formación de ciudadanos científicos capaces de responder a eventos naturales o condiciones antropogénicas que pongan en peligro nuestra naturaleza urbana. Es decir, los participantes de estas actividades comienzan a ver y escuchar de manera distinta los espacios urbanos, encontrando en ellos —ya sean bosques, quebradas o manglares— melodías, trinos o sombras fugaces que los llevan a redescubrir nuestra geografía y naturaleza, así como a nombrar propiamente las aves que conviven con nosotros en estos espacios verdes de la ciudad.

El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan promueve la participación ciudadana en estos proyectos de evaluación ambiental, en colaboración con universidades, grupos de estudiantes de escuelas públicas y privadas, grupos ambientales como el Corredor del Yaguazo, Inc. de la comunidad Juana Matos en Cataño y la Sociedad Ornitológica de Puerto Rico, decenas de voluntarios y miembros de sus programas de ciudadanos científicos.

La meta es sencilla: que los ciudadanos y estudiantes de escuelas y universidades participen todos los años para conocer nuestra avifauna, desde las aves endémicas hasta aquellas residentes y migratorias, con el fin de asegurar una geografía participativa que empodere a todos los ciudadanos de nuestros espacios naturales urbanos, porque solo así aprenderán a conservarlos.

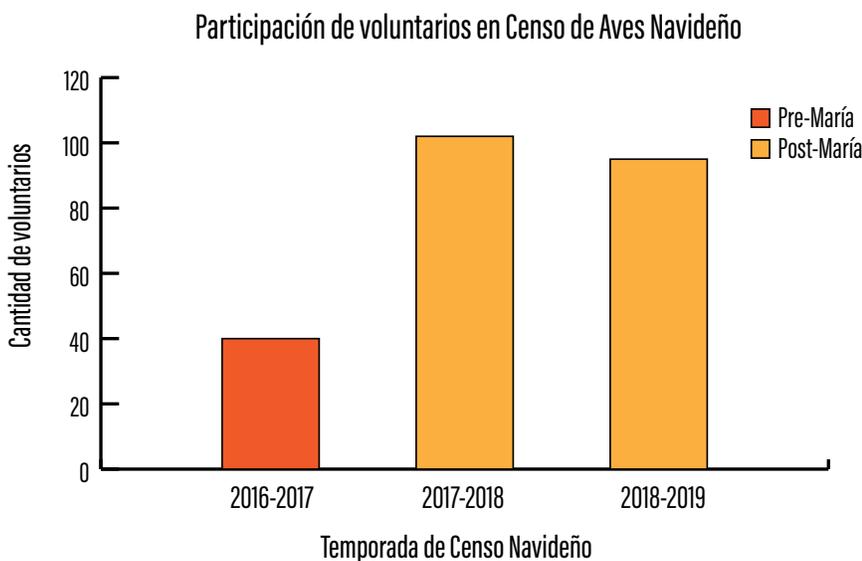
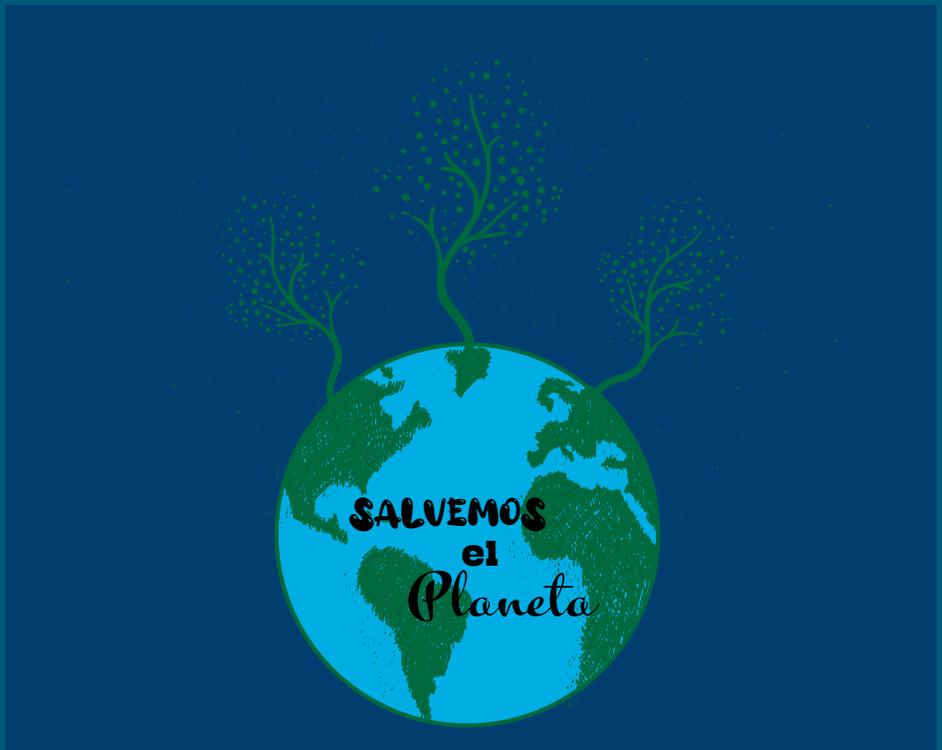
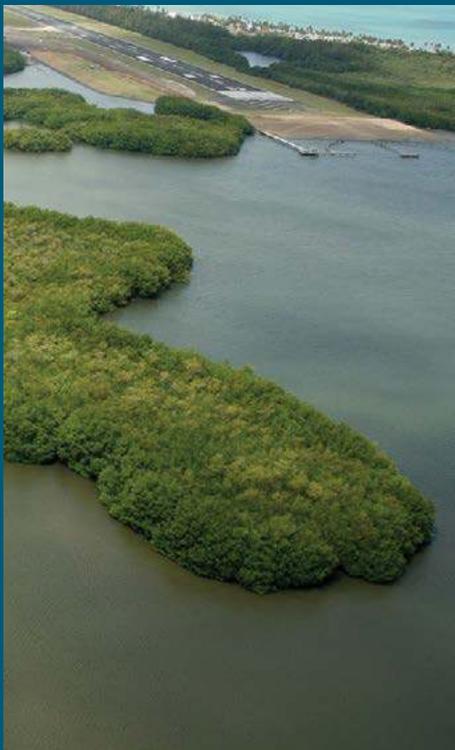
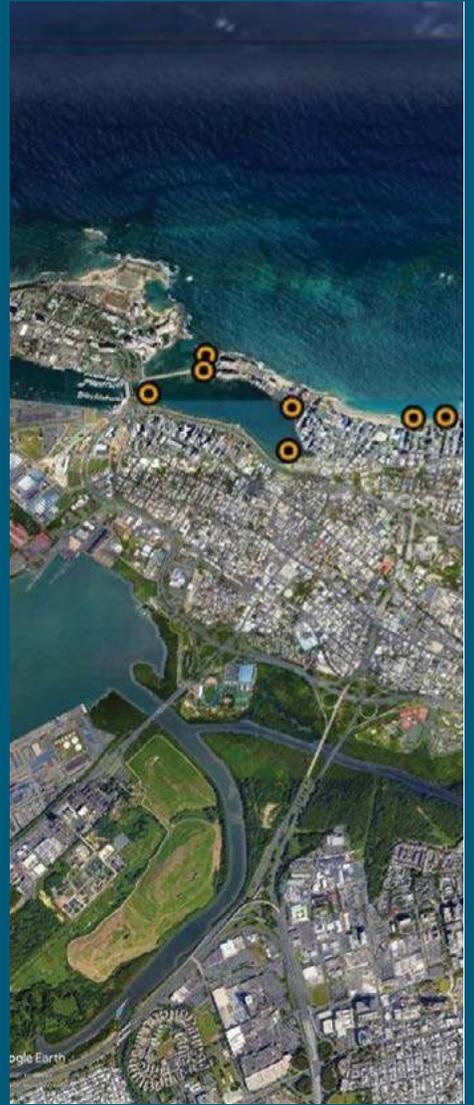


Figura 5. Comparación de la participación de voluntarios en el Censo de Aves Navideño Gamaliel Pagán Hernández antes y después del huracán María



INICIO

CONTENIDO



INICIO

CONTENIDO



RESILIENCIA COMUNITARIA



ESTUARIO
PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

INICIO

CONTENIDO



DIAGNÓSTICO

POR KATIA AVILÉS

El Plan Integral de Manejo y Conservación del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) identificó hace casi 20 años la educación y participación ciudadana como una de sus áreas programáticas prioritarias, estableciendo como meta general aumentar el conocimiento del público sobre las funciones y los valores del estuario. Para lograr este objetivo se sugieren 14 actividades que incluyen, entre otras, promover el uso pasivo de los recursos estuarinos (como los censos de aves), crear un programa educativo permanente, integrar la educación ambiental en el sistema educativo del país mediante acuerdos de colaboración con escuelas públicas y privadas, formalizar un programa de voluntariado que permita a los residentes integrarse a los esfuerzos de conservación y restauración, crear un programa de comunicaciones a largo plazo e implementar sistemas de datos para garantizar un flujo constante de información al público. La capacidad del PEBSJ de implementar y mantener la operación exitosa de estas iniciativas ayudó a guiar la respuesta ciudadana tras el paso del huracán María.

El programa de comunicaciones y la base de datos de libre acceso mantuvieron al público informado sobre la calidad del agua, como se menciona en artículos anteriores. La extensa red de voluntarios ayudó a reiniciar el conteo de aves inmediatamente después de los huracanes y a redirigir recursos (personas y materiales) a las áreas más necesitadas que se identificaron. Los programas educativos y de voluntarios facilitaron la reanudación de actividades de siembra capaces de reforzar la infraestructura verde y devolver un sentido de normalidad a los niños en las escuelas de la cuenca.

Fue durante este proceso de recuperación que el PEBSJ comenzó a integrar la salud comunitaria como una pieza esencial para la protección

y recuperación ambiental. Si la gente está en condiciones vulnerables, nuestros recursos naturales lo estarán aún más. Esto quedó evidenciado por el mayor impacto de enfermedades y muertes en las comunidades más vulnerables, como señala Kathlia Rodríguez Berríos en esta sección. Entendiendo el complejo entramado que incide sobre la vulnerabilidad y capacidad de recuperación de una comunidad, resumido en cinco premisas básicas por Tischa Muñoz Erickson, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan creó la Unidad de Resiliencia Comunidad (URC), a través de la cual comenzó un proceso de recuperación a largo plazo dirigido a reducir la vulnerabilidad, con la salud comunitaria y ambiental como ejes principales e intrínsecamente ligados el uno al otro. A partir del huracán María, el PEBSJ enmarcó las acciones de educación y participación ciudadana dentro de los siguientes principios:

Principio 1. *Cada residente es el eje central de la planificación y la implementación del desarrollo sustentable y de las transformaciones, según sean definidas por ellos mismos.*

Principio 2. *La integración de distintos sectores en todo proceso de desarrollo sustentable y transformación para mejorar la comunicación entre estos sectores, facilitando el desarrollo socioeconómico y logrando eficiencias al momento de ejecutar acciones dirigidas a responder a las necesidades establecidas.*

Principio 3. *El manejo comprehensivo de los distintos elementos que definen una comunidad. Cinco de estos elementos han sido seleccionados para las comunidades resilientes: el arte y la cultura, la educación, la salud, el desarrollo económico y las áreas verdes.*

Los principios y acciones del PEBSJ se redirigen a través de Centros de Resiliencia Comunitaria donde las comunidades más vulnerables o que más aisladas quedaron luego del huracán reciben adiestramiento y materiales para operar en un futuro evento extremo, integrando la organización comunitaria y el entendimiento del entorno natural como variable esencial para mitigar impactos, como lo fue en el caso del caño Martín Peña. La vulnerabilidad social y ambiental nos obligó a repensar cómo trabajamos, a crear maneras innovadoras de rehacer el tejido

social y llevar el mensaje ambiental, tal como aluden todos los artículos de esta sección, especialmente el de Lara Medina Sepúlveda, quien nos habla de cómo se integró el arte para aliviar y ofrecer una salida al proceso de duelo luego de los desastres. El rol del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan como eje de recuperación se consolidó tras el paso de los huracanes: la importancia de la reacción rápida, la flexibilidad y nuestra capacidad de adaptabilidad son elementos esenciales para enfrentar cualquier evento extremo en el futuro. En el siguiente artículo presentamos algunas lecciones aprendidas que se integran para aumentar la organización social, mejorar la salud comunitaria y restaurar con ella las aguas del estuario.





LA NECESIDAD DE REPENSAR LA VULNERABILIDAD: LECCIONES APRENDIDAS DE LOS HURACANES IRMA Y MARÍA

POR TISCHA A. MUÑOZ ERICKSON, HALLIE C. EAKIN Y MARÍA CARMEN LEMOS

La pérdida y el sufrimiento que miles de personas experimentaron en la temporada de huracanes de 2017 puso en evidencia las numerosas áreas de la sociedad y la economía puertorriqueña que necesitan ser repensadas y transformadas. Una de ellas es la manera en que percibimos, evaluamos y actuamos para reducir nuestra vulnerabilidad y adaptarnos al cambio climático. En términos coloquiales, la vulnerabilidad es la propensión a ser herido o sufrir daños, ya sea por estrés o por eventos amenazantes. En términos técnicos, la vulnerabilidad es el producto de cuán expuesta está la población a un riesgo y de los atributos específicos de esa población que la hacen particularmente susceptible a los impactos. En otras palabras, la vulnerabilidad no es simplemente el resultado de hallarse en el camino de una tormenta masiva, sino algo que se va desarrollando a lo largo del tiempo a raíz de las inversiones (o la falta de ellas) en la infraestructura, las decisiones sobre dónde ubicar viviendas y actividades económicas, las percepciones culturales tanto del riesgo como de las responsabilidades y las políticas y prácticas de acceso, distribución y uso de recursos (Eakin *et al.*, 2017).

En este artículo compartimos cinco puntos de reflexión basados en lecciones aprendidas tras el paso de los huracanes Irma y María con la intención de iniciar un diálogo sobre las causas fundamentales que nos generan vulnerabilidad a eventos extremos. Estos puntos de reflexión subrayan y enfatizan las limitaciones en los enfoques de la investigación y el manejo de riesgos climáticos que, a nuestro juicio, merecen más atención por parte de la comunidad científica y de quienes ponen en práctica dichas ideas. Entendemos que los métodos que utilizamos actualmente para analizar y evaluar la vulnerabilidad —como, por ejemplo, los mapas de riesgo que sobreponen los atributos poblacionales, ambientales y estructurales de un lugar— son

importantes, pero no suficientes para enfrentar los retos de una realidad climática más extrema. Llamamos la atención sobre la necesidad de repensar la vulnerabilidad y atender las dinámicas e interdependencias de los factores sociales, tecnológicos y ambientales que producen condiciones de vulnerabilidad, incluyendo las relaciones sociopolíticas asociadas a la toma de decisiones.

1. La vulnerabilidad no es estática, es un producto de flujos.

Tradicionalmente, en la práctica tratamos y evaluamos la vulnerabilidad como una condición que se le atribuye a un lugar o una población, por ejemplo, el número de hogares en una zona inundable o el nivel de ingresos de un bloque de censo. No obstante, la vulnerabilidad también es un producto de flujos o elementos que atraviesan fronteras políticas y territoriales y que son integrales para sostener la sociedad y la economía. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, el movimiento de bienes y servicios, la circulación de información y conocimiento, las transacciones financieras y el movimiento de personas, flora, fauna, polvo, contaminantes y otros materiales (Adger *et al.*, 2009; Eakin, 2010). En Puerto Rico, uno de los flujos más importantes es el flujo de materiales y productos regulados por el Acta Jones de 1920. Esta ley requiere que toda la carga comercial que entre o salga de los puertos de Puerto Rico se transporte usando buques y tripulaciones de Estados Unidos, lo cual imposibilitó una respuesta de emergencia efectiva tras el paso del huracán

María al impedir los flujos de ayuda y aumentó el costo de las importaciones que se necesitaban urgentemente para salvar vidas, contribuyendo así a la ineffectividad de la economía en la isla y afectando la resiliencia de nuestro país ante dos huracanes.

Esta conectividad que caracteriza la vulnerabilidad impone grandes exigencias a la gobernanza: expone la gran necesidad de coordinación, comunicación y acciones sinérgicas entre diferentes sectores, niveles de gobierno y actores públicos y privados. En Puerto Rico, la confusión sobre las responsabilidades administrativas de las agencias locales, las tardanzas en la respuesta de las autoridades federales y la complejidad del estatus territorial impidieron la entrega de ayuda a la isla días después del paso del huracán. En otras palabras, los vínculos y flujos entre la sociedad, la economía, y la infraestructura exigen que

veamos a la vulnerabilidad más allá de definir qué y quiénes son más vulnerables, considerando también cómo se debe gobernar la vulnerabilidad o las condiciones que la producen (Wellstead *et al.*, 2013).

2. Lo que pensamos sobre nuestra capacidad de manejar el riesgo y lo que percibimos sobre la capacidad y responsabilidad de otros es importante.

La percepción que tenemos sobre nuestra capacidad de manejar el riesgo y la de los demás puede determinar significativamente las condiciones de vulnerabilidad a nivel local. Nuestra disposición como individuos, comunidades, organizaciones o comerciantes para responder, anticipar o tomar acción ante un riesgo no depende solamente de las capacidades que tengamos, por ejemplo, conocimientos, recursos o bienes. Nues-



tra capacidad de prepararnos proactivamente para un evento también se ve afectada por la tensión que existe entre lo que pensamos que cada uno debe o puede hacer (o es responsable de hacer), entre nuestras expectativas de las responsabilidades de las agencias gubernamentales que velan por nuestra seguridad y lo que esas agencias verdaderamente pueden hacer. En otras palabras, lo que pensamos que otros —ya sean agencias gubernamentales, negocios o vecinos— hacen para manejar el riesgo afecta las acciones que tomamos para reducir nuestra vulnerabilidad, aun cuando esas percepciones puedan ser incorrectas o infundadas.

Lamentablemente, muchas comunidades en Puerto Rico, sobre todo en el interior de la isla, vivieron de primera mano las desastrosas consecuencias de tener falsas expectativas de las autoridades públicas y de su capacidad de responder rápida y efectivamente ante un desastre de la magnitud del huracán María. Sin embargo, también vieron cómo la contribución y la colaboración de individuos en una comunidad pueden crear la capacidad necesaria para levantarse cuando los recursos públicos no están disponibles. Como individuos y comunidades, es necesario tener información precisa sobre los riesgos que enfrentamos y las limitaciones de los recursos públicos o privados necesarios para protegernos. La creciente frecuencia e intensidad de eventos climáticos pone a prueba tanto los límites de las estrategias convencionales del manejo de riesgo como las capacidades que tienen los hoga-

res para manejar estos eventos extremos por su propia cuenta (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012). La responsabilidad *compartida y justa* es esencial para lidiar con los cambios que enfrentamos y adaptarnos a ellos.

3. La incertidumbre, la política y el acceso a la información complican los esfuerzos de adaptación.

Expertos en el manejo de riesgos y desastres han resaltado la importancia de la transparencia, la honestidad y la candidez para lograr la comunicación efectiva de los riesgos al público (Paltala *et al.*, 2012; Seeger, 2006). Aun así, las autoridades responsables de informar los riesgos pueden carecer de incentivos de transparencia, sobre todo en cuanto al nivel de incertidumbre que existe sobre el riesgo o la vulnerabilidad. La admisión de vulnerabilidad o incertidumbre por parte de una autoridad pública puede ser interpretada en los medios como una aceptación de falta de control e incluso de fracaso por lo que respecta a garantizar la seguridad pública. No obstante, en el contexto de los cambios globales, está cada vez más claro que esta idea resulta obsoleta, ya que ninguna organización, agencia, individuo o empresa puede proteger por su cuenta a la sociedad de los riesgos que enfrenta la humanidad.

El manejo de la información sobre el estado de crisis y vulnerabilidad en el que se encontraba la infraestructura eléctrica antes del huracán María por parte de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE) sirve como

ejemplo de las consecuencias que tienen las fallas en el flujo de información y la transparencia. Un año antes de que pasara el ciclón, la AEE había sido evaluada por una entidad externa que determinó que la agencia estaba en crisis. El informe publicado en 2016 por Synapse Energy Associates señaló que la AEE fallaba en cumplir el mandato básico de proveer a sus clientes una fuente segura y confiable de energía, añadiendo que ni la Comisión de Energía ni otras autoridades gubernamentales ni el público debían estar mal informados sobre el estado actual de la crisis de la AEE (Fisher y Horowitz, 2016). Mientras los periódicos reportaban la condición fiscal crítica de la agencia, las precarias circunstancias políticas y económicas de Puerto Rico en los meses previos a María probablemente no motivaron al Gobierno a ser totalmente transparente en cuanto a las condiciones físicas de la red eléctrica. En otros casos, se acusó a políticos de exagerar la vulnerabilidad de la infraestructura energética para justificar su privatización ante la oposición pública.

4. Reducir la vulnerabilidad de cualquier sistema —ya sea una ciudad, una comunidad costera o un territorio insular— no es algo que una agencia o administración pueda realizar aisladamente.

Reducir nuestra vulnerabilidad requiere la contribución de individuos, hogares, empresas y otros actores que pueden o no ser conscientes de la importancia de sus acciones. A medida que se privatizan más y más re-



cursos y activos, incluso las agencias e infraestructuras públicas mejor administradas y mantenidas no podrán encargarse por sí solas de reducir la vulnerabilidad social. Lograr una mayor adaptación a nivel sistémico y a múltiples escalas requiere la colaboración y la contribución específicas de todos los componentes de la sociedad civil. Por ejemplo, los residentes con propiedades en la costa tendrán que estar dispuestos a que una duna de arena obstaculice la vista al mar que tanto aprecian y que motivó inicialmente la compra de la propiedad — un costo no deseado— para mejorar la resiliencia ante los huracanes. Los beneficios individuales de tales aportaciones para reducir la vulnerabilidad pública son a menudo imperceptibles o solo indirectamente aparentes hasta después de que surge el evento climático extremo. Por lo tanto, aunque existe amplia evidencia de solidaridad *después* de los efectos de eventos climáticos, cuando es evidente que la provisión de infraestructura pública ha fallado, también existe menos evidencia de que las personas colaboren en anticipar y prepararse para eventos altamente inciertos, sobre todo si esto implica incurrir en costos específicos por un beneficio público intangible.

Motivar a los propietarios individuales a que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de los lugares donde viven es un desafío político cada vez más importante. Si bien es cierto que los códigos de zonificación y construcción tienen como objetivo incentivar a los desarrolladores y propietarios de vivienda a tomar en cuenta los riesgos, estos no son siempre efectivos. Una ilustración de este punto es el caso de Houston, donde se permitió el desarrollo urbano en planicies aluviales sabiendo que eran inundables, lo cual causó numerosas pérdidas tras el paso del huracán Irma. En Puerto Rico, la inequidad, la pobreza y la falta de vivienda asequible crearon condiciones por las cuales casi un 55 % de las unidades de vivienda carecían de permisos o títulos de propiedad. Por consiguiente, eran construcciones “irregulares” que no cualificaban para recibir apoyo de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) en la recuperación, lo cual generó una retroalimentación negativa de vulnerabilidad. Ningún propietario quiere más regulaciones. Sin embargo, es fundamental movilizar el apoyo de estos administradores de recursos para contribuir a reducir la vulnerabilidad a escalas más amplias.

Según la Asociación de Constructores de Puerto Rico, el 87 % de los daños causados a la infraestructura por los huracanes se debieron al impacto en las unidades de vivienda. El Gobierno de Puerto Rico y la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) estiman que la cantidad de unidades de vivienda afectadas fluctúa entre 252,035 (16 %) y 783,847 unidades (50 %). Otros estimados incluyen 472,000 unidades de vivienda y 166,000 edificios residenciales que fueron afectados o destruidos (Gobierno de Puerto Rico, 2018b).

En general, las casas de madera y de concreto construidas formalmente, con conexiones adecuadamente detalladas, resistieron el impacto de los huracanes. Las casas más afectadas fueron aquellas construidas informalmente, lo cual se debe a factores como la utilización de materiales de construcción no resistentes, las conexiones pobres o inexistentes y la ubicación de la residencia. De los hogares afectados por los huracanes, se estima que entre 85,000 y 90,000 eran construcciones informales (Junta de Planificación, 2018) realizadas, en su mayoría, hace unos 40 a 50 años (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2018a). En Puerto Rico, estas viviendas carecen de los permisos adecuados, no cuentan con supervisión profesional del diseño durante el proceso de construcción y no están codificadas ni reconocidas formalmente por el Estado (FEMA, 2018a).

Conforme a los datos del Departamento de Vivienda, en Puerto Rico existen actualmente 1.4 millones de unidades de vivienda, de las cuales 1.1 millones están ocupadas. Según un informe de dicha agencia, se estima que entre el 45 % y el 55 % de las viviendas en Puerto Rico son construcciones informales (Departamento de la Vivienda, 2018). Cabe señalar, sin embargo, que muchas de las viviendas “formales” están ubicadas en zonas de riesgo y no cumplen con los códigos y reglamentos de construcción (Comisión Asesora para un Puerto Rico Resiliente, 2018).

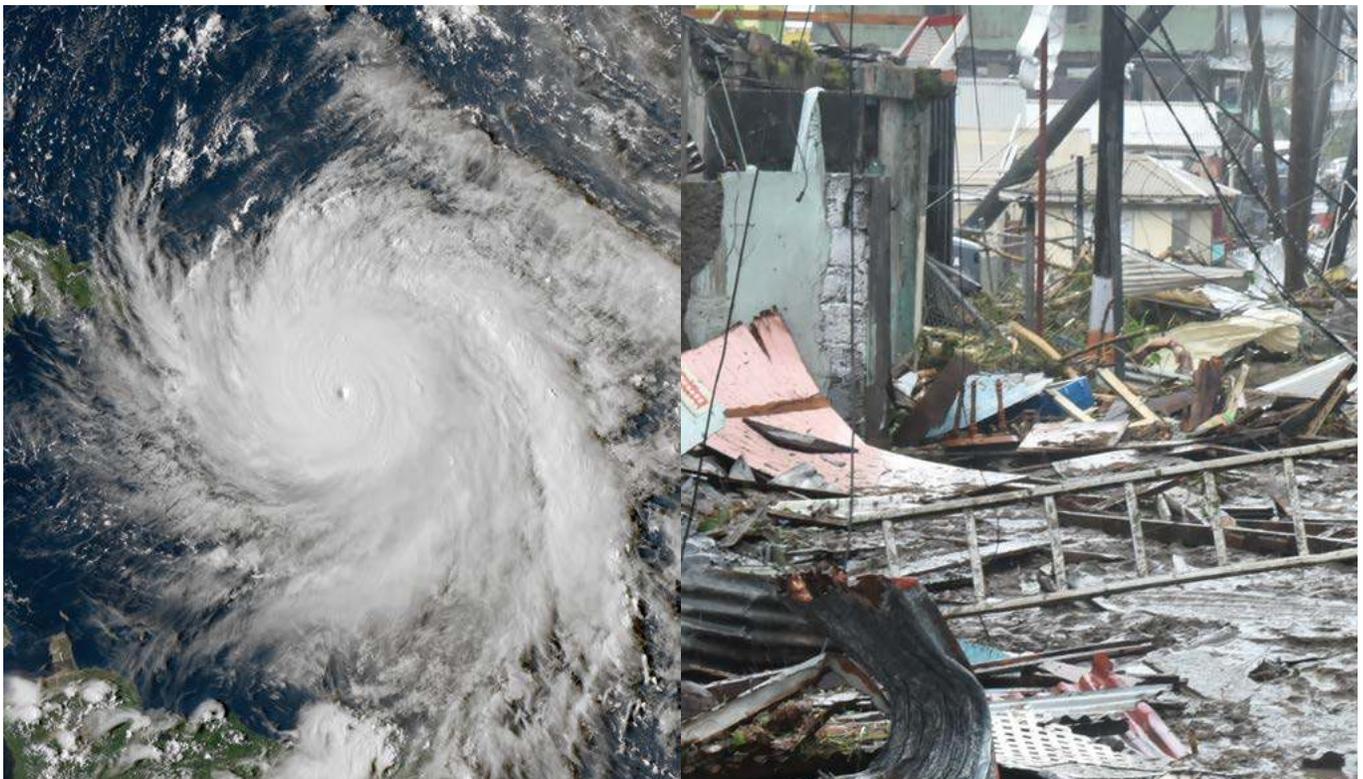
5. Los desastres representan oportunidades para iniciar trayectorias de desarrollo sostenibles, pero dichas transformaciones enfrentan barreras significativas.

Los profesionales del manejo de desastres llevan tiempo argumentando sobre la oportunidad que ofrecen los desastres, durante la reconstrucción, para la transformación de comunidades hacia rutas de desarrollo más sostenibles. Sin embargo, la implementación de este ideal es un gran desafío, sobre todo considerando la urgencia de restaurar servicios, infraestructuras y capacidades claves para la recuperación después de un evento extremo. Luego de que el huracán María sumiera a la isla en una grave y duradera crisis energética, un sinnúmero de compañías, laboratorios, organizaciones de la industria energética y expertos en energía renovable ofrecieron visiones y planes para la transformación del sistema hacia trayectorias energéticas sostenibles. Lo que no se contempló en los análisis fueron los procesos, reglas, valores y normas culturales —es decir, la llamada “infraestructura sociopolítica”— que facilitan u obstaculizan el cambio transformador (Eakin *et al.*, 2017). Aun cuando el Gobierno de Puerto Rico ha aprobado una medida para lograr la meta de 100 % de uso de fuentes renovables para el año 2050, dicha transformación enfrenta grandes obs-

táculos políticos y económicos por los intereses en el gas natural de Estados Unidos, que ve en el territorio de Puerto Rico la oportunidad de una nueva demanda de este recurso. Las transiciones hacia la sostenibilidad son más probables si antes de ocurrir un evento extremo existe un entorno político y económico favorable, una visión articulada o ideas de desarrollo alternas y una red social de personas dispuestas a llevar adelante las ideas incluso en medio de dificultades y pérdidas significativas (Brundiers y Eakin, 2018).

Hacia un futuro menos vulnerable

Un futuro más extremo e incierto requiere un nuevo enfoque en la gobernanza y el manejo del riesgo. Tendremos la base para crear un nuevo contrato social que aborde y reduzca la vulnerabilidad cuando reconozcamos que dicha vulnerabilidad es el producto de enlaces e interdependencias entre entidades sociales y políticas, percepciones y expectativas, responsabilidades compartidas y transparencia en la comunicación. Esperamos que, con esta reformulación de la naturaleza de la vulnerabilidad y la adaptación, tengamos una mejor capacidad para encontrar e implementar en conjunto nuevos caminos hacia la sostenibilidad.





ESTUARIO



RESILIENCIA COMUNITARIA EN EL ESTUARIO A TRAVÉS DEL ARTE Y LA CULTURA

POR LARA MEDINA SEPÚLVEDA

Introducción

A lo largo de esta publicación se ha discutido el impacto de los huracanes de septiembre de 2017 en la cuenca estuarina de la bahía de San Juan. Este artículo integrará y se enfocará en el arte y la cultura como parte de la resiliencia tras el paso de los ciclones. Los huracanes Irma y María causaron en la isla inimaginables estragos físicos, estructurales, económicos, ecológicos, sociales y de muchos otros tipos. El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) vio la necesidad de ampliar su enfoque a las comunidades más vulnerables de la cuenca. Inició la campaña “Estuario Revive”, que apoyó a centros comunitarios y culturales para formalizarlos como centros resilientes ante desastres y/o emergencias. Proveyendo sistemas de energía solar, agua limpia y segura, equipos de primeros auxilios y enseres eléctricos eficientes, el PEBSJ continúa con esta iniciativa a través de la Unidad de Resiliencia Comunitaria. Estos centros resilientes representan un lugar de empoderamiento y refugio en momentos de crisis. Por eso, luego de crear centros de apoyo inmediato, nos dimos a la tarea de respaldar y empoderar a las comunidades del estuario para convertirlas en comunidades resilientes. Hasta el momento, se han establecido centros resilientes en Cataño, Loíza, Caimito, Santurce y el Viejo San Juan (Centro de Visitantes del Estuario).

El proyecto Resiliencia Comunitaria es la fase de apoyo a largo plazo a las comunidades de la cuenca estuarina. Uno de los ejes de apoyo y empoderamiento para el desarrollo económico, cultural y social de las comunidades es el arte. “El arte, a diferencia de otras disciplinas, no hace falsas segmentaciones y compartimentos estancos de la realidad. Esto nos permite

Figura 1. Primer premio del Concurso Fotográfico Estuario Revive de 2018: Gerardo Castillo, Mayagüez, 23 de septiembre de 2017



Figura 2. Cine Estuario en el Centro Cultural de Caimito, mayo de 2018

entender las conexiones entre el observador y lo observado, lo natural y lo artificial, paisaje y sociedad” (López Abril *et al.*, 2017). A través del arte y de los procesos culturales artísticos, se amplía el apoyo a las comunidades. Estos procesos artísticos, gráficos, culinarios, de movimiento y de ocio abren un camino hacia la sanación y el empoderamiento de los espacios por parte de la comunidad, en especial luego de una crisis.

Se empleó el arte para facilitar y aumentar la resiliencia en la comunidad. “La resiliencia debe ser considerada como un proceso social por el cual unos determinados actores sociales utilizan estrategias, que son igualmente sociales, individuales, pero también grupales o colectivas, en un contexto social y relacional, esto es, en un medio que marca las posibilidades de acción disponibles y susceptibles de tener éxito; y en el que los vínculos con otros son determinantes para poder desarrollar

o no ciertas estrategias de actuación” (Revilla Castro *et al.*, 2016). La capacidad de recuperarse de la adversidad, por medio de diferentes estrategias, es resiliencia. Por eso apostamos por la creatividad como herramienta.

La creatividad y el arte como herramienta de resiliencia comunitaria en el estuario

El uso de la creatividad y el arte en los procesos de apoyo posteriores a los huracanes se ha convertido en una herramienta vital para el éxito de estas iniciativas. Además de los procesos de limpieza y apoyo inmediato a las comunidades, el PEBSJ desarrolló actividades creativas con el fin de cumplir sus objetivos de educación para empoderar a la comunidad en la conservación de la cuenca estuarina. Comenzó con la reactivación de Cine Estuario, actividad celebrada periódicamente durante 10 años antes del paso de los huracanes y que sirvió como espacio de educación y ocio en momentos

en los que no había energía eléctrica. Esta iniciativa une a la gente en un espacio no solo para despejarse, sino para compartir y crear comunidad.

Como parte del proceso de reconstrucción y recuperación luego de la tempestad, el PEBSJ abrió una convocatoria al público general para plasmar, a través de la fotografía, la perspectiva de los residentes luego del huracán María. Según explicó Brenda Torres Barreto, directora ejecutiva de la entidad, “la exhibición es una forma de que la comunidad se haga partícipe del desarrollo de un plan de mitigación con garras” (Rodríguez, 2018). La exposición fotográfica, que tuvo lugar en el Centro de Visitantes del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, manifestó la visión y las experiencias de los más afectados tras el paso del huracán. Además, demostró cómo, a través de convocatorias artísticas, se puede educar y recibir información sobre el estado en que se encuentra la cuenca. Aunque el estuario de la bahía de San Juan sufrió mucho a raíz del huracán, sus administradores observaron que “las aguas que tenían suficiente infraestructura verde aguantaron la fuerza del viento y amortiguaron el impacto del huracán en las comunidades circundantes” (Rodríguez, 2018).

El Programa de Artistas Residentes del Estuario también es producto del proyecto Resiliencia Comunitaria. Los artistas residentes apoyan el proceso de empoderamiento junto con científicos expertos en el tema de calidad del agua. “El desarrollo sustentable en las comunidades resilientes es guiado por actividades culturales y artísticas” (Programa del Estuario

de la Bahía de San Juan [PEBSJ], 2019b). El quehacer artístico, en todas sus facetas, se convierte en una herramienta clave para que las comunidades trabajen con su entorno y la conservación de la cuenca estuarina. Esta iniciativa de convocatoria abierta fue respaldada y difundida por diferentes organizaciones, entre ellas la Escuela de Artes Plásticas y Diseño, el Conservatorio de Música de Puerto Rico y la José A. Santana International School of Hospitality and Culinary Arts de la Universidad del Este. "El Estuario reconoce la necesidad de encontrar formas creativas para involucrar más a sus ciudadanos en el proceso de transformación de una cuenca hidrológica resiliente. La creatividad representa un capital social que viabiliza la conexión con la gran diversidad de personas que viven dentro del sistema del estuario de la bahía de San Juan y su cuenca (Wong y Brown, 2009)" (PEBSJ, 2018). Las propuestas elegidas trabajan con lugares específicos en la cuenca del estuario: Caimito, Loíza y el barrio Las Monjas de San Juan. Estas propuestas abarcan desde iniciativas culinarias con la creación de un mural hasta la utilización de especies invasoras para elaborar productos como carteras y sombreros. La participación de la comunidad es vital para el cumplimiento de todas las propuestas, por lo que los artistas, junto con miembros del PEBSJ, se encargan de capacitar para que el proyecto artístico se convierta en uno comunitario.

Conclusión

La capacidad de crear y utilizar el arte como herramienta de resiliencia en las comunidades de



Figura 3. Exhibición fotográfica en el Centro de Visitantes del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan



Figura 4. Taller de trenzado con enea ofrecido por la artista Jomary Ortega, 2019

la cuenca estuarina desarrolla y fortalece el sentido de identidad y el tejido social (Hernández Acosta, 2016). Proyectos como el de Artistas Residentes del Estuario ayudan a generar un vínculo más cercano entre la comunidad y su territorio, lo cual facilita la participación y contribuye a que estas acciones de conservación perduren. Además, estas iniciativas permiten integrar diferentes saberes para realizar un mejor diagnóstico, aumentando así la capacidad de resiliencia en las comunidades atendidas.



Figura 5. Mural *El plato ilustre* de los artistas Omar Torres y Samantha López, 2019



“EL CAÑO VIVE, LA LUCHA SIGUE”: EL EMPODERAMIENTO COMUNITARIO COMO MECANISMO PARA PROMOVER UNA RECUPERACIÓN JUSTA Y EQUITATIVA, Y LA JUSTICIA SOCIAL Y AMBIENTAL, EN PUERTO RICO

POR ESTRELLA D. SANTIAGO PÉREZ

La historia de caño Martín Peña (Caño) es la historia de ocho comunidades que se organizaron y empoderaron para promover la justicia social y ambiental en beneficio de sus residentes. Es una demostración del rol crítico que juega la participación comunitaria en la búsqueda de soluciones a los diversos problemas ambientales, sociales y económicos que afectan a las comunidades empobrecidas y marginadas de Puerto Rico y del mundo. Asimismo, es un ejemplo de cómo las comunidades de bajos ingresos y de color, que se ven más afectadas por los impactos del cambio climático, pueden tener una recuperación digna, justa y equitativa a largo plazo.

El Caño es un canal de marea de 3.75 millas de largo que forma parte del estuario de la bahía de San Juan (EBSJ), uno de los ecosistemas con mayor importancia ecológica en el archipiélago de Puerto Rico y el único estuario tropical incluido en el Programa Nacional de Estuarios administrado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). La mitad oeste del Caño, históricamente de entre 200 y 400 pies de ancho, está actualmente obstruida con sedimentos, escombros y basura, lo que ha causado que en algunas de sus áreas más estrechas la gente pueda caminar de un lado a otro. Las comunidades aledañas al Caño surgieron como parte del proceso de migración de las áreas rurales a la ciudad que se dio en Puerto Rico a raíz de la caída de la industria de la caña de azúcar y los impactos de los huracanes San Felipe II y San Ciprián en 1928 y 1932, respectivamente. Cientos de familias emigraron al área metropolitana de San Juan en busca de mejores oportunidades de trabajo y vivienda, estableciéndose muchas de ellas en los márgenes del Caño. Las ocho comunidades que rodean el Caño y conforman el Distrito de

Planificación Especial del Caño Martín Peña (Distrito) son Barrio Obrero Oeste, Barrio Obrero San Ciprián, Barrio Obrero Marina, Buena Vista Santurce, Parada 27, Las Monjas, Buena Vista Hato Rey e Israel - Bitumul.

La inacción de los organismos gubernamentales pertinentes hizo que muchos sectores importantes de estas comunidades se quedaran sin acceso a un sistema sanitario, lo que a su vez ha puesto en riesgo infraestructuras críticas como los sistemas pluviales. La falta de una infraestructura sanitaria y pluvial adecuada, junto con la obstrucción del Caño, tienen como resultado frecuentes inundaciones con aguas sanitarias sin tratar que representan un riesgo para la salud y la seguridad públicas. En el Caño se han encontrado más de 2,000,000 de colonias de coliformes fecales y 1,200,000 colonias de enterococos por cada 100 ml de agua, excediendo en 10,000 veces y en más de 34,000 veces los parámetros de calidad del agua permitidos de coliformes fecales y enterococos, respectivamente, para el contacto humano indirecto (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2009).

Fue en este contexto que las ocho comunidades que rodean el Caño se organizaron para crear mecanismos legales e instituciones que implementen los proyectos necesarios para restaurar el Caño y desarrollar proyectos críticos de infraestructura y vivienda, así como mejorar las condiciones socioeconómicas de las comunidades,

salvaguardando su permanencia en un área económicamente estratégica. Así surgió el Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña (Proyecto ENLACE) como una iniciativa que vincula a los sectores público, privado y comunitario para rehabilitar el Caño y revitalizar las comunidades que rodean este importante cuerpo de agua. Como parte del Proyecto ENLACE, entre 2002 y 2004 se desarrolló y aprobó por la Junta de Planificación de Puerto Rico el Plan de Desarrollo Integral y Usos del Terreno del Distrito de Planificación Especial del Caño Martín Peña (PDI), enmarcado en un proceso participativo que incluyó más de 700 actividades comunitarias.

En 2004, se crea la Corporación del Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña (ENLACE) al amparo de la Ley Núm. 489 del 24 de septiembre de 2004, según enmendada, como una corporación pública encargada de la coordinación e implementación de las políticas y los proyectos públicos incluidos en el PDI. ENLACE trabaja junto con el Grupo de las Ocho Comunidades Aledañas al Caño Martín Peña, Inc. (G-8) y el Fideicomiso de la Tierra del Caño Martín Peña (Fideicomiso), un fideicomiso comunitario que ha sido fundamental para permitir el mejoramiento del área sin crear una barrera económica para sus residentes, así como para regularizar y formalizar la relación de los residentes con la tierra. Este mecanismo, único en su tipo en Puerto Rico hasta la fecha, se destaca por proteger

a la comunidad evitando el desplazamiento involuntario de sus habitantes como resultado de las fuerzas del mercado y/o como consecuencia no intencional de la implementación del PDI.

La creación del Proyecto ENLACE y las instituciones que lo componen demostraron ser fundamentales para los esfuerzos de asistencia tras el paso del huracán María en septiembre de 2017. Una evaluación preliminar realizada por ENLACE concluyó que el huracán María causó la destrucción de más de 75 viviendas, la destrucción total o parcial de más de 1,200 techos e inundaciones en el 70 % de las comunidades, en algunas áreas hasta por 4 días. El costo para reconstruir los techos parcial o totalmente destruidos por el huracán María es de aproximadamente \$15.6 millones¹. ENLACE, el G-8 y el Fideicomiso unieron fuerzas para proveer ayuda inmediata a las comunidades. Durante el primer mes luego del impacto del huracán María, se distribuyeron un total de 800 toldos entre los residentes del Distrito cuyos techos sufrieron daños totales o parciales como resultado de la tormenta. Otros 100 toldos fueron distribuidos en otras comunidades también afectadas por el huracán. Además, 11 familias con necesidades especiales recibieron asistencia para la instalación de sus toldos. En coordinación con el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USA-CE), se procesaron más de 500 solicitudes de toldos azules o *blue*

¹ Estimados basados en cotizaciones para el proyecto "Techos para el Caño", cuyo objetivo es reconstruir los techos afectados por el huracán María reemplazándolos por techos nuevos y más resistentes hechos con materiales tradicionales como la madera y el zinc. Para el año 2019, se habían reconstruido 23 techos a un costo estimado de \$299,000 (Caro González, 2018).



roofs, de las cuales más de 300 fueron completadas por personal o voluntarios y voluntarias del G-8, de ENLACE y del Fideicomiso. También, el G-8 desarrolló la iniciativa “Techos para el Caño”, que busca reconstruir los techos que María destruyó en el Distrito, “sustituyéndolos por nuevos techos más resistentes hechos con materiales tradicionales (madera y zinc), pero con el diseño, la instalación y el anclaje adecuados para que puedan resistir mejor futuras tormentas” (G-8, Inc., s. f.). Para julio de 2019, el G-8, a través de la iniciativa “Techos para el Caño”, había reconstruido los techos de 101 familias que viven en el Distrito (G-8, Inc., s. f.).

Asimismo, tras el paso del huracán María, se distribuyeron más de 5,000 comidas calientes y 1,700 bolsas de comestibles, donaciones en efectivo a más de 280 familias y agua potable. Además, se lanzó una campaña de prevención de enfermedades que incluyó hojas informativas sobre purificación del agua y estrategias de promoción de la salud. Para prevenir el dengue, el zika y el chikunguña, ENLACE preparó y distribuyó kits de prevención de estas enfermedades, 8,164 repelentes de mosquitos, 3,168 mosquiteros y más de 1,200 larvicidas. También se movieron 122 camiones con material vegetativo y escombros retirados de las zonas más vulnerables a inundaciones. Además, ENLACE, los miembros del personal y voluntarios del G-8 y del Fideicomiso ayudaron a más de 457 familias a solicitar y recibir información sobre el programa de Asistencia Individual de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA).

El Proyecto ENLACE está trabajando actualmente para comenzar la construcción del dragado y la canalización del Caño con el fin de restablecer la conexión hidráulica natural entre la bahía de San Juan y la laguna de San José, restaurar tanto el hábitat de los peces como la biodiversidad y mejorar la salud general del estuario de la bahía de San Juan. Además, está buscando la inversión estratégica de fondos de recuperación de desastres para el desarrollo de proyectos críticos de infraestructura y vivienda dentro del Distrito. Asimismo, el Proyecto ENLACE continúa implementando más de 30 programas sociales que van desde iniciativas de alfabetización de adultos, incubadora de empresas, programas de prevención de violencia e iniciativas para la población de la tercera edad hasta programas de concienciación ambiental como el de Estudiantes Dispuestos a la Restauración Ambiental del Caño y el de Patrulleros del Ambiente. Esto ha sido posible en parte gracias al apoyo de más de 100 aliados y colaboradores tales como el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

“El Caño vive, la lucha sigue” es uno de los lemas utilizados por las y los líderes comunitarios, y es un reflejo del espíritu de lucha, solidaridad, compromiso, pertenencia y dedicación que caracteriza a cada líder y residente de las comunidades que rodean el Caño. No es posible que una comunidad obtenga justicia ambiental sin justicia social. Por eso, el Proyecto ENLACE es un modelo adaptable o replicable para otras comunidades dentro y fuera de Puerto Rico.



EL HURACÁN MARÍA: UN GRAN DESAFÍO PARA EL SISTEMA DE SALUD DE PUERTO RICO

POR KATHLIA K. M. RODRÍGUEZ BERRÍOS

El paso de los huracanes Irma y María, cuyos efectos se agravaron significativamente debido al manejo inadecuado de la situación, crearon la mayor tragedia sufrida en Puerto Rico en los últimos 80 años. Durante un período de dos a cuatro meses, los 3.4 millones de habitantes de la isla tuvieron que lidiar con la escasez de agua potable, la ausencia de electricidad y la falta de recursos. Estos factores afectaron en particular a las personas más vulnerables. El apagón obligó a cerrar hospitales y dejó a otros centros de salud en situaciones precarias que conllevaron la incapacidad de ofrecer tratamientos completos. Además, las líneas de emergencia psiquiátrica no daban abasto para atender las llamadas de personas y familiares en busca de ayuda. El pueblo puertorriqueño vivió una realidad mucho más grave de la que presentaban los datos del Gobierno.

El sistema de salud de Puerto Rico enfrentó grandes retos. Según el Centro de Periodismo Investigativo (CPI), la proporción de personas que murieron por accidentes, enfermedades del corazón y diabetes aumentó tras el paso del huracán María. Otras enfermedades y/o causas de muerte que registraron aumentos significativos fueron la neumonitis, la hipertensión y la influenza, así como las enfermedades respiratorias, renales y cardiovasculares. El incremento de enfermedades como la sepsis, la neumonía y la influenza fue importante y preocupante, ya que no se trató de enfermedades o diagnósticos existentes antes del huracán, sino que fueron consecuencia directa de las circunstancias que surgieron a raíz del colapso total del sistema de salud de Puerto Rico y de los servicios esenciales (Sosa *et al.*, 2018). Igualmente alarmantes fueron —y siguen siendo— las altas tasas de enfermedades transmitidas por el agua en comparación con años anteriores. Debido a las inundaciones, el colapso de los servicios de agua potable (60 % de la población sin servicio) y el uso de aguas contaminadas de ría-

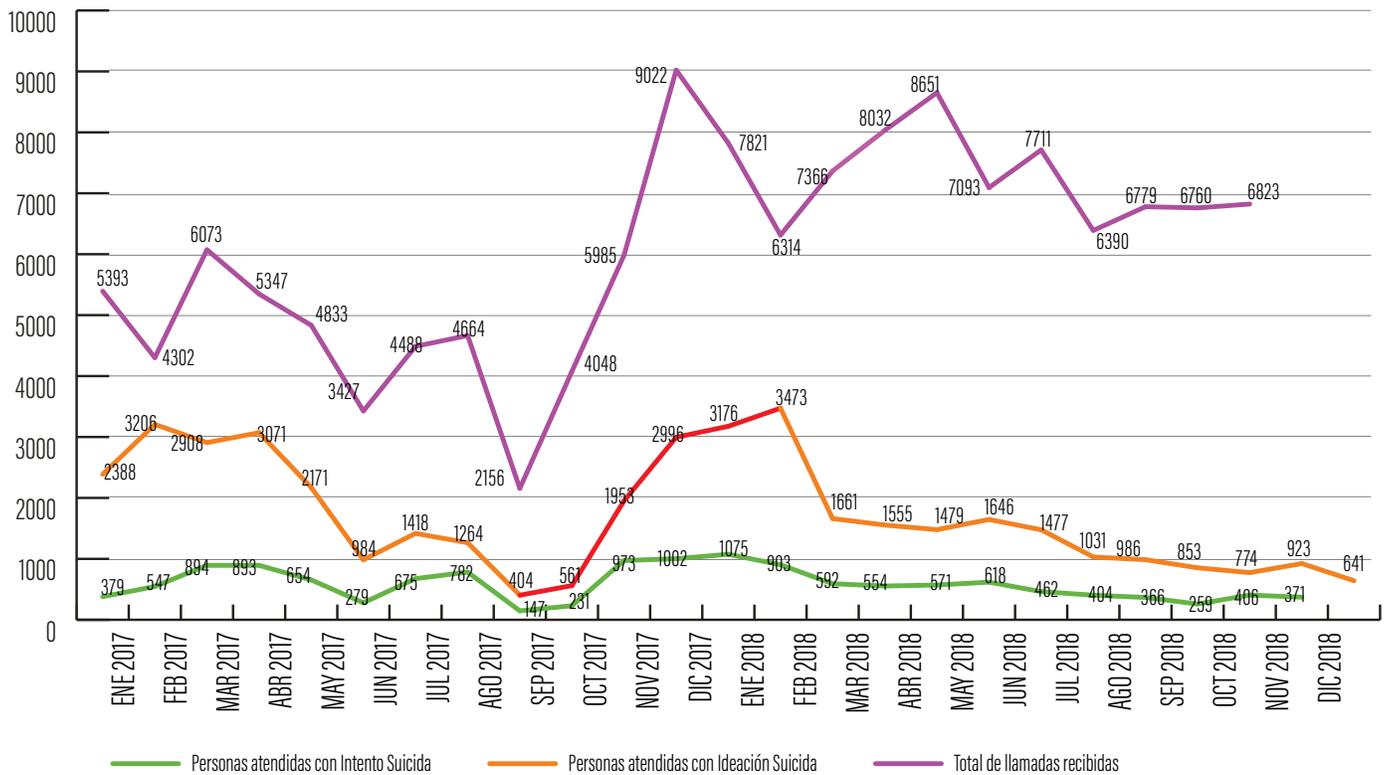
chuelos, quebradas o manantiales para fines domésticos, se reportaron casos de sarna, conjuntivitis, gastroenteritis y leptospirosis. La leptospirosis es una enfermedad bacteriana que se transmite a través del agua y del suelo, especialmente después de tormentas e inundaciones. La base de datos del Registro Demográfico sobre las causas de muerte en Puerto Rico enumera 26 fallecimientos por leptospirosis en los seis meses posteriores al huracán María. La Dra. Carmen Deseda, epidemióloga del Estado en aquel entonces, confirmó que anualmente se

reportan alrededor de 60 casos de leptospirosis, pero a solo un mes del huracán (octubre de 2017) se habían registrado 76 casos de esta enfermedad infecciosa, siendo Arcibo y Carolina los municipios con más casos reportados. Los epidemiólogos y epidemiólogas, así como otros expertos en el tema, aseguraron que después del huracán María se registraron tantos casos de leptospirosis que el Gobierno debió haber declarado un brote o epidemia.

Por otro lado, la salud mental de la isla también quedó trastocada. Desde el 20 de septiembre de 2017, hubo más de dos mil llamadas a la línea PAS (Primera Ayuda

Psicosocial), la línea telefónica de emergencia para crisis emocionales de la Administración de Servicios de Salud Mental y Contra la Adicción (ASSMCA). Dicha cifra es el doble del promedio normal para un período de menos de dos meses. Según funcionarios y expertos en salud, el problema de las enfermedades mentales en Puerto Rico ha empeorado. Muchos puertorriqueños y puertorriqueñas que sufrieron los estragos de los huracanes reportan tener sentimientos intensos de depresión y ansiedad por primera vez en sus vidas, y quienes ya tenían alguna enfermedad mental antes de los fenómenos atmosféricos

Figura 1. Llamadas de personas con ideación e intento suicida recibidas por la línea PAS en 2017 y 2018 (Fuente: Administración de Servicios de Salud Mental y Contra la Adicción, Gobierno de Puerto Rico)



Nota: Datos incluyen total de llamadas recibidas y personas atendidas con ideación e intento suicida para los años 2017 y 2018. El periodo inmediato al Huracán María (20 de septiembre de 2017) se presenta en color rojo. Debe tomarse en consideración que luego del huracán se afectaron las comunicaciones en la isla.

Fuente: Datos de la Línea PAS, Oficina de Programas Federales y Planificación, Unidad de Evaluación y Estadísticas. Datos son de clientela atendida en los Centros ASSMCA y no son representativos de la población general de Puerto Rico.

Los datos de la Línea PAS muestran un incremento en las llamadas de personas con ideación suicida justo después del Huracán María, sin embargo, se puede observar que a un año del evento se han vuelto a nivelar estos comportamientos con respecto al año previo al huracán.

Preparado el 5 de abril de 2019

han visto un deterioro en sus condiciones ante la falta de acceso a terapias o medicamentos (Sosa *et al.*, 2018). Incluso una parte importante de la población muestra síntomas de estrés postraumático luego del huracán María. Por ejemplo, de una muestra representativa de niñas, niños y jóvenes del municipio de Loíza, el 70 % expresó estar excesivamente alerta desde el huracán y el 68.6 % indicó haber experimentado por lo menos un síntoma de trastorno de estrés postraumático (Delgado *et al.*, 2018)

Lamentablemente, los suicidios registraron de forma individual un incremento del 43.9 % (Sosa *et al.*, 2018), mientras que el más reciente informe estadístico preparado por la Comisión para la Prevención del Suicidio (CPS) muestra que hubo 83 suicidios tras el paso del huracán María (entre el 20 de septiembre y el 31 de diciembre de 2017), cifra que refleja un aumento de 34 casos en comparación con el mismo período durante el año 2016. En los municipios que recorre la cuenca del estuario de la bahía de San Juan hubo más casos de suicidio en 2017 con respecto a 2016 y 2018 (tabla 2). El informe de la CPS asegura que antes del paso del huracán María ya se observaba un aumento en la cantidad de suicidios, por lo que dicho incremento no puede atribuirse en su totalidad al impacto y a las secuelas de dicho fenómeno natural. Hasta el momento, no hay estudios de investigación al respecto.

Por otro lado, a dos meses del huracán María, el Gobierno de Puerto Rico hizo oficial la cifra de 64 víctimas fatales a causa del fenómeno climático y de la catástrofe. Desde entonces, el número de

TABLA 1.

Tasas de suicidio en Puerto Rico: 2016-2018

Año	Población *	Número de muertes por suicidio	Tasa por 100,000 habitantes
2016	3,406,495	208	6.1
2017	3,325,001	259	7.8
2018	3,195,153	243	7.6

* Según estimados anuales de población del 1 de abril del 2000 al 1 de julio de 2018 (Estimado Intercensal y Vintage 2018). Negociado del Censo de Estados Unidos.

(Fuente: Departamento de Salud, Comisión para la Prevención del Suicidio y Negociado de Ciencias Forenses de Puerto Rico)

TABLA 2.

Casos de suicidio en los municipios de la cuenca del estuario de la bahía de San Juan

Municipio	2016	2017	2018
Bayamón	15	12	11
Cataño	3	2	2
Toa Baja	3	4	3
Trujillo Alto	0	5	6
Guaynabo	4	5	5
San Juan	20	26	20
Canóvanas	0	4	2
Carolina	5	7	7
Loíza	2	0	1

(Fuente: Departamento de Salud, Comisión para la Prevención del Suicidio y Negociado de Ciencias Forenses de Puerto Rico)

muertes atribuidas al desastre ha sido objeto de intenso escrutinio. A raíz de esto surgieron varios estudios independientes y otro encargado por el propio Gobierno de Puerto Rico que, en su mayoría, estiman las muertes en millares. En mayo de 2018, un estudio de la Universidad de Harvard (Kishore *et al.*, 2018), en colaboración con otras instituciones, estimó que entre 793 y 8,498 personas murieron

directa o indirectamente debido al huracán María. Dicho estudio no provee un número exacto de víctimas, pues se basó en una encuesta aleatoria de 3,299 hogares de toda la isla. Sin embargo, el informe sí plantea que la tasa de mortalidad (el número de muertes por cada 1,000 personas) se mantuvo alta durante los meses posteriores al huracán, lo que sugiere que el sufrimiento se prolongó hasta

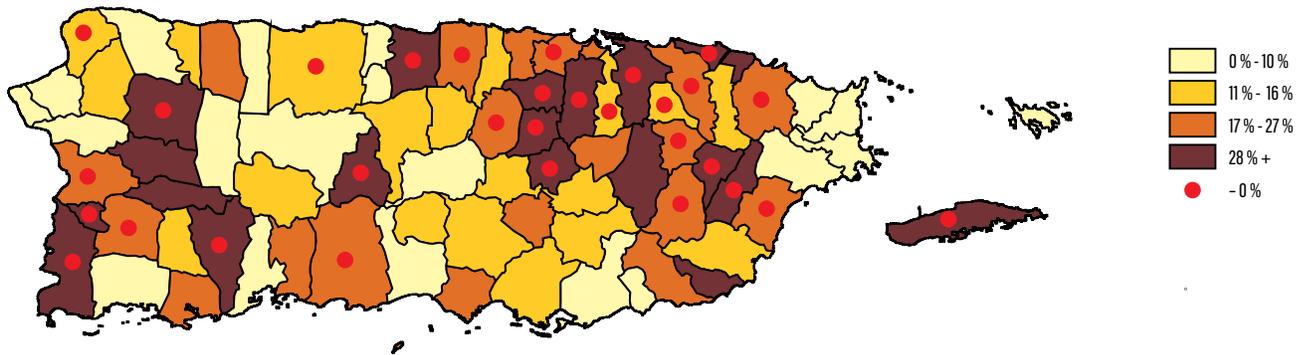


Figura 2. Aumento estimado del porcentaje de la tasa de mortalidad bruta por municipio en Puerto Rico desde septiembre de 2017 hasta febrero de 2018 (Fuente: Milken Institute School of Public Health, 2018)

después del impacto inmediato del fenómeno. El estudio concluye asegurando que alrededor de un tercio de las defunciones ocurridas tras el paso de la tormenta se debieron a la falta de servicios esenciales tales como la electricidad y la atención médica.

El Gobierno de Puerto Rico reconoció que el estimado oficial era muy bajo y encargó una reevaluación de los datos del certificado de defunción individual, que proporciona un número detallado basado en el registro de defunción. Dicho estudio, llevado a cabo por la Universidad George Washington, en colaboración con la Escuela Graduada de Salud Pública del Recinto de Ciencias Médicas, documentó 16,608 muertes desde septiembre de 2017 hasta febrero de 2018, de las cuales aproximadamente el 77 % eran adultos de 65 años o más y el 18 % residía en municipios con un bajo desarrollo socioeconómico. El estudio descubrió que, históricamente, la mortalidad disminuyó lentamente hasta agosto de 2017 y aumentó durante el período comprendido entre septiembre de 2017 y febrero de 2018. En ese mismo período hubo una reducción de la población de cerca del 8 %. Además, la Universidad George Washington

estimó que el exceso de muertes como resultado del huracán María, tomando en cuenta la emigración, fue de 1,271 muertes de septiembre a octubre 2017 y de 2,098 muertes de septiembre a diciembre del mismo año. El total de muertes en exceso para el período completo del estudio (septiembre de 2017 a febrero de 2018) fue de 2,975 personas.

El informe de la Universidad George Washington indicó que todas las zonas de la isla se vieron afectadas, pero el riesgo de muerte fue mayor y persistente para las poblaciones que vivían en municipios de bajo desarrollo. También aseguró que el estimado oficial del Gobierno —64 muertes— era muy bajo, principalmente porque solo consideraba las muertes directamente atribuibles al huracán, por ejemplo, aquellas causadas por colapso estructural, escombros voladores, inundaciones y ahogamientos, etc. Asimismo, advirtió que muchos médicos no estaban orientados sobre las prácticas de certificación de muerte apropiadas después de un desastre natural. Este factor, junto con la falta de comunicación entre el Gobierno de Puerto Rico, limitó el monitoreo de las muertes relacionadas con el huracán.



Por otro lado, durante el último año, periodistas del Centro de Periodismo Investigativo, en colaboración con Quartz y Prensa Asociada, se han encomendado a la ardua tarea de recopilar cientos de historias de familias puertorriqueñas que alegan que sus parientes murieron a causa del huracán María y que el Gobierno pasó por alto estas muertes. Los nombres de las personas fallecidas se compararon con la base de datos de mortalidad del Registro Demográfico de Puerto Rico para los años 2014 a 2017 luego de que el CPI ganara una demanda para que estos registros sean públicos. Las tres entidades periodísticas identificaron 504 víctimas fatales del huracán María, pero los certificados de defunción del Registro Demográfico no hacen referencia al fenómeno atmosférico. No obstante, el informe elaborado por el CPI, Quartz y Prensa Asociada alega que la mayoría de las muertes en la base de datos del proyecto no habían sido causadas por fuertes vientos o inundaciones, sino que fueron consecuencia de la falta de electricidad, agua potable y acceso a instalaciones y suministros médicos después del huracán. La información cualitativa y detallada recopilada en las entrevistas a los familiares de las personas fallecidas, conocidas como “autopsias verbales”, es la única fuente que existe sobre los mecanismos que dispararon las causas clínicas de muerte que documenta el Registro Demográfico y que van a la médula de la relación del alza en muertes con circunstancias desencadenadas por el huracán (Sosa *et al.*, 2018).

Sin embargo, no todo fue lamentable. Días después del huracán

María, muchas personas salieron a la calle a limpiar escombros y repartir comida o cajas de agua embotellada. Además, muchas comunidades se organizaron e hicieron censos de las necesidades de las familias con niñas y niños, así como de las personas mayores que vivían solas. La ciudadanía y las entidades sin fines de lucro, o el llamado “tercer sector”, fueron vitales en la recuperación de Puerto Rico. Ante la emergencia social y económica provocada por el huracán y el mal manejo de la situación, las organizaciones no gubernamentales (ONG), tanto comunitarias como de base de fe, respondieron con agilidad para proveer asistencia, servicios y recursos a las personas, comunidades y familias más vulnerables. Con sus acciones, las ONG movilizaron a miles de voluntarios y se comprometieron en la búsqueda de una recuperación que no solo superara la respuesta ante la emergencia, sino que se convirtiera en un proyecto perdurable y capaz de generar un cambio sostenible en las comunidades después de un desastre. En los municipios que pertenecen a la cuenca del estuario de la bahía de San Juan hay alrededor de 156 organizaciones no gubernamentales que establecieron asociaciones, crearon redes de apoyo y movilizaron recursos. Durante todo el período de crisis y recuperación, estas ONG se convirtieron en actores estratégicos para el empoderamiento y la resiliencia de las comunidades.

El paso de los huracanes Irma y María trastocó los órdenes de la cotidianidad del pueblo puertorriqueño. El desastre durante los meses siguientes fue de tal mag-

nitud que cambió el rostro de la muerte en Puerto Rico, modificando la demografía y las principales causas de muerte del país. El huracán visibilizó y agudizó la pobreza y la crisis social que enfrenta Puerto Rico. De la misma manera, evidenció la falta de preparación, manejo y voluntad política por parte de la Administración para enfrentar catástrofes. La autogestión y participación de las organizaciones no gubernamentales en la agenda de recuperación y reconstrucción presenta una gran oportunidad para fortalecer a las comunidades e instituciones en la preparación y la acción ante crisis futuras. Luego del huracán María vimos un tercer sector organizado y empoderado, en alianza con comunidades, escuelas públicas y entidades con base de fe de todo el país. La lección más importante de este suceso es que debemos escuchar a las personas más afectadas y vulnerables a la hora de diseñar un plan de respuesta a estos fenómenos climáticos y reforzar las ONG, ya que estas desempeñan un papel fundamental en la reconstrucción resiliente de Puerto Rico.



ESTUARIO



EFFECTOS DE UN TERREMOTO EN EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

POR PEDRO A. GELABERT MARQUÉS

El estuario de la bahía de San Juan está localizado tan solo 75 millas al sur de la falla de la Trinchera de Puerto Rico, una fosa de 27,366 pies de profundidad en el océano Atlántico. Al sur de la trinchera corre la falla Septentrional y al sur de San Juan está la Gran Zona Norteña de Fallas de Puerto Rico, en el valle del Turabo. El estuario se encuentra ubicado entre estas zonas de debilidad de la corteza terrestre. En la falla de la Trinchera ocurrió el epicentro de un terremoto de 7.3 de magnitud en 1787. Otro terremoto de 7.5 de magnitud se registró en 1943 en la falla Septentrional al norte de Isabela. El estuario es propenso a actividades sísmicas con magnitudes de 7.5 (según la escala Richter) y solo la distancia de su epicentro y su profundidad determinan la intensidad del sismo en San Juan. Los efectos principales que pueden tener los movimientos telúricos en la cuenca hidrográfica del estuario son los siguientes: (1) amplificación de la onda sísmica, (2) licuación o licuefacción del terreno, (3) deslizamientos del terreno y (4) maremotos o tsunamis.

La amplificación de una onda sísmica surge cuando la onda pasa de una masa dura de roca sólida a una blanda de sedimentos o material de relleno. La onda se desplaza más fácilmente, amplificándose, y el terremoto se siente más fuerte, propiciando que edificios u obras de infraestructura se agrieten, derrumben o colapsen. El hundimiento del terreno modifica la configuración de la costa con cambios en la elevación del nivel freático, la composición de los humedales y el hábitat de la vida silvestre que habita en el humedal. Las sacudidas súbitas afectan los edificios y obras de infraestructura. El sistema eléctrico deja de funcionar automáticamente como medida preventiva. Las tuberías soterradas rotas impactan los sistemas de abastecimiento de agua, gasoductos, comunicaciones soterradas y alcantarillados sanitarios y pluviales al aumentar el reflujos e inundarse las áreas bajas. Los edificios histó-

ricos sufren efectos adversos. La economía del área se perjudica por los daños causados a la industria, el comercio, el turismo y la recreación. El empleo y el comportamiento humano de la población en el área metropolitana de San Juan se ven afectados durante el sismo y su subsiguiente restauración.

En Puerto Rico existen 12 zonas históricas designadas por la Junta de Planificación con el endoso del Instituto de Cultura Puertorriqueña (Suárez, 2019). Sobre 5,000 estructuras en toda la isla han sido identificadas como de valor patrimonial por el Instituto de Cultura Puertorriqueña y/o el Registro Nacional de Lugares Históricos de Estados Unidos (Para la Naturaleza, 2019).

Tras el paso de los huracanes Irma y María, se documentaron en la isla un total de 4,882 estructuras cuyos daños eran mayormente reparables (Para la Naturaleza, 2019). A pesar de la fuerza de los ciclones, menos del 10 % de las estructuras históricas sufrieron daños graves, lo que evidencia las buenas técnicas de construcción empleadas por nuestros antepasados. Según los datos recopilados, 117 estructuras experimentaron daños mayores (60-90 %), perdiendo techos y paredes, y solo 27 colapsaron. En el área de Miramar se documentaron 800 estructuras históricas, de las cuales 42 sufrieron daños, mientras que en Sagrado Corazón se documentaron 188 estructuras históricas, de las cuales 4 sufrieron daños.

El efecto de la licuación o licuefacción ocurre en áreas llanas bajas saturadas con agua subterránea, terrenos pantanosos o áreas cubiertas de relleno. El nivel freático asciende a la superficie del terreno, manteniendo las partículas del suelo en suspensión, burbujeando en la superficie del terreno y provocando que las estructuras u obras de infraestructura colapsen al volcarse hacia un lado debido al asentamiento diferencial de los cimientos sobre una base blanda. La licuefacción está determinada por la relación entre la intensidad del movimiento del terreno y la resistencia a su penetración. Ocurre un proceso en que el terreno se comporta como fluido denso o arena movediza, reduciéndose su capacidad de carga. Al estar saturado de agua, el suelo pierde resistencia

y, con la sacudida del terremoto, la estructura pierde su estabilidad. Los edificios y la infraestructura flotan sobre un fango. El sedimento se desmorona y el agua subterránea fluye hacia la superficie, burbujeando a través de los vanos entre los granos de arena. La licuación puede ocurrir en terrenos arenosos poco consolidados y hasta en suelos arcillosos de lechos de río, playas, dunas, áreas de acumulación de arena y sedimentos arrastrados por el viento o la escorrentía del agua.

El movimiento del terremoto en terrenos inestables puede causar deslizamientos, desprendimientos y derrumbes. Un deslizamiento es un movimiento repentino de materiales inestables en una pendiente empinada del terreno. Los deslizamientos incluyen desprendimientos de rocas fracturadas o sueltas y/o la erosión de la escorrentía sobre suelos inestables. Los lugares propensos a deslizamientos son taludes en pendientes muy empinadas, pendientes de materiales sueltos, relieves fisiográficos altos inestables, taludes de suelos compuestos por materiales sueltos o con compactación pobre, áreas propensas a desestabilizarse por la acción de la erosión causada por la escorrentía del agua pluvial, zonas con vegetación escasa y zonas con alteraciones humanas, como proyectos de construcción que requieren excavaciones del terreno.

Un efecto costero devastador son los maremotos o tsunamis causados por los movimientos telúricos. Los tsunamis se originan por los movimientos verticales de una falla en el fondo del mar, que provocan una perturbación vertical en el lecho marino generando una serie de olas que se desplazan tierra adentro e inundan los terrenos costeros. Estos tsunamis, que también pueden originarse por deslizamientos submarinos, afectan gran parte del área costanera.

El Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción (NIBS), en colaboración con la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), desarrollaron el programa Hazards in the United States (HAZUS) para estimar las pérdidas por deformaciones terrestres. La licuefacción causada por terremotos según HAZUS utiliza fórmulas matemáticas e información de edificios, geología local, localización y tamaño de datos del potencial económico de los terremotos, así como cualquier otra información disponible, para generar estimados de pérdidas por terremotos. Estos



estimados proveen la base fundamental para desarrollar políticas públicas de mitigación y aprobar planes de preparación y respuesta a emergencias, así como planes para el alivio y la recuperación después del desastre. HAZUS produce tres niveles de precisión de pérdidas estimadas basadas en los datos disponibles: (1) *Default Data Analysis* o análisis de datos predeterminados, (2) *User-Supplied Data Analysis* o análisis de datos generados por usuarios y (3) *Advanced Data and Models Analysis* o análisis avanzado de datos y modelos. El primero utiliza información general de la base de datos nacionales de HAZUS para producir estimados generales de pérdidas, mientras que el segundo y el tercero requieren de un inventario de información más extenso para producir niveles precisos de los estimados de pérdidas.

El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), en colaboración con la Junta de Planificación de Puerto Rico, creó un mapa digital para el área metropolitana de San Juan clasificando las áreas conforme a su susceptibilidad a la licuefacción. Este mapa de licue-

facción, que se desarrolló utilizando dos metodologías diferentes, contiene las capas de datos necesarias para implantar el programa HAZUS en Puerto Rico con un nivel de precisión de 2 o 3.

La metodología HAZUS califica las unidades geofísicas según su susceptibilidad a la licuefacción, desde muy baja hasta muy alta, conforme al sistema de clasificación de Youd y Perkins (1978) descrito en *Earthquake Loss Estimation Methodology: HAZUS Technical Manual*, el cual utiliza la edad geológica, el ambiente de deposición y el tipo de material que compone la unidad geológica. El método empleado por Bachhuber y Hengesh (1999) en la municipalidad de San Juan se derivó de dicho sistema, pero incluye datos subterráneos tales como las profundidades del agua subterránea, las variaciones litológicas según la profundidad y las propiedades geotérmicas de las unidades geológicas. Las zonas de igual susceptibilidad a la licuefacción fueron agrupadas y delineadas usando la escala 1:20,000 en los mapas del USGS para el área metropolitana de San Juan.

La tabla 1 muestra la relación entre la probabilidad de licuefacción y la aceleración máxima horizontal —donde PGA representa el *peak horizontal ground acceleration* o pico de aceleración horizontal del terreno— para cinco categorías de susceptibilidad clasificadas desde muy baja hasta muy alta, según se estipula en el manual técnico de HAZUS (National Institute of Building Sciences [NIBS], 1997).

La tabla 2 incluye un listado de la distribución de susceptibilidad a la licuefacción de las unidades geológicas en el área metropolitana de San Juan.

TABLA 1.

Relación de la probabilidad condicional para categorías de susceptibilidad a la licuefacción

CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD			P [LICUEFACCIÓN PGA = a]
Muy alta	<i>Very High</i>	VH	$0 \leq 9.09a - 0.82 \leq 1.0$
Alta	<i>High</i>	H	$0 \leq 7.67a - 0.92 \leq 1.0$
Moderada	<i>Moderate</i>	M	$0 \leq 6.67a - 1.0 \leq 1.0$
Baja	<i>Low</i>	L	$0 \leq 5.57a - 1.18 \leq 1.0$
Muy baja	<i>Very Low</i>	VL	$0 \leq 4.16a - 1.08 \leq 1.0$
Ninguna	<i>None</i>	N	0.0

(Fuente: NIBS, 1997)

TABLA 2.

Susceptibilidad a la licuefacción de depósitos sedimentarios

Tipo de depósito	Distribución general de depósitos sin cohesión	Los sedimentos sin cohesión, cuando están saturados, son susceptibles a licuefacción por edad del depósito.			
		Moderno < 500 años	Holoceno < 11 ka	Pleistoceno 11 ka - 2 Ma	Pre-Pleistoceno < 2 Ma
(a) Depósitos continentales					
Cauce de río	Localmente variable	Muy alto	Alto	Bajo	Muy bajo
Llanura de inundación	Localmente variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Abanico aluvial y llanura	Extendido	Moderado	Bajo	Bajo	Muy bajo
Terraza marina y llanura	Extendido	-	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Delta y abanico de delta	Extendido	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Lacustre y playa	Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Coluvial	Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Talus	Extendido	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Dunas	Extendido	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Loes	Variable	Alto	Alto	Muy bajo	Desconocido
Till glacial	Variable	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Toba	Raro	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Tephra	Extendido	Alto	Alto	-	-
Suelos residuales	Raro	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Senkha	Localmente variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
(b) Zona costanera					
Delta	Muy alto	Muy alto	Alto	Bajo	Muy bajo
Estuario	Localmente variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Playa					
Olas de energía alta	Extendido	Moderado	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Olas de energía baja	Extendido	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Lagunas	Localmente variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Frente de playa (foreshore)	Localmente variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
(c) Artificial					
Relleno sin compactar	Variable	Muy Alto	-	-	-
Relleno compacto	Variable	Bajo	-	-	-

(Fuente: Youd y Perkins, 1978)

En el área metropolitana de San Juan, ambos grupos de científicos, Youd y Perkins (1978) y Bachhuber y Hengesh (1999), identificaron las unidades geológicas con alta susceptibilidad a la licuefacción durante eventos de terremoto para (1) depósitos pantanosos, (2) unidades aluviales pequeñas más jóvenes de 11,000 años y (3) depósitos de deslizamientos pequeños de 11,000 años o depósitos sin compactar. Cuando estos depósitos están saturados de agua, los sedimentos se encuentran pobremente consolidados y tienen escasas propiedades cohesivas.

Los depósitos pantanosos generalmente se limitan a la zona costanera, mientras que los depósitos aluviales clasificados con alta o muy alta susceptibilidad se limitan a cauces de ríos trenzados (*braided river channels*), valles aluviales estrechos, meandros abandonados y cauces recientemente rellenados con grava y arena. Los depósitos de deslizamientos clasificados como de alta susceptibilidad a la licuefacción son menores en extensión territorial y se limitan al terreno interior cerca del borde sur del área metropolitana de San Juan.

La clasificación de la susceptibilidad a la licuefacción de los de-

pósitos pantanosos en la municipalidad de San Juan se obtuvo de Bachhuber y Hengesh (1999). La mayoría de los depósitos artificiales están cerca de la costa y son el resultado del relleno de los pantanos. Los depósitos artificiales varían de baja a muy baja susceptibilidad a la licuefacción según el grado de compactación de los sedimentos. Los depósitos artificiales con compactación nula o escasa tienen una susceptibilidad a la licuefacción de alta a muy alta, mientras que a los depósitos artificiales bien compactados se les asigna una baja susceptibilidad a la licuefacción. Por su parte, los depósitos artificiales con un grado medio de compactación se

TABLA 3.

Daños probables causados por un terremoto según su magnitud

MAGNITUD DEL TERREMOTO (ESCALA RICHTER)	DAÑO PROBABLE CAUSADO POR EL TERREMOTO
Terremoto micro (menos de 2.0)	Los movimientos no son perceptibles por las personas y solo quedan registrados por sismógrafos. Generan muy pocos daños y ocurren de manera continua: miles cada día.
Terremoto menor (2.0 a 2.9)	Los movimientos son percibidos, aunque muy débilmente, solo por algunas personas. Ocurren con una frecuencia de un millón cada año.
Terremoto menor (3.0 a 3.9)	Los movimientos son perceptibles y pueden afectar lámparas y abanicos, pero casi nunca provocan daños. Ocurren con una frecuencia de 100,000 al año.
Terremoto ligero (4.0 a 4.9)	Es un sismo significativo percibido por mayoría de las personas. Puede provocar agrietamiento de paredes. Ocurre con una frecuencia de 10,000 a 15,000 cada año.
Terremoto moderado (5.0 a 5.9)	Es percibido por todas las personas. Puede causar movimientos de muebles, deslizamientos de terreno inestable e incluso algunas muertes. Ocurre con una frecuencia de entre 1,000 y 1,500 anuales.
Terremoto fuerte (6.0 a 6.9)	Es perceptible y provoca daños de moderados a severos, con colapso de edificios e infraestructuras. Ocurre con una frecuencia de entre 100 y 150 cada año.
Terremoto mayor (7.0 a 7.9)	Provoca la destrucción de edificios e infraestructuras, así como una cifra significativa de muertes. Ocurre con una frecuencia de entre 10 y 20 al año.
Terremoto grande (8.0 a 8.9)	Provoca daños importantes en edificios e infraestructuras no diseñados contra los terremotos. Afecta la topografía y suele causar miles de muertes. Ocurre, en promedio, una vez al año.
Terremoto grande (9.0 a 9.9)	Provoca una destrucción casi total con cambios topográficos. Suele causar más de 10,000 muertes. Ocurre con muy poca frecuencia, entre 10 y 50 años.
Terremoto épico (más de 10.0)	Nunca se ha registrado un terremoto de esta magnitud, que causaría una destrucción total, afectaría la topografía y causaría muchas muertes.

consideran moderadamente susceptibles a la licuefacción.

Los estimados de pérdidas no son predicciones precisas, pues se basan en la información científica o de ingeniería disponible. Por consiguiente, el uso de estos datos se limita regionalmente a aplicaciones en las que esta metodología se considera apropiada, aunque siempre con cautela y buen juicio. Sin embargo, cabe señalar que dichos datos no fueron concebidos para utilizarse en mapas con escalas superiores a 1:20,000.

La tabla 3 muestra los posibles daños de un terremoto según su magnitud (escala Richter). Por ejemplo, un terremoto con una magnitud de 3.0 a 4.0 causaría movimientos de lámparas, abanicos o cualquier objeto colgante, mientras que un sismo con una magnitud de entre 4.0 y 5.0 agrietaría paredes de ladrillo, bloques de cemento y algún hormigón armado. Si la magnitud es de 5.0 a 6.0, un terremoto causaría deslizamientos del terreno, así como el movimiento de muebles y equipos eléctricos caseros. Con una magnitud de entre 6.0 y 7.0, un sismo provocaría el colapso de edificios e infraestructuras, como puentes, canales, carreteras, hospitales, etc. Si la magnitud fuera de 7.0 a 8.0, el sismo causaría una destrucción aún mayor de dichas estructuras, afectando túneles y represas, entre otros. Un terremoto con una magnitud superior a 8.0 en la escala Richter causaría daños considerables a las construcciones e infraestructuras existentes. No obstante, cabe señalar que esta tabla solo presenta los posibles daños estimados para tener una idea aproximada de la potencial devastación, por lo que

podrían surgir daños mayores que los expresados. Puesto que los eventos sísmicos se desarrollan en fallas geológicas distintas, con diferentes distancias y profundidades, resulta difícil estimar cuándo sería el próximo terremoto y cuál sería su magnitud, intensidad y localización específica.

La zona cercana a la costa es más vulnerable a los sismos debido a los terrenos blandos y a su susceptibilidad a la licuefacción en terrenos aluviales, deltas y áreas pantanosas, así como alrededor de las lagunas San José, La Torrecilla, Piñones y del Condado, al igual que del caño Martín Peña. El área de la avenida Ponce de León en Santurce es una antigua duna de arena que pierde cohesión cuando está saturada de agua subterránea. La zona del Viejo San Juan está formada por eolianita o roca arenisca compacta, donde los cimientos de los edificios tienen una mejor fundación. Sin embargo, hay que considerar que sus edificios son los más antiguos y fueron construidos con piedra en bloque o ladrillos cementados sin refuerzos de varillas de acero, a diferencia del hormigón armado. Por otra parte, un tsunami podría hacer estragos en casi toda costa debido a la baja elevación del terreno desde Loíza hasta Toa Baja.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

POR BRENDA TORRES BARRETO

Para hablar del impacto del huracán María en Puerto Rico, y de su resiliencia como isla caribeña, debemos conocer el Puerto Rico antes de María. Solo así comprenderemos la razón de las devastadoras secuelas del ciclón. Y solo así podremos evaluar cuán resiliente ha de ser el país para ofrecer soluciones a la crisis humanitaria que atraviesa.

En septiembre de 2017, Puerto Rico estaba sumido en una crisis económica histórica. Su deuda pública rondaba los \$70,000 millones, a los que se sumaba un déficit actuarial de los planes de pensiones del Gobierno equivalente a \$43,000 millones. La economía del país se había estado achicando —y su población, reduciéndose— desde el año 2006 (Ocampo *et al.*, 2016). Esta situación tenía a economistas del mundo entero pendientes de las resoluciones presentadas para apoyar a Puerto Rico, un territorio de Estados Unidos. Además, mantenía a la población en suspenso con respecto a la estabilidad económica del país.

La crisis fiscal se reflejaba en una infraestructura envejecida. Tanto la infraestructura pluvial como la sanitaria se hallaban en condiciones precarias, afectando adversamente los cuerpos de agua en eventos de lluvia copiosa. La infraestructura eléctrica también estaba muy deteriorada. De hecho, la corporación pública a cargo de la generación y distribución de energía se había declarado en quiebra tan solo dos meses antes de la llegada del huracán. Por consiguiente, no contaba con materiales ni empleados suficientes para responder de forma inmediata a un desastre natural (Mufson, 2017).

Si Puerto Rico hubiese llevado a cabo un análisis de riesgos y desarrollado un plan de mitigación contra desastres naturales extremos antes del paso del huracán María, se habría identificado como riesgo principal la realidad económica del país y quizás se habría dado una respuesta más ágil y responsable para apoyar a la población. Desafortunadamente, no fue así. Estos riesgos han vuelto a quedar expuestos como barreras para la reconstrucción y la resiliencia de la isla.

Cuando llegó María, cerca de 419,000 personas vivían en zonas litorales y 2.3 millones habitaban en los 44

municipios costeros de la isla (Díaz y Hevia Rivera, 2017). Estas poblaciones no solo están expuestas a huracanes, sino también a peligros específicos como inundaciones repentinas, crecidas de ríos, tsunamis, deslizamientos de tierra, terremotos y sequías. Dichas amenazas a la estabilidad de las comunidades se relacionan con prácticas no sustentables que han caracterizado el patrón de desarrollo del país, pese a las advertencias sobre los riesgos que conllevan. La construcción en áreas vulnerables tanto en la montaña como en la costa, la escasa inversión en la infraestructura pluvial y sanitaria, el mantenimiento y dragado insuficientes de ríos y canales, así como la desestabilización de las costas mediante la destrucción de dunas de arena y mangles, forman parte de los patrones insostenibles que han contribuido al desastre ecológico, social y económico tras el paso del huracán.

Los científicos en Puerto Rico habían pronosticado esta desafortunada catástrofe a través de modelos que alertaban a entidades públicas y desarrolladores privados sobre la importancia de tomar en cuenta la amenaza del cambio climático en sus estrategias y operaciones para poder adaptarse al futuro (Puerto Rico Climate Change Council, 2013) y fortalecer la resiliencia del país. Sin embargo, las recomendaciones de estos expertos, entre ellos el Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico, no se llevaron a la acción. Desoírlos propició una catástrofe con pérdidas que, según el Gobierno, superaron los \$94,000 millones.

En Puerto Rico no ha habido una campaña dirigida a considerar los datos científicos a la hora de generar políticas públicas que incentiven la prevención, la mitigación y la adaptación, que detengan el desarrollo de proyectos en zonas vulnerables o que prioricen la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Desatender los resultados de los estudios científicos sobre el cambio climático y su inminente impacto sobre la isla dificulta significativamente la reconstrucción sostenible del país. No obstante, desde el tercer sector hasta el Gobierno federal, somos muchas las personas que luchamos por superar estas barreras.

En 2018, cuatro meses después del paso de María y a

siete meses de la temporada de huracanes siguiente, la Autoridad de Energía Eléctrica mantenía sin servicio de electricidad al 40 % de la población del país. Además, miles de familias seguían sin techo y la comunicación era intermitente y, en áreas remotas, inexistente. La calidad del agua potable era cuestionable por la falta de energización de las plantas de tratamiento y la emigración iba en aumento, con el éxodo del 2.6 % de la población solamente en el mes de octubre (Cortés Chico, 2018). A este escenario se sumaban el manejo de la deuda pública y sus implicaciones para los servicios esenciales, la propuesta de un impuesto federal que amenazaba al sector de la manufactura local y el colapso del sistema de salud, del cual se benefician alrededor de medio millón de personas.

Ante dicho escenario, podemos pronosticar un nivel de resiliencia deficiente para Puerto Rico y un nivel de riesgo mayor al que existía antes del 20 de septiembre de 2017. Por lo tanto, paralelamente a la reconstrucción del país y la restauración de sus ecosistemas, es imperativo emprender un proceso no solo de preparación para emergencias, sino también de empoderamiento, para enfrentar las temporadas de huracanes. Como parte del mismo, Puerto Rico podría seguir los patrones ya establecidos por el Programa de Perfiles de Ciudades Resilientes que forma parte del Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). Estas estrategias han sido exitosas en contextos similares a nivel mundial y ayudarían a articular soluciones y resultados más efectivos.

A una escala micro, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ), entidad sin fines de lucro enfocada en la restauración del sistema estuarino en el área metropolitana de Puerto Rico, ha puesto en marcha un proceso de asistencia que recopila información para elaborar planes de mitigación. Su área de estudio abarca 97 millas cuadradas que se extienden desde Toa Baja hasta Loíza. Aparte del alto valor ecológico del sistema de canales, bahía y lagunas de dicha región, estos municipios son la piedra angular del desarrollo económico del país, razón por la cual requieren un apoyo inmediato y comprehensivo para la reconstrucción.

La campaña de asistencia del PEBSJ integra iniciativas de apoyo a la infraestructura verde y gris de esta zona mediante la reforestación y la remoción de escombros. Igualmente, respalda a las comuni-

dades ofreciendo consejería, acceso a agua potable, construcción de techos y actividades de recreación pasiva, además de proveer apoyo a áreas de alto valor turístico, recreativo y ambiental que sufrieron los impactos del huracán María. Asimismo, desde octubre de 2017, se ha recopilado de manera sistemática información sobre los efectos del ciclón. Estos datos no solo alertan inmediatamente a la población sobre el posible impacto a su bienestar, sino que arrojan luz para el desarrollo de planes de mitigación dirigidos a prevenir una crisis como la que vivió el país aquel septiembre. Conviene, por tanto, replicar este modelo de trabajo a lo largo de toda la isla.

Desarrollar planes y estrategias para manejar futuras emergencias, a la vez que se ofrece alivio a la población, puede parecer imposible, pero es necesario. Para lograrlo, se requiere una sociedad civil fuerte, unida y capacitada. Puerto Rico cuenta con esa parte de la ecuación de la resiliencia. Su población y su fibra de base comunitaria ya fueron puestos a prueba en 2017. A horas del paso del huracán, ciudadanos salieron a la calle a socorrerse unos a otros y organizaciones sin fines de lucro adaptaron sus agendas para integrar nuevos servicios en sus planes de trabajo. Ante la ausencia de apoyo gubernamental, el tercer sector sigue asumiendo la responsabilidad de respaldar a las comunidades y, gracias a ello, Puerto Rico ha podido levantarse pese a las vicisitudes.

En la ruta hacia la reconstrucción es importante tomar en cuenta la huella de destrucción que dejó el huracán María. Tenemos una idea bastante clara de las áreas que no son aptas para el desarrollo de proyectos de construcción y de las deficiencias que presenta la infraestructura. Es imperativo asignar presupuesto a una agenda de prevención de riesgos que incentive la acción civil responsable. Como parte de dicha agenda, se debe desarrollar y hacer pública una base de datos sobre los peligros y vulnerabilidades que presenta el país. También es necesario invertir en mantenimiento y mejoras a la infraestructura, eliminar las construcciones en áreas vulnerables y fortalecer la infraestructura natural para mitigar el impacto de los eventos naturales. Esto permitiría a Puerto Rico poner en marcha un plan de vanguardia y vencer el impacto de futuros eventos atmosféricos extremos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adger, W. N., Eakin, H. y Winkels, A. (2009). Nested and networked vulnerabilities to global environmental change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(3), 150-157. <https://doi.org/10.1890/070148>
- Agencia EFE. (27 de diciembre de 2018). La AAA asegura que el agua potable en zona metropolitana no representa riesgo. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/aaaaseguraqueaguapotableenzonametropolitanorepresentariesgo-2467770/>
- Alberti, M. (2008). *Advances in urban ecology: Integrating humans and ecological processes in urban ecosystems*, 93-126. Springer.
- Alvarado León, G. E. (25 de marzo de 2018). El reto del manejo del agua tras el huracán María. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/elretodelmanejodelaguatraselhuracanmaria-2409177/>
- Alvarado León, G. E. (1 de abril de 2018). La AAA pagaría solo la mitad de su deuda. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/laaaapagariasololamitaddesudeuda-2410998/>
- Alvarado León, G. E. (29 de abril de 2018). Contemplan relocalizar la infraestructura crítica de la AEE y la AAA. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/contemplanrelocalizarlainfraestructuracriticade-laeeyla-2418577/>
- Alvarado León, G. E. (28 de agosto de 2018). La AAA amplía evaluación de daños causados por María. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/laaaaampliaevaluaciondedanoscausadospormaria-2443727/>
- Alvarado León, G. E. (13 de febrero de 2019). Los embalses perdieron el 10% de su capacidad tras el huracán. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/losembalsesperdieronel10desucapacidadtraselhuracan-2476459/>
- Amiri, F. (9 de mayo de 2018). *Tras el desastre, los residentes más pobres de San Juan están en riesgo de perder su herramienta vital*. Centro de Periodismo Investigativo. <https://periodismoinvestigativo.com/2018/05/tras-el-desastre-los-residentes-mas-pobres-de-san-juan-estan-en-riesgo-de-perder-su-herramienta-vital/>
- Associated Press. (18 de junio de 2018). *Puerto Rico faces a spike in asthma cases following Hurricane Maria*. NBC News. <https://www.nbcnews.com/storyline/puerto-rico-crisis/puerto-rico-faces-spike-asthma-cases-following-hurricane-maria-n884276>
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (s. f.). *Sistema de alcantarillado*. Gobierno de Puerto Rico. <https://acueductospr.com/sistema-de-alcantarillado>
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (2014). *Cambio climático: estudio de vulnerabilidad*. Gobierno de Puerto Rico.
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (2015). *Cambio climático: plan de adaptación*. Gobierno de Puerto Rico.
- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2008a). *Dynamic itinerary for infrastructure projects. Public policy document*.
- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2008b). *Solid waste management in Puerto Rico: Realities, facts and figures*. Gobierno de Puerto Rico.
- Autoridad de Energía Eléctrica. (2019). *Sistema eléctrico*. Gobierno de Puerto Rico. <https://aeepr.com/es-pr/vision-y-mision/sistema-electrico>
- Ávila Claudio, R. (29 de mayo de 2018). Daño en AAA por María pudo haber afectado la salud y el medioambiente. *Metro Puerto Rico*. <https://www.metro.pr/pr/noticias/2018/05/29/dano-aaa-maria-pudo-haber-afectado-la-salud-medioambiente.html>

- Bachhuber, J. L. y Hengesh, J. V. (1999). *Seismic hazard zonation of greater San Juan area, northern Puerto Rico coastal plain: Final technical report* (USGS 1434-HQ-96-GR-02765). United States Geological Survey, National Earthquake Hazard Reduction Program.
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J. y Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43(4), 466-479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Bauzá Ortega, J. (Ed.). (2013). *Tercer informe de la condición ambiental del estuario de la bahía de San Juan, edición 2013*. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.
- Bauzá Ortega, J. (2015). *San Juan Bay Estuary climate change adaptation plan*. San Juan Bay Estuary Program.
- Bloomberg Opinion Editorial Board. (13 de septiembre de 2017). *After Irma, America should scrap the Jones Act*. Bloomberg. <https://www.bloomberg.com/view/articles/2017-09-13/after-irma-america-should-scrap-the-jones-act>
- Brandeis, T. J., Escobedo, F. J., Staudhammer, C. L., Nowak, D. J. y Zipperer, W. C. (2014). *San Juan Bay Estuary watershed urban forest inventory* (Documento núm. SRS-190). United States Forest Service, Southern Research Station.
- Brokaw, N. V. L. y Walker, L. R. (1991). Summary of the effects of Caribbean hurricanes on vegetation. *Biotropica*, 23(4), 442-447.
- Brundiers, K. y Eakin, H. C. (2018). Leveraging post-disaster windows of opportunities for change towards sustainability: A framework. *Sustainability*, 10(5), 1390. <https://doi.org/10.3390/su10051390>
- Buhaug, H. y Urdal, H. (2013). An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities. *Global Environmental Change*, 23(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.016>
- Burley, S., Robinson, S. L. y Lundholm, J. T. (2008). Post-hurricane vegetation recovery in an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 85(2), 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.10.003>
- Byrd, A. (18 de junio de 2018). *Asthma rates rise in Puerto Rico following Hurricane Maria*. ColorLines. <https://www.colorlines.com/articles/asthma-rates-rise-puerto-rico-following-hurricane-maria>
- Calidad de Vida Vecinal. (2018). *Marejada histórica 2018*. CVVI Inc. Homeowners Association. <http://cvvioceanpark.com/es/news/marejada-2018/>
- Cámara de Representantes. (16 de mayo de 2018). *Continúa el estudio sobre las estaciones de bombeo en San Juan*. Gobierno de Puerto Rico. <http://www.tucamarapr.org/dnncamara/web/Informaci%C3%B3ndelaC%C3%A1mara/OfertasdeEmpleos/TabId/429/ArtMID/1623/ArticleID/1300/Contin250a-el-estudio-sobre-las-estaciones-de-bombeo-en-San-Juan.aspx>
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2017). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME water quality index User's Manual 2017 update. En *Canadian Environmental Quality Guidelines*, 1999.
- Cardona Olarte, P., Krauss K. W. y Twilley, R. R. (2013). Leaf gas exchange and nutrient use efficiency help explain the distribution of two neotropical mangroves under contrasting flooding and salinity. *International Journal of Forestry Research*, 2013(1), 1-10. <https://doi.org/10.1155/2013/524625>
- Caro González, L. (15 de enero de 2018). Reconstruyen los techos en El Caño Martín Peña [Video]. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/reconstruyenlostechosenelcanomartinpena-2390041/>
- Chen, G. y Sun, W. (2018). The role of botanical gardens in scientific research, conservation, and citizen science. *Plant Diversity*, 40(4), 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2018.07.006>
- Colón Dávila, J. (2 de junio de 2018). Reconocen la vulnerabilidad en la AAA. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/reconocenlavulnerabilidadenlaaaa-2425892/>
- Colón Rivera, R. J., Feagin, R. A., West, J. B., López, N. B. y Benítez Joubert, R. J. (2014). Hydrological modification, saltwater intrusion, and tree water use of a *Pterocarpus officinalis* swamp in Puerto Rico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 147, 156-167.

- Comerford, E., Durante, J., Goldsworthy, R., Hall, V., Gooding, J. y Quinn, B. (2018). Motivations for kerbside dumping: Evidence from Brisbane, Australia. *Waste Management*, 78, 490-496.
- Comisión Asesora para un Puerto Rico Resiliente. (2018). *Vivienda. Informe sectorial*. ReImagina Puerto Rico. https://reimaginapuertorico.org/wp-content/uploads/2019/05/Vivienda_Informe_Sectorial_ReImagina_Puerto_Rico_ESP_09.21.2018.pdf
- Comisión de Prevención de Suicidios. (2019). *Estadísticas preliminares de casos de suicidios en Puerto Rico hasta febrero de 2019*. Departamento de Salud de Puerto Rico.
- Cortés Chico, R. (26 de diciembre de 2017). La AAA hace malabares para tratar el agua usada. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/laaaahacemalabaresparatratarelaguausada-2384996/>
- Cortés Chico, R. (14 de enero de 2018). Uno de cada 38 boricuas emigró en octubre. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/unodecada38boricuasemigroenoctubre-2389832/>
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C. y La Roe E. T. (1979). *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States* (Publicación núm. FWS/OBS-79/31), 129. United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Daly, C., Helmer E. H. y Quiñones, M. (2003). Mapping the climate of Puerto Rico, Vieques and Culebra. *International Journal of Climatology*, (23)11, 1359-1381. <https://doi.org/10.1002/joc.937>
- Delgado, L., Maldonado, N. y Rosa, K. (2018). *Juventud post María: indicadores del trastorno de estrés postraumático, factores de riesgo y factores protectores en jóvenes de Loíza luego del huracán María, a junio 2018* [Tesis de maestría]. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.
- Departamento de la Vivienda. (14 de junio de 2018). *Puerto Rico Disaster Recovery Action Plan* [Borrador]. Gobierno de Puerto Rico. <https://www.cdbg-dr.pr.gov/en/action-plan/>
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (Septiembre de 2008). Bosques de Puerto Rico: Bosque Estatal de Piñones. *Hojas de Nuestro Ambiente* (Documento núm. P-032) [Hojas educativas]. Gobierno de Puerto Rico. <http://www.drna.pr.gov/documentos/p-032-de-septiembre-de-2008/>
- Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico. (2016). *Plan de manejo para la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado*. Gobierno de Puerto Rico. <http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2016/03/Plan-de-Manejo-para-la-RNELC-Final.pdf>
- Díaz, E. L. y Hevia Rivera, K. M. (Eds.). (2017). *El estado de la costa de Puerto Rico 2017*. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, Programa de Manejo de la Zona Costanera. <https://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/08/EstadoDeLaCostaPR-2017.pdf>
- Dickerson, C. (14 de noviembre de 2017). Una crisis de salud mental acecha a Puerto Rico. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/es/2017/11/14/espanol/america-latina/puerto-rico-tesis-salud-mental-maria-suicidios.html>
- Eakin, H. (2010). What is vulnerable? En J. Ingram, P. J. Ericksen, P. J. y D. Liverman (Eds.), *Food security and global environmental change* (pp. 78-86). Earthscan.
- Eakin, H., Bojórquez Tapia, L. A., Janssen, M. A., Georgescu, M., Manuel Navarrete, D., Vivoni, E. R., Escalante, A. E., Baeza Castro, A., Mazari Hiriart, M. y Lerner, A. M. (2017). Opinion: Urban resilience efforts must consider social and political forces. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(2), 186-189. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620081114>
- Ehrenfeld, J. G. (2000). Evaluating wetlands within an urban context. *Urban Ecosystems*, 4(1), 69-85.
- El Nuevo Día. (22 de agosto de 2018). Elí Díaz da las cifras de las personas que aún están sin agua tras María [Video]. <https://www.elnuevodia.com/videos/elidiazdalascifrasdelaspersonasqueaunestansinaguatrasmaria-video-249286/>
- Erwin, K. L. (2009). Wetlands and global climate change: The role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management*, 17(1), 71-84.

- Ewell, J. J. y Whitmore, J. L. (1973). *The ecological life zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands* (Documento núm. ITF-18). United States Department of Agriculture, U.S. Forest Service, Institute of Tropical Forestry.
- Farber, S., Costanza, R., Childers, D. L., Erickson, J., Gross, K., Grove, M., Hopkinson, C. S., Kahn, J., Pincetl, S., Troy, A., Warren, P. y Wilson, M. (2006). Linking ecology and economics for ecosystem management. *BioScience*, 56(2), 121-133.
- Federal Emergency Management Agency. (2018a). *Mitigation assessment team report: Hurricanes Irma and Maria in Puerto Rico* (Documento núm. FEMA P-2020). United States Department of Homeland Security.
- Federal Emergency Management Agency. (2018b). *Public assistance program and policy guide* (Documento núm. FP-104-009-2). United States Department of Homeland Security. <https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/111781>
- Feng, Y., Negrón Juárez, R. I., Patricola, C. M., Collins, W. D., Uriarte, M., Hall, J. S., Clinton, N. y Chambers, J. Q. (2018). Rapid remote sensing assessment of impacts from Hurricane Maria on forests of Puerto Rico. *PeerJ Preprints* 6:e26597v1. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.26597v1>
- Ferguson, C. M., Coote, B. G., Ashbolt, N. J. y Stevenson, I. M. (1996). Relationships between indicators, pathogens and water quality in an estuarine system. *Water Research*, 30(9), 2045-2054. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(96\)00079-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(96)00079-6)
- Fisher, J. I. y Horowitz, A. I. (2016). *Expert report: State of PREPA's system, load forecast, capital budget, fuel budget, purchased power budget, operations expense budget*. Puerto Rico Energy Commission.
- French, C. E. (2012). *Concentrations of Enterococci in relation to rainfall in Sutherland Shire catchments* [Tesis de bachillerato, University of Wollongong]. <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=thsci>
- G-8, Inc. (s. f.). *Hurricane Maria: From tarps to roofs in Puerto Rico* (Proyecto Núm. 30603). GlobalGiving. <https://www.globalgiving.org/projects/from-tarps-to-roofs-hurricane-maria-puerto-rico/>
- García Bayón, J. G. (2019). *Changes in urban ecosystem services and tree structural values before and after Hurricane María in Puerto Rico* [Tesis de bachillerato]. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.
- García Canclini, N. y Urteaga Castro Pozo, M. (Coords.). (2011). Cultura y desarrollo: una visión distinta de los jóvenes. *Avances de Investigación*, 65. <https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2014/08/AI65.pdf>
- Garvin, G. (26 de septiembre de 2017). El aeropuerto de San Juan, un infierno después del huracán María. *El Nuevo Herald*. <https://www.elnuevoherald.com/ultimas-noticias/article175412701.html>
- Gobierno de Puerto Rico. (2018a). *Transformación e innovación tras la devastación: un plan de recuperación económica y de desastres para Puerto Rico* [Versión preliminar]. <http://www.p3.pr.gov/assets/puertorico-draft-plan-espanol.pdf>
- Gobierno de Puerto Rico. (2018b). *Transformation and innovation in the wake of devastation: An economic and disaster recovery plan for Puerto Rico*. <http://www.p3.pr.gov/assets/pr-transformation-innovation-plan-congressional-submission-080818.pdf>
- Gómez Álvarez, S. (27 de septiembre de 2017). Usarán aeropuerto de Aguadilla para descongestionar el tráfico aéreo. *El Vocero*. https://www.elvocero.com/economia/usar-n-aeropuerto-de-aguadilla-para-descongestionar-el-tr-fico/article_f299e828-a3a3-11e7-abfd-9fb2f50460eb.html
- González, J. (21 de noviembre de 2017). La AAA apostara a la energía renovable. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/negocios/economia/nota/laaaaapostaraalaenergiarenovable-2375967/>
- Guerrero Pérez, C. R. (5 de abril de 2019). *Disaster response and recovery strategies: Impacts and solutions* [Presentación]. 2019 Puerto Rico Recycling Partnership Meeting, San Juan, Puerto Rico. https://drive.google.com/file/d/1jRORE485jBEUAWQ7cg_CcxWZfb-uQjQ/view
- Gurney, K. (8 de noviembre de 2017). Temen un brote de enfermedades en Puerto Rico por el agua de mala calidad. *El Nuevo Herald*. <https://www.elnuevoherald.com/noticias/estados-unidos/article183566301.html>

- Heredia Rodríguez, C. (14 de junio de 2018). *El sistema de agua potable de Puerto Rico vuelve a la normalidad con lentitud*. Kaiser Health News. <https://khn.org/news/el-sistema-de-agua-potable-de-puerto-rico-vuelve-a-la-normalidad-con-lentitud/>
- Hernández Acosta, J. (2016). *Emprendimiento creativo*. La Contraeditorial.
- Hernández Delgado, E. A., Toledo Hernández, C., Ruíz Díaz, C. P., Gómez Andújar N. X., Medina Muñiz, J. L. y Suleimán Ramos, S. E. (2018). *Seagrass rapid assessment of Hurricane María impacts. Northeast Reserves System Habitat Focus Area (NER-HFA), Culebra Island, Puerto Rico* [Informe final presentado ante el Departamento de Seguridad Nacional y el Departamento del Interior de Estados Unidos]. Sociedad Ambiente Marino. <http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2018/06/Culebras-seagrass-assessment-after-hurricane-Maria-SAM-compressed.pdf>
- Hutto, R. L., Pletschet, S. M. y Hendricks, P. (1986). A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *The Auk*, 103(3), 593-602. <https://doi.org/10.1093/auk/103.3.593>
- Ichinose, D. y Yamamoto, M. (2011). On the relationship between the provision of waste management service and illegal dumping. *Resource and energy economics*, 33(1), 79-93.
- Inglés Serrano L., Rodríguez Nieves B. y Lorenzo Paulino, H. (2017). *Erosión de costas en Puerto Rico luego del huracán María: análisis utilizando fotografías aéreas*. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. http://gers.uprm.edu/geol4048/pdfs/Ingles_Rodriguez_Lorenzo_2017.pdf
- Inter News Service. (5 de marzo de 2018). *Loíza arrasada por las fuertes marejadas*. NotiCentro Wapa TV. https://www.wapa.tv/noticias/locales/loiza-arrasado-por-las-fuertes-marejadas_20131122424437.html
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press.
- Jennings, V., Larson, L. y Yun, J. (2016). Advancing sustainability through urban green space: Cultural ecosystem services, equity, and social determinants of health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(2), 196. <https://doi.org/10.3390/ijerph13020196>
- Junta de Calidad Ambiental. (1997). *Reglamento para el manejo de los desperdicios sólidos no peligrosos*. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico.
- Junta de Planificación. (2008). *Declaración de impacto ambiental estratégica. Área de planificación especial y Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas*. Gobierno de Puerto Rico.
- Junta de Planificación. (2018). *Código de Construcción 2018: Proceso de revisión y adopción*. Gobierno de Puerto Rico. <http://jp.pr.gov/Portals/0/Construction%20Code/ICC%20Codes/Orientaci%C3%B3n%20C%C3%B3digo%20de%20Construcci%C3%B3n%202018.pdf?ver=2018-03-06-211259-773>
- Kishore, N., Marqués, D. Mahmud, A., Kiang, M., Rodríguez, I., Fuller, A., Ebner, P., Sorensen, C., Racy, F., Lemery, J., Maas, L., Leaning, J., Irizarry, R. A., Balsari, S. y Buckee, C. O. (2018). Mortality in Puerto Rico after Hurricane Maria. *The New England Journal of Medicine*, 379, 162-170. <https://doi.org/10.1056/NEJMs1803972>
- Kistemann, T., Classen, T., Koch, C., Dangendorf, F., Fischeder, R., Gebel, J., Vacata, V. y Exner, M. (2002). Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(5), 2188-2197. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.5.2188-2197.2002>
- Kondo, M. C., Sharma, R., Plante, A. F., Yang, Y. y Burstyn, I. (2015). Elemental concentrations in urban green stormwater infrastructure soils. *Journal of Environmental Quality*, (45)1, 107-118. <https://doi.org/10.2134/jeq2014.10.0421>
- Kwasinski, A. (14 al 17 de octubre de 2018). *Effects of Hurricane Maria on renewable energy systems in Puerto Rico 2018* [Ponencia]. 7th International Conference on Renewable Energy Research Applications, París, Francia. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2018.8566922>
- Lambs, L., Bompoy, F., Imbert, D., Corenblit, D. y Dulormne, M. (2015). Seawater and freshwater circulations through coastal forested wetlands on a Caribbean island. *Water*, 7(8), 4108-4128. <https://doi.org/10.3390/w7084108>

- Ley 11 de 1995. Ley para enmendar la Ley Núm. 21 de 1969. 19 de enero de 1995. Leyes de Puerto Rico. <http://www.bvirtual.ogp.pr.gov/ogp/Bvirtual/leyesreferencia/PDF/Ambientales/21-1969/21-1969.pdf>
- Ley 21 de 1969. Ley para Castigar a Toda Persona que Lance Desperdicios en Sitios Públicos o Privados. 4 de junio de 1969. Leyes de Puerto Rico. <http://www.bvirtual.ogp.pr.gov/ogp/Bvirtual/leyesreferencia/PDF/Ambientales/21-1969/21-1969.pdf>
- Ley 36 de 2015. Ley del Programa Contacto Verde. 23 de marzo de 2015. Leyes de Puerto Rico.
- Ley 70 de 1992. Ley para la Reducción y el Reciclaje de los Desperdicios Sólidos en Puerto Rico. 18 de septiembre de 1992. Leyes de Puerto Rico.
- López Abril, M., Vega, M. y Loren, L. (2017). El arte como herramienta para la educación ambiental. *Carpeta Informativa del CENEAM, Julio-Agosto 2017*. https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2017-07-08-abril-vega-loren_tcm30-419306.pdf
- López Maldonado, C. (27 de agosto de 2018). Falta taller como loco en los puentes. *Primera Hora*. <https://www.primera-hora.com/noticias/gobierno-politica/notas/falta-taller-como-loco-en-los-puentes/>
- Low, S. C. (2014). Cumulative effects: Managing natural resources for resilience in the urban context. En V. A. Sample y R. P. Bixler (Eds.), *Forest conservation and management in the Anthropocene: Conference proceedings* (pp. 393-401). United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Lugo, A. E. (2000). Effects and outcomes of Caribbean hurricanes in a climate change scenario. *The Science of the Total Environment*, 262(3), 243-251. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00526-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00526-X)
- Lugo, A. E. (2019). *Social-ecological-technological effects of Hurricane María on Puerto Rico: Planning for resilience under extreme events*. Springer International Publishing.
- Martínez Pérez, J. L. (5 de marzo de 2018). Destrozado el Paseo de la Princesa tras la "histórica marejada" [Fotogalería]. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/fotogalerias/destrozadoelpaseodelaprincesatraslahistoricamarejada-galeria-2404078/>
- Mayer, R. J., Soto Calvente, E. J., Mártir Vargas, H., Rodríguez Sosa, A. G., Bonet Muñiz, S. M., Cabañas Ramos, N. A. y Mayer, R. B. (2018). *Coastal dune and erosion assessment of the North coast of Puerto Rico* [Informe final presentado ante el Departamento del Interior de Estados Unidos]. Universidad de Puerto Rico en Aguadilla, Centro de Conservación y Restauración Ecológica Costera. <http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2018/09/Coastal-Dune-and-Erosion-Assessment-of-the-North-Coast-of-Puerto-Rico.pdf>
- McPhearson, T., Andersson, E., Elmqvist, T. y Frantzeskaki, N. (2015). Resilience of and through urban ecosystem services. *Ecosystem Services*, 12, 152-156. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.012>
- Meléndez Ackerman, E., Trujillo, A., Nytch, C., Ramsey, M., Branoff, B. y Olivero Lora, S. (2018). *Ecological vulnerability of urban green infrastructure to Hurricanes Irma and María in Puerto Rico* [Informe técnico presentado ante el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del Servicio Forestal de Estados Unidos].
- Melia, M. (16 de octubre de 2017). *El medio ambiente, otra víctima del huracán María en PR*. Associated Press News. <https://apnews.com/8be9be8cbc244829b67b4ed8b802b66f>
- Mguni, P., Herslund, L. y Jensen, M. B. (2015). Green infrastructure for flood-risk management in Dar es Salaam and Copenhagen: Exploring the potential for transitions towards sustainable urban water management. *Water Policy*, 17(1), 126-142. <https://doi.org/10.2166/wp.2014.047>
- Milken Institute School of Public Health. (2018). *Ascertainment of the estimated excess mortality from Hurricane María in Puerto Rico*. The George Washington University. <https://prstudy.publichealth.gwu.edu>
- Millenium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. World Resources Institute.
- Mitsch, W. J. y Gosselink, J. G. (2000). *Wetlands* (3.ª ed.). John Wiley & Sons.

- Mora Pérez, N. (5 de octubre de 2017). A falta de agua... camiones oasis. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/afaltadeagua%E2%80%A6camionesoasis-2363694/>
- Mufson, S. (21 de septiembre de 2017). *Puerto Rico's electric company was already \$9 billion in debt before hurricanes hit*. The Star. <https://www.thestar.com/news/world/2017/09/21/puerto-ricos-electric-company-was-already-9-billion-in-debt-before-hurricanes-hit.html>
- National Centers for Environmental Information. (2018a). *Daily summaries station details* [Estación de San Juan]. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets/GHCND/stations/GHCND:RQW00011641/detail>
- National Center for Environmental Information. (2018b). *Daily summaries station details* [Estación de Toa Baja]. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets/GHCND/stations/GHCND:RQC00669415/detail>
- National Institute of Building Sciences. (1997). *Earthquake loss estimation methodology: HAZUS technical manual*. United States Federal Emergency Management Agency, National Institute of Building Sciences.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019a). *A broad scale assessment of seagrass physical disturbance after Hurricanes Irma and Maria*. United States Department of Commerce. http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2018/07/FEMA_Assessment_Seagrass_NOAA_RC.pdf
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019b). *Status of Puerto Rico's coral reefs in the aftermath of Hurricanes Irma and Maria*. United States Department of Commerce. <http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2018/06/Coral-Assessment-Report.pdf>
- National Research Council. (1992). *Restoration of aquatic ecosystems: Science, technology and public policy*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1807>
- National Resources Defense Council, Asociación Nacional de Derecho Ambiental y El Puente: Enlace Latino de Acción Climática América Verde. (2017). *Threats on tap: Drinking water violations in Puerto Rico* (Documento núm. IP: 17-02-A). National Resources Defense Council.
- National Weather Service. (2017). *Major Hurricane Maria – September 20, 2017: Waves and surge*. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.weather.gov/sju/maria2017>
- National Weather Service. (2018). *Historical Swell Event – March 4-7, 2018*. National Oceanic and Atmospheric Administration. https://www.weather.gov/sju/swell_mar2018
- Nazario Muñoz, F. (2006). Revisión histórica crítica del manejo de los residuos sólidos en Puerto Rico. *Revista de Administración Pública*, 39(2), 139-163.
- Nieves Rodríguez, E. (2018). *Geografía y aves: una oportunidad de hacer ciencia ciudadana y promover la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas urbanos*. <http://bit.ly/GeografiayAves>
- Noble, R. T., Weisberg, S. B., Leecaster, M. K., McGee C. D., Dorsey, J. H., Vainik, P. y Orozco-Borbón, V. (2003). Storm effects on regional beach water quality along the southern California shoreline. *Journal of Water and Health*, 1(1), 23-31. <https://doi.org/10.2166/wh.2003.0004>
- Ocampo, J. A., Lamba Nieves, D. y Marxuach, S. M. (2016). *Policy paper: Devising a growth strategy for Puerto Rico*. Center for a New Economy. https://grupocne.org/wp-content/uploads/2016/06/2016_18_DevisingAGrowthStrategyForPR-1.pdf
- Office of Land and Emergency Management. (29 de septiembre de 2017). *La EPA aplica un criterio flexible en cuanto a las normas que rigen las plantas eléctricas móviles importadas para usarse en Puerto Rico y las Islas Vírgenes Estadounidenses*. United States Environmental Protection Agency. <https://archive.epa.gov/epa/newsreleases/la-epa-aplica-un-criterio-flexible-en-cuanto-las-normas-que-rigen-las-plantas.html>
- Office of Water. (2004). *National water quality inventory: Report to Congress* (Documento núm. EPA-841-R-08-001). United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2009_01_22_305b_2004report_2004_305breport.pdf

- Ortiz, M. (14 de mayo de 2019). *Casa de bombas*. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico. <http://drna.pr.gov/oficinas/casa-de-bombas/>
- Palttala, P., Boano, C., Lund, R. y Vos, M. (2012). Communication gaps in disaster management: Perceptions by experts from governmental and non-governmental organizations. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, (20)1, 2-12. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.2011.00656.x>
- Panditharatne, M. (11 de diciembre de 2017). *New data: 2 million Puerto Ricans risk water contamination*. National Resources Defense Council. <https://www.nrdc.org/experts/mekela-panditharatne/over-2-million-puerto-ricans-risk-bacteria-water>
- Para la Naturaleza. (2019). *Restaurando nuestro patrimonio edificado*. Mapa de historia. <https://www.paralanaturaleza.org/mapa-de-historia-recuperando-nuestro-patrimonio-edificado/>
- Pasch, R. J., Penny, A. B. y Berg, R. (2017). *Tropical cyclone report: Hurricane Maria* (Documento núm. AL152017). National Oceanic and Atmospheric Administration, National Hurricane Center. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL152017_Maria.pdf
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (s. f.). *Distribución poblacional en la cuenca del estuario*. Recuperado el 7 de agosto de 2019. <https://estuario.org/distribucion-poblacional-en-la-cuenca-del-estuario/>
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2009). *Segundo informe de la condición ambiental del estuario de la bahía de San Juan*, edición 2009.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (2015). *Plan integral de manejo y conservación del estuario de la bahía de San Juan*.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (13 de diciembre de 2018). *Solicitud de propuesta: artistas residentes del estuario*. <https://web.estuario.org/solicitud-de-propuesta-artistas-residentes-del-estuario-2/>
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2019a). *Guía de la certificación de ciudadanos científicos del estuario*.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2019b). *Resiliencia comunitaria* [Folleto].
- Puerto Rico Climate Change Council. (2013). *Puerto Rico's state of the climate 2010-2013: Assessing Puerto Rico's social-ecological vulnerabilities in a changing climate*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office for Coastal Management, Puerto Rico Coastal Zone Management Program. http://pr-ccc.org/download/PR%20State%20of%20the%20Climate-FINAL_ENE2015.pdf
- Puerto Rico Recycling Partnership. (2013). *Puerto Rico integrated solid waste management (sustainable materials management) implementation options: Overview*.
- Puerto Rico Tourism Company. (12 de diciembre de 2017). *Puerto Rico declares it is officially open for tourism*. PR Newswire.
- Quero, M. J. (2013). *Los públicos de la cultura*. Universidad de Cádiz.
- Ramachandran, S., Ellis, A., Torres Delgado, E., Tanzer, R., Malings, C., Rivera, F., Morales, M., Baumgardner, D, Presto, A. y Mayol Bracero, O. L. (2018). *Air quality in Puerto Rico in the aftermath of Hurricane Maria: A case study on the use of lower-cost air quality monitors*. ChemRxiv. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv.6452828.v2>
- Ramos Santiago, L. E., Villanueva Cubero, L., Santiago Acevedo, L. E. y Rodríguez Meléndez, Y. N. (2014). Green area loss in San Juan's inner-ring suburban neighborhoods: A multidisciplinary approach to analyzing green/gray area dynamics. *Ecology and Society*, 19(2), artículo 4. <https://doi.org/10.5751/ES-06219-190204>
- Ramsar Convention Bureau (1990). *A directory of wetlands of international importance*.
- Resilient Puerto Rico Advisory Commission. (2018). *Natural infrastructure. Sector report*. Reimagina Puerto Rico.
- Revilla Castro, J., Martín, P. y De Castro, C. (30 de junio al 1 de julio de 2016). *Resiliencia y acción social: la construcción cultural y colectiva del afrontamiento de la crisis económica* [Ponencia]. XII Congreso Español de Sociología (FES), Gijón, España.

- Reyes, B. (27 de febrero de 2019). *Iniciativa de la EPA promueve sistemas sépticos más sólidos y más eficaces en el Caribe*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/newsreleases/iniciativa-de-la-epa-promueve-sistemas-septicos-mas-solidos-y-mas-eficaces-en-el-caribe>
- Ríos, R. A. (2018). La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA): historia de una catástrofe. *Revista de Administración Pública*, 49, 87-94.
- Rivera, A. (2018). *¿Cuán vulnerable es el arbolado urbano de la cuenca del río Piedras a plagas?* [Tesina de bachillerato]. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.
- Rivera Ocasio, E., Aide, T. M. y Ríos López, N. (2007). The effects of salinity on the dynamics of a *Pterocarpus officinalis* forest stand in Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology*, 23(5), 559-568.
- Rivera Sánchez, M. (19 de noviembre de 2018). Millones para muestrear el agua de la AAA. *El Vocero*. https://www.elvocero.com/gobierno/millones-para-muestrear-el-agua-de-la-aaa/article_5e6a75e0-ebbf-11e8-a652-db7aa95b78d1.html
- Robles, F. (11 de octubre de 2017). Puerto Rico: 'La gente no murió a causa de los vientos, se está muriendo ahora'. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/es/2017/10/11/espanol/america-latina/puerto-rico-huracan-peligros-cuidado-medico.html>
- Rodríguez, P. (11 de junio de 2018). Premian la fotografía ciudadana post-María. *El Vocero*. https://www.elvocero.com/actualidad/premian-la-fotograf-a-ciudadana-post-mar-a/article_a1db7bf4-6d10-11e8-8b8b-839a051c1df9.html
- Rodríguez Rojas, G. (2018). *Efectos del espacio restringido en los servicios ecosistémicos de los árboles urbanos* [Tesina de bachillerato]. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.
- Ruiz Kuilan, G. (3 de noviembre de 2017). Diez municipios sin servicio de agua a capacidad. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/diezmuniciossinserviciodeaguaacapacidad-2371274/>
- Santiago Rodríguez, T. M., Tremblay, R. L., Toledo Hernández, C., González Nieves, J. E., Ryu, H., Santo Domingo, J. W. y Toranzos, G. A. (2012). Microbial quality of tropical inland waters and effects of rainfall events. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(15), 5160-5169. <https://doi.org/10.1128/AEM.07773-11>
- Schilling, L. (2014). *Making the most (and least) of marine trash*. Ocean Health Index. http://www.oceanhealthindex.org/news/Making_Least_Most_Marine_Trash
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2006). *Manual de la Convención de Ramsar. Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (4.ª ed.).
- Seeger, M. (2006). Best practices in crisis communication: An expert panel process. *Journal of Applied Communication Research* 34(3), 232-244. <https://doi.org/10.1080/00909880600769944>
- Sheffield, P., Rowe, M., Agu, D., Rodríguez, L. y Avilés, K. (2014). Health impact assessments for environmental restoration: The case of Caño Martín Peña. *Annals of Global Health*, (80)4, 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.07.001>
- Shehane, S. D., Harwood, V. J., Whitlock, J. E. y Rose, J. B. (2005). The influence of rainfall on the incidence of microbial faecal indicators and the dominant sources of faecal pollution in a Florida river. *Journal of Applied Microbiology*, 98(5), 1127-1136. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02554.x>
- Soderberg, C. (20 de septiembre de 2016). Cambio climático afectará a la AAA. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/opinion/columnas/cambioclimaticoafectaraalaaa-columna-2242818/>
- Soderberg, C. (13 de julio de 2017). El rol salubrista de la AAA. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/opinion/columnas/elrolsalubristadelaaa-columna-2339982/>
- Soderberg, C. (21 de septiembre de 2018). Un vasto impacto ambiental. *El Nuevo Día*. <https://www.elnuevodia.com/opinion/columnas/unvastoiimpactoambiental-columna-2448500/>
- Sosa Pascual, O., Campoy, A. y Wessenstein, M. (14 de septiembre de 2018). *Los muertos de María*. Centro de Periodismo Investigativo. <http://periodismoinvestigativo.com/2018/09/los-muertos-de-maria/>

- Steinauer, K., Chatzinotas, A. y Eisenhauer, N. (2016). Root exudate cocktails: the link between plant diversity and soil microorganisms? *Ecology and Evolution*, 6(20). <https://doi.org/10.1002/ece3.2454>
- Suárez, D. (30 de junio de 2019). *Amenazado el patrimonio histórico por el proceso de recuperación tras María*. Centro de Periodismo Investigativo. <http://periodismoinvestigativo.com/2019/06/amenazado-el-patrimonio-historico-por-el-proceso-de-recuperacion-tras-maria/>
- Suárez Rubio, M. y Thomlinson, J. R. (2009). Landscape and patch-level factors influence bird communities in an urbanized tropical island. *Biological Conservation*, 142(7), 1311-1321. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.035>
- Tallent-Halsell, N. G. (1994). *Forest health monitoring: Field methods guide* (Documento núm. PB-95-190419/XAB, EPA/620/R-94/027). United States Environmental Protection Agency.
- United States Army Corps of Engineers. (29 de noviembre de 2018). *Daily ADMS report. Puerto Rico Hurricane Maria (DR-4339). Day of operations 405*. Department of the Army.
- United States Environmental Protection Agency. (2003). Guidelines establishing test procedures for the analysis of pollutants; Analytical methods for biological pollutants in ambient water; Final Rule. 68 Fed. Reg. 43271, 40 C.F.R. 136. <https://123.idexx.com/resource-library/water/water-reg-article5AP.pdf>
- United States Environmental Protection Agency. (2019). *Planning for natural disaster debris* (Documento núm. EPA 530-F-19-003). https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-05/documents/final_pndd_guidance_0.pdf
- Univisión y Agencias. (17 de octubre de 2017). *Miles de puertorriqueños toman agua contaminada y se bañan en ella por falta del servicio tras el paso del huracán María*. Univisión. <https://www.univision.com/local/puerto-rico-wlii/miles-de-puertorriquenos-toman-agua-contaminada-y-se-banan-en-ella-por-falta-del-servicio-tras-el-paso-del-huracan-maria>
- Villanueva Colón, N. (1995). *Out of sight, out of mind: policies, practices and realities of illegal dumping in Puerto Rico* [Disertación doctoral]. Clark University.
- Waide, R. B. (1991). The effect of Hurricane Hugo on bird populations in the Luquillo experimental forest, Puerto Rico. *Biotropica*, 23(4), 475-480. <https://doi.org/10.2307/2388269>
- Wehran - Puerto Rico, Inc. y Shaw EMCON/OWT, Inc. (2003). *Final report waste characterization study*, 1-15. Autoridad de Desperdicios Sólidos, Gobierno de Puerto Rico.
- Wellstead, A. M., Howlett, M. y Rayner, J. (2013). The neglect of governance in forest sector vulnerability assessments: Structural-functionalism and "black-box" problems in climate change adaptation planning. *Ecology and Society*, 18(3), artículo 23. <https://doi.org/10.5751/ES-05685-180323>
- Wong, C. P., Jiang, B., Kinzig, A. P., Lee, K. N. y Ouyang, Z. (2015). Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy. *Ecology Letters*, 18(1), 108-118. <https://doi.org/10.1111/ele.12389>
- Wong, T. H. F. y Brown, R. R. (2009). The water sensitive city: Principles for practice. *Water Science & Technology*, 60(3), 673-682. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.436>
- Wunderle, J. M., Jr., Lodge, D. J. y Waide, R. B. (1992). Short-term effects of Hurricane Gilbert on terrestrial bird populations on Jamaica. *The Auk*, 109(1), 148-166. <https://doi.org/10.2307/4088275>
- Youd, T. L. y Perkins, D. M. (1978). Mapping of liquefaction induced ground failure potential, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 104(4), 433-446.
- Zedler, J. B. y Kercher, S. (2005). Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 39-74.
- Zimmerman, J. K., Everham, E. M., III, Waide, R. B., Lodge, D. J., Taylor, C. M. y Brokaw, N. V. L. (1994). Responses of tree species to hurricane winds in subtropical wet forest in Puerto Rico: Implications for tropical tree life histories. *Journal of Ecology*, 82(4), 911-922. <https://doi.org/10.2307/2261454>

COLABORADORES

PEDRO A. GELABERT MARQUÉS

A lo largo de su extensa y distinguida trayectoria, ha demostrado un compromiso inquebrantable con la protección del ambiente y enaltecido el nombre de Puerto Rico. En 1956, obtuvo su bachillerato en Ciencias con concentración en Geología de la Universidad de Tulane en Luisiana. Posteriormente, mientras trabajaba con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), inició su doctorado en Geología en la Universidad de Míchigan, que abandonó en 1960 para dirigir la Sección de Ingeniería Geológica de la División de Suelos y Geología del Departamento de Obras Públicas de Puerto Rico. En 1968, cuando fue ascendido a ayudante especial del secretario auxiliar de Control de Inundaciones y Protección de Ríos y Playas, ocurrió un evento determinante en su carrera: el buque cisterna SS Ocean Eagle produjo el mayor derrame de petróleo en Puerto Rico. Al no existir organismos, leyes ni reglamentos ambientales adecuados, Gelabert asistió al secretario de Obras Públicas para crear la Secretaría Auxiliar de Recursos Naturales, donde luego trabajó como ayudante especial. En 1970, fue nombrado secretario ejecutivo del Comité de Recursos Naturales del Consejo Asesor del Gobernador para el Desarrollo de Programas Gubernamentales, que recomendó la creación de la Junta de Calidad Ambiental y del Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico. Ese mismo año, ayudó a redactar la Ley de Política Pública Ambiental que estableció la Junta de Calidad Ambiental y fue designado director ejecutivo de la Comisión de Minería, que desapareció en 1972 con la creación del Departamento de Recursos Naturales. Un año después, junto al Ing. Rafael Cruz Pérez, fundó la firma consultora Servicios Ambientales de Puerto Rico, Inc. (SAPRI) e intervino como asesor del Gobierno en el derrame del buque cisterna SS Zoe Colocotroni al suroeste de la isla. Aunque su participación inicial se centró en la labor de limpieza, luego colaboró en la determinación de los daños ambientales y los costos de restauración, esfuerzo que se convirtió en un precedente legal mundial al establecer que la parte responsable no solo debía pagar los costos de limpieza, sino tam-

bién los daños ambientales. En 1978, fue nombrado presidente de la Junta de Calidad Ambiental, cargo que ocupó hasta 1984. Durante esos ocho años, además de lograr las delegaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para los programas de construcción de infraestructura sanitaria y control de la inyección de sustancias contaminantes en el subsuelo, estableció un programa de fiscalización sumamente efectivo. Bajo su liderazgo, se detuvieron las prácticas con bombas vivas de la Marina estadounidense en Vieques hasta que la institución preparara una Declaración de Impacto Ambiental y obtuviera un permiso federal de descarga (NPDES), sentando otro precedente legal en el sector ambiental. Gelabert también se distinguió en el ámbito internacional como parte de las delegaciones estadounidenses que negociaron el Plan de Acción Ambiental de las Naciones Unidas y los Protocolos de Áreas Naturales y Vida Silvestre, Derrames de Petróleo y Descargas de Contaminantes en las Aguas para la Región del Gran Caribe. En 1985, se convirtió en el primer puertorriqueño en dirigir la Oficina del Caribe de la EPA. Seis años después, fue reclutado por la Oficina de Asuntos Internacionales de dicha agencia y participó en las negociaciones del Protocolo de Derrames de Petróleo y Emergencias Ambientales en la Región del Gran Caribe. De 1993 a 1996, fue secretario de Recursos Naturales de Puerto Rico y artífice del programa de capacitación ambiental Puente Verde, dirigido a los Gobiernos de Latinoamérica y del Caribe. En 1997, recibió el Hammer Award del vicepresidente Al Gore y se reintegró a la Oficina de Asuntos Internacionales de la EPA, donde trabajó hasta retirarse en 2005. Entre sus logros se destacan el desarrollo de una estrategia ambiental para Centroamérica, el apoyo a República Dominicana en la creación de su Ministerio del Medio Ambiente, el establecimiento en Puerto Rico —junto con Carlos Paniagua— de una base digital de datos con más de 250 capas de información y la publicación de sobre 100 informes científicos, así como del libro digital *Historia del movimiento ambiental de Puerto Rico*.

BRENDA TORRES BARRETO

Profesional acreditada en Liderazgo Energético y Diseño Ambiental (LEED), recibió su bachillerato en Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico. Hizo su maestría en Gerencia Ambiental en la Escuela de Estudios Forestales y Ambientales de Yale y participó en el Programa de Liderato Ejecutivo sin Fines de Lucro ofrecido por el Centro de Innovación Social de la Escuela Graduada de Negocios de la Universidad de Stanford. Su amplia experiencia en gerencia ambiental, responsabilidad social corporativa y desarrollo de política pública basado en empoderamiento ciudadano y alianzas multisectoriales la ha llevado a destacar en posiciones de liderato tanto en Puerto Rico como en Estados Unidos. Fue parte del equipo ejecutivo del gobernador de Nueva York, Andrew M. Cuomo, en calidad de subsecretaria de Medioambiente. Lideró los esfuerzos del Gobierno de Puerto Rico en el noreste de Estados Unidos, representando los intereses de los puertorriqueños tanto en la isla como en esa región y promoviendo iniciativas como la Red Creativa de la Diáspora Puertorriqueña y la Agenda Nacional

Puertorriqueña, además de supervisar los proyectos estatales y federales de revitalización y sostenibilidad de Vieques y de dragado en el caño Martín Peña. También, sirvió como directora ejecutiva del tercer capítulo más grande de la Audubon Society en el estado de California y trabajó como analista de política pública para el Servicio Forestal de Estados Unidos en Washington D. C. Actualmente, ocupa la dirección ejecutiva del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, donde coordina esfuerzos multisectoriales y de los ciudadanos para integrarlos al proceso de restauración de los cuerpos de agua en el área metropolitana de Puerto Rico y asegurar el bienestar de todo el ecosistema. Además, sigue colaborando con la diáspora puertorriqueña en Estados Unidos, a través de su labor voluntaria en la Mesa Redonda del Centro de Estudios Puertorriqueños de CUNY Hunter College, y provee apoyo a los residentes de la isla municipio de Vieques en asuntos relacionados con la limpieza de los antiguos terrenos militares.

JORGE F. BAUZÁ ORTEGA

Es director científico del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, donde lidera los programas de calidad del agua. Posee un bachillerato en Biología, una maestría en Oceanografía Química y un doctorado en Ciencias Marinas otorgados por la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Ha impartido cursos como profesor conferenciante y catedrático auxiliar en el Recinto de Ciencias Médicas de la Universidad de Puerto Rico, la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana, el Campus Virtual de la Universidad Ana G. Méndez y el Departamento de Ciencias del Mar de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Tiene más de 14 años de experiencia profesional en ciencias acuáticas y ecológicas, monitoreo de la calidad del agua y análisis de datos, restauración, mejoras y rehabilitación de ecosistemas costeros, así como en muestreo biótico y mediciones ecológicas.

Sus trabajos le han valido importantes distinciones, entre ellas el USEPA Environmental Quality Award 2008, por su proyecto de restauración de mangles, y el U.S. Coral Reef Task Force Outstanding Public Awareness & Education Award, por su trabajo con corales submarinos y arrecifes artificiales. Además, su pasión por la academia y la ciencia lo han llevado a publicar varios artículos de su autoría en revistas, libros y columnas editoriales. Es autor del libro *Nitrous Oxide Dynamic in the Caribbean Sea: Observations from the Orinoco River Plume Expedition and the Caribbean Time Series Marine Station* y también ha sido editor de Ciencias en reconocidos sellos editoriales, como Ediciones SM y Santillana Puerto Rico. Posee una licencia credencial de Profesional Ambiental Cualificado del Institute of Professional Environmental Practice.

HAROLD MANRIQUE HERNÁNDEZ

Tiene un bachillerato en Biología con concentración en Biología Marina Costanera de la Universidad de Puerto Rico en Humacao y una maestría en Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. Como estudiante practicante, participó en el EPSCoR Streams Project de la Universidad de Vermont, donde realizó una investigación sobre los efectos de los cruces de carreteras en la calidad del agua de los arroyos. Ha trabajado como asistente de profesor en el Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico y como técnico de campo en el Parque Nacional de las Montañas Rocosas en Colorado, en un proyecto de restauración vegetal enfocado en la herbivoría

y otros procesos característicos del ecosistema de la tundra. Desde 2014, es coordinador de Calidad de Agua y Ciencia Ciudadana en el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Su trabajo incluye el monitoreo de la calidad del agua en ecosistemas costaneros, ribereños y estuarinos, mediante el análisis de parámetros físico-químicos con metodología rápida para la detección de presencia de bacterias fecales, así como la restauración en ecosistemas ribereños y bosques secundarios y la educación en temas ambientales. También es guía intérprete certificado por la Asociación Nacional para la Interpretación (NAI).

GUSTAVO A. MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

Es catedrático de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Trabaja como investigador en la Estación Experimental Agrícola en Río Piedras. Tiene un doctorado con concentración en Química de Suelos de la Universidad Estatal de Ohio, una maestría en Fertilidad de Suelos de la Universidad de Cornell y un bachillerato en Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Cuenta con más de 35 publicaciones en revistas arbitradas y numerosas presentaciones en foros nacionales e internacionales. Su programa de investigación se ha enfocado en documentar el impacto de la huella humana sobre los ecosistemas acuáticos y en de-

sarrollar el marco técnico regulatorio para proteger su integridad ecológica. Entre los trabajos producidos por su grupo de investigación se destacan los criterios numéricos de nutrientes para ríos, tributarios y embalses de Puerto Rico, así como el protocolo de avalúo para la implementación del criterio de vida acuática en embalses de Puerto Rico. Recientemente, su equipo desarrolló una estrategia sistemática para la detección de descargas sanitarias críticas en zonas urbanas como parte de un acuerdo colaborativo con la Corporación de Estuario de la Bahía de San Juan.

LUIS R. PÉREZ ALEGRÍA

Estudió en la Universidad Estatal de Pensilvania, donde obtuvo un doctorado en Filosofía y una maestría en Ciencias en Ingeniería Agrícola y Ambiental. Actualmente, es profesor titular de Ingeniería Agrícola y Biosistemas en la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Además de su labor docente, realiza investigaciones sobre la conservación de suelos y aguas centradas en la hidrología

de las cuencas hidrográficas y el modelado hidrológico continuo, que sirve para explicar la dinámica de los nutrientes y sedimentos en la cuenca como consecuencia directa de la energía asociada a la precipitación, la topografía, la cubierta de la superficie terrestre y el impacto antropogénico en el paisaje.

JUAN ORENCO ROLÓN

Completa su bachillerato en Ciencias Ambientales en la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, donde pronto desarrolla una pasión por la investigación en ecología urbana con un interés particular en cómo contribuye la infraestructura verde al bienestar de los habitantes de la ciudad. Durante su labor como asistente de investigación en el laboratorio de la Dra. Elvia Meléndez Ackerman, colabora en numerosos proyectos relacionados con este tema, pero los que más le impactan son aquellos centrados en estudiar cómo los huracanes Irma y María afectaron la vegetación del municipio de San Juan, pues permiten comprender la aportación de los servicios de los eco-

sistemas a la resiliencia comunitaria de cara a las adversidades climáticas. También ha trabajado como asistente de investigación en la Universidad de Virginia, en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) y en organizaciones sin fines de lucro tales como el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan y la Fundación Luis Muñoz Marín. Actualmente, se desempeña como especialista ambiental en la firma de consultoría ambiental Arcadis Caribe, donde colabora en un proyecto que busca rehabilitar los hogares de las familias afectadas por los huracanes Irma y María.

CARL-AXEL P. SODERBERG

Tiene un bachillerato en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Georgia y 50 años de experiencia en el campo de la protección ambiental en Puerto Rico, América Latina y el resto del Caribe. Trabajó 16 años en la Junta de Calidad Ambiental y cinco años en la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. Además, dirigió por 20 años la División del Caribe de la Agencia de Protección Ambiental federal (EPA). Actualmente, es miembro de la Junta de Directores de la Corporación del Estuario de la Bahía de San Juan y del Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático de Puerto Rico, así como director ejecutivo del Capítulo de Puerto Rico de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), organización que presidió de 2000 a 2002 y en la cual fue presidente del Consejo Consultivo de

2002 a 2004. Publica una columna mensual sobre temas ambientales en el periódico *El Nuevo Día* y ha contribuido como autor de capítulos en *Temas de ingeniería sanitaria y ambiental: visión de expertos de América Latina y el Caribe*, *Uso seguro del agua para el reúso e Islas en extinción: el impacto ambiental en las islas de Puerto Rico*. A lo largo de su carrera ha recibido varios premios, entre ellos el Environmental Quality Award de la EPA (1995) y el Gold Award de la Caribbean Water and Wastewater Association (2006). También ha sido reconocido como Ciudadano Ambiental del Milenio por la Junta de Calidad Ambiental (2000), Miembro Distinguido de AIDIS (2002) e Ingeniero Ambiental del Año por el Instituto de Ingenieros Ambientales (2013).

CRISTINA I. RAMÍREZ COLÓN

Posee un bachillerato en Geografía de la Universidad de Puerto Rico y una maestría en Gestión y Tratamiento de Residuos de la Universidad Autónoma de Madrid. Actualmente, es coordinadora de alianzas y proyectos de desechos acuáticos del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, donde había laborado años atrás ejecutando proyectos enfocados en el manejo de los desperdicios sólidos y acuáticos en el sistema estuarino e incorporándolos al programa Aguas Libres de Basura de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Trabajó dos años y medio en la Oficina de Cumplimiento y Planificación Ambiental del Municipio Autónomo de San Juan. En 2015, recibió una de las diez minibecas GREEN-PR, otorgadas por el Centro de

Soluciones Comunitarias Sostenibles (CSCS) de la Universidad de Syracuse, para generar proyectos replicables de educación ambiental en Puerto Rico. Participó en el Primer Taller de Evaluación de Microplásticos en Recursos Pesqueros de la Comisión Permanente del Pacífico Sur, celebrado en la Universidad Católica del Norte en Chile, y fue invitada a presentar sus esfuerzos en el Foro Internacional sobre Basura Marina y Economía Circular dirigido por la Asociación Española de Basuras Marinas. Está certificada como Promotor de Reciclaje por la otrora Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico y es miembro activo del Capítulo de Puerto Rico de la Asociación de Residuos Sólidos de Norteamérica (SWANA).

CARMEN R. GUERRERO PÉREZ

Tiene una maestría en Planificación Ambiental de la Escuela Graduada de Planificación de la Universidad de Puerto Rico y una maestría en Gestión Ambiental de la Universidad de Yale en Connecticut. Durante más de 15 años, trabajó como planificadora y consultora ambiental y de conservación para numerosas organizaciones y entidades gubernamentales, entre ellas el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, el Fideicomiso de Con-

servación de Puerto Rico, el Bosque Nacional El Yunque, la Corporación ENLACE del Caño Martín Peña, la Universidad de Puerto Rico, la Fundación Banco Popular y The Nature Conservancy. De 2013 a 2016, ocupó la secretaría de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico. En la actualidad, es directora de la División de Protección Ambiental del Caribe de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

MARCO ANTONIO ABARCA DÍAZ

Posee una maestría en Derecho Internacional de Derechos Humanos de la Universidad de Oxford en Reino Unido. Tiene un diploma de posgrado en Políticas de Desarrollo y Planificación del Instituto Internacional de Estudios Sociales de La Haya, en Holanda, y un bachillerato en Derecho de la Universidad Autónoma de Centroamérica, en Costa Rica. Cuenta con 30 años de experiencia en investigación sobre derechos humanos y enfoques de desarrollo sostenible basados en el derecho internacional de los derechos humanos, responsabilidad social corporativa y ética aplicada. Es autor de los libros *Fruto de la perseverancia: el sistema nacional de comisiones de valores de Costa Rica*, publicado en 2001 por la Editorial de la Universidad de Costa Rica, y *Meshing Global Policies to a*

Community Perspective, publicado en 2003 por Parria Publishing Company Limited. Ha impartido seminarios de investigación sobre Derecho Internacional, Derecho y Desarrollo, así como Jurisdicción Universal, en la Escuela de Derecho de la Universidad de Puerto Rico. Actualmente, trabaja en la investigación *School-Related Gender-Based Violence* comisionada por el Swiss Institute de Nueva York, en colaboración con la diseñadora Olga Casellas Badillo, y en una investigación sobre ética y gobernanza comisionada por el Instituto de Desarrollo de Paraguay y la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), en colaboración con la profesora Doris Sommer de la Universidad de Harvard.

SOLEDAD GAZTAMBIDE ARANDES

Estudió Geografía y Antropología en la Universidad de Puerto Rico y completó una maestría en Planificación y Política Pública en la Universidad de Tufts en Massachusetts. Trabajó en la Oficina de Planificación y Ordenamiento Territorial del Municipio de Caguas y fue analista de Política Pública en UPROSE, organización que promueve la justicia ambiental en Nueva York. Actualmente, es coordinadora de Política Pública y Relaciones Gubernamentales en la organización sin fines de lucro Para la Naturaleza, donde evalúa medidas legislativas, regulaciones y planes pertinentes a la conservación y planificación ambiental, además de redactar los comentarios oficiales y manejar diversos proyectos relacionados con política pú-

blica ambiental, sostenibilidad y planes de conservación estratégica. También representa a la organización en grupos de trabajo técnico y alianzas multisectoriales como el Equipo de Acción para la Conservación de las Áreas Protegidas (EACAP), la Red de Veredas del Noreste y la alianza con el National Trust for Historic Preservation para rescatar el antiguo acueducto del río Piedras. Es coautora del informe técnico *Inventario detallado de áreas protegidas y otros mecanismos de conservación en Puerto Rico*. Recientemente, formó parte del Comité Asesor Multisectorial de la Junta de Planificación sobre el mapa de calificación propuesto por dicha agencia.

JULIO C. VERDEJO ORTIZ

Es presidente de Coded S+P, una firma de consultoría especializada en análisis espacial, planificación y desarrollo de aplicaciones móviles de carácter geográfico y ambiental. Cursó estudios de bachillerato y maestría en la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, graduándose de Ciencias Políticas y Planificación, respectivamente. Fue conferenciante invitado en el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza en España, donde dictó clases sobre Sistemas de Apoyo a las Decisiones Espaciales (SDSS). Como activista comunitario, fue elegido representante de los resi-

dentos ante el Cuerpo Consultivo para el Desarrollo de Río Piedras, grupo enmarcado en la Ley Especial para la Rehabilitación de Río Piedras (Ley Núm. 75 de 1995) del cual fue presidente entre 2016 y 2018. Actualmente, estudia una maestría en Geodiseño en la Universidad Estatal de Pensilvania, donde desarrolla un proyecto de fin de curso enfocado en el geodiseño como metodología de planificación comunitaria y paliativa en respuesta a los problemas causados por el decrecimiento y los ciclos de deterioro en áreas urbanas.

PATRIA I. APONTE MARCANO

Obtuvo su bachillerato en Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, con un enfoque de investigación en temas relacionados con el cambio climático y el ambiente marino. Durante su período de formación académica, fue miembro de la directiva del Capítulo Estudiantil de la Sociedad Ambiente Marino (CESAM), donde lideró y participó en actividades dedicadas a la restauración y conservación de los ecosistemas marinos. Ha colaborado en varias investigaciones sobre biología marina, trabajando específicamente con organismos bentónicos en etapa larval.

Realizó un internado en el Shannon Point Marine Center de la Western Washington University, donde estudió los efectos de la acidificación y el calentamiento de los océanos en larvas de *Pacific sand dollar*. En el pasado año, se desempeñó como AmeriCorps VISTA para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Durante este tiempo, ofreció capacitación técnica en el área de Ciencia y Tecnología, además de investigar y documentar el impacto de los huracanes Irma y María en los arrecifes de coral y las hierbas marinas.

BENJAMIN L. BRANOFF

Es ecólogo posdoctoral en la División de Mediciones y Modelos Ecosistémicos del Golfo de México (GEMM) de la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA). Anteriormente, fue ecólogo posdoctoral en el Instituto Nacional de Síntesis Matemática y Biológica (NIMBioS) y ecólogo consultor de la Embajada de Estados Unidos en Djibouti, puesto que también desempeñó en la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) en Puerto Rico tras el paso de los huracanes Irma y María en 2017. Tiene un doctorado en Biología de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, donde completó su investigación doctoral

en la ecología de los manglares urbanos de Puerto Rico y el efecto de la urbanización, además de una maestría en Oceanografía y Ciencias Costeras de la Universidad Estatal de Luisiana y un bachillerato en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Florida. Se especializa en ecología ecosistémica y sistemas socioecológicos, particularmente en paisajes costeros. Es autor de un capítulo sobre la ecología de los manglares urbanos en el libro *Threats to Mangrove Forests* y ha escrito más de diez artículos científicos sobre ecología, recursos de agua, servicios ecosistémicos y sistemas socioecológicos.

WILMER O. RIVERA DE JESÚS

Es catedrático auxiliar en la Escuela Secundaria de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, y en el Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad de Puerto Rico en Carolina. Tiene un bachillerato en Educación Secundaria con especialidad en Biología y Ciencia General de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras y una maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental con especialidad en Conservación y Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Ana G. Méndez en Cupey. Además, posee un doctorado en Filosofía con especialidad en Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. Se especializa en la rehabilitación de humedales urbanos costeros y

la aplicación de la ecofisiología vegetal para proyectos de reforestación en ecosistemas costeros. Ha impartido cursos de biología, ecología, ciencias ambientales y ciencias de la tierra tanto a nivel secundario como a nivel subgraduado. Es miembro de la Society of Wetland Scientists y sus investigaciones han sido presentadas y publicadas en varios congresos y simposios, entre ellos el Primer Congreso de Manglares de América, el 2015 Emerging Researchers National Conference in STEM, el Restore America's Estuaries & The Coastal Society 7th National Summit on Coastal and Estuarine Restoration y el 2017 SWS Annual Meeting.

LAURA L. FIDALGO DE SOUZA

Es consultora ambiental y bióloga. Ofrece apoyo y asesoramiento a organizaciones sin fines de lucro en proyectos de evaluación ambiental y actividades de ciencia ciudadana. En 2018, fue coordinadora del Día de Monitoreo de Calidad de Agua de Puerto Rico, liderado por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, y del Programa A Toda Costa, iniciativa de la Scuba Dogs Society. Actualmente, es estudiante doctoral en el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de

Puerto Rico en Río Piedras y trabaja en su disertación, titulada *Los efectos de los huracanes Irma y María en la comunidad de aves y el uso de hábitat de la reinita de bosque enano en el Bosque Experimental de Luquillo*. Además, es directora voluntaria del Comité Científico de la Sociedad Ornitológica Puertorriqueña, Inc. (SOPI), donde contribuye en propuestas y dirige proyectos de evaluación de poblaciones de aves y hábitats de importancia para la conservación.

ERNESTO L. DÍAZ VELÁZQUEZ

Estudió Oceanografía en Shoreline College en el estado de Washington y Biología Marina en la Universidad de Puerto Rico en Humacao, completó su maestría en Gestión de Ingeniería Ambiental en la Universidad Politécnica de Puerto Rico y realizó estudios de postgrado en Energía y Medio Ambiente en la Universidad de Florida. Lleva 24 años trabajando en el Departamento de Recursos Naturales, donde se ha desempeñado como director de la División de Zona Costanera, administrador y secretario auxiliar. Como líder del Programa de Manejo de la Zona Costanera y del Programa de Conservación y Manejo de Arrecifes de Coral, ha dedicado gran parte de su carrera a la gestión de

los recursos marinos y costeros. Desde 2009, ocupa el puesto de coordinador del Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico, con el que publicó el primer informe *El estado del clima de Puerto Rico* (2014), y colideró el primer capítulo independiente para el Caribe estadounidense de la Cuarta Evaluación Nacional del Clima (NCA4). Anteriormente, fue coordinador del Plan de Gestión Integrada de las Zonas Costeras, adscrito al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en 13 estados y territorios de la región del Caribe. Actualmente, trabaja en el *Manual de ingeniería costera* y en varias iniciativas del programa Engineering with Nature en Puerto Rico.

MIGUEL F. CANALS SILANDER

Posee un doctorado en Ingeniería Oceánica con concentración en Ingeniería Costera de la Universidad de Hawái. Su área de especialidad es la oceanografía física y costera, incluido el modelaje numérico de olas, corrientes y procesos costeros. Ocupa el cargo de director del Centro de Ciencias Oceánicas Aplicadas e Ingeniería Oceánica del Recinto Universitario de Mayagüez y lidera un

portfolio de proyectos de investigación, tanto fundamental y aplicada, con énfasis en los procesos costeros de Puerto Rico y del Caribe. También, es investigador coprincipal del Sistema Caribeño de Observación Costera Oceánica (CARICOOS), donde dirige los esfuerzos de modelaje numérico y las observaciones del oleaje y las corrientes.

ELVIA J. MELÉNDEZ ACKERMAN

Catedrática del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. Tiene un doctorado en Ecología y Evolución de la Universidad de California en Irvine, así como un bachillerato y una maestría en Biología de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. Es ecóloga de formación en las áreas de ecología evolutiva, conservación y respuestas ecológicas al cambio climático, pero su extenso trabajo interdisciplinario se ha centrado en abordar temas relacionados con la sustentabilidad y la capacidad adaptativa de sistemas socioecológicos urbanos. En ese campo ha colaborado con equipos asocia-

dos al programa de investigación San Juan ULTRA (Urban Long-Term Research Areas) en San Juan de Puerto Rico, como también con el equipo de colaboración entre INTEC-Servicio Forestal de Estados Unidos y la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, que evalúa los servicios ecosistémicos en el Distrito Nacional de Santo Domingo, en República Dominicana. Es presidenta de la Junta de Directores de la Fundación Amigos de El Yunque y ha escrito 79 publicaciones sobre temas ambientales, entre ellas el libro *Puerto Rico y el mundo: el cambio climático*, del cual es coautora.

CYNTHIA BURGOS LÓPEZ

Es agrónoma, arquitecta paisajista y estudiante doctoral en Manejo Ambiental. En la actualidad, se desempeña como superintendente de la Región Este en Para la Naturaleza y es presidenta de la Junta de Directores y cofundadora de La Maraña, organización sin fines de lucro dedicada al diseño urbano participativo. Ha laborado en proyectos de urbanismo e infraestructura para la Corporación del Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña y en diseño y construcción de proyectos de infraestructura verde para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Desde hace 8 años, trabaja como

profesora conferenciante de Arquitectura Paisajista y Urbanismo Ecológico en el recinto de Gurabo de la Universidad Ana G. Méndez y en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica en Ponce. Ha participado en diversos foros, exponiendo proyectos sobre temas de paisaje y comunidades, en Puerto Rico, México, Estados Unidos y Venezuela. Tiene más de 10 años de experiencia profesional centrada en la participación ciudadana, el diseño participativo y la integración de la infraestructura verde en el diseño y manejo de nuestro hábitat.

GABRIEL E. AGOSTO DÍAZ

Cursa estudios conducentes a la maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental, con especialidad en Conservación y Manejo de Recursos Naturales, en la Universidad Ana G. Méndez en Cupey. Posee un bachillerato en Ciencias Agrícolas con concentración en Agronegocios de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Desde abril de 2019, trabaja como agrónomo licenciado a cargo de la infraestructura verde y la Red de Bosques Urbanos para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Entre 2016 y 2019, fue maestro de Educación Agrícola en el Departamento de Educación de Puerto Rico. Hace prácticas de agricultura sustentable y ecológica en el municipio de Río Grande desde 2003 y, hasta 2016, produjo vegetales mediante siembra agroecológica para la venta directa a restaurantes y en el Mercado Agroecológico del Viejo San Juan. Actualmente, prepara su tesis de maestría sobre la remoción de dióxido de carbono en bosques de

mangle. También, tiene un proyecto de desarrollo de prácticas de agricultura regenerativa y secuestro de carbono, con el auspicio del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, y realiza prácticas de salud del suelo para mejorar las prácticas agrícolas. Anteriormente, trabajó en el Proyecto de Pequeños Rumiantes localizado en la Finca Laboratorio Alzamora de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, así como en el análisis y la evaluación de la producción sustentable de alimentos en la Finca Conuco del Coto, en el municipio de San Germán. Se especializa en la recuperación y restauración de especies endémicas y autóctonas en áreas sensitivas y de interés ecológico, así como en el desarrollo de huertos familiares, urbanos y comunitarios y en las prácticas para lograr la autosuficiencia alimentaria.

KATIA AVILÉS

Posee un doctorado en Geografía de la Universidad de Texas, una maestría en Recursos Naturales de la Universidad de Míchigan en Ann Arbor y un bachillerato en Ciencias Ambientales de la Escuela de Ciencias Ambientales y Forestales de la Universidad Estatal de Nueva York (ESF-SUNY) en Syracuse. Además, ha participado en cursos y entrenamientos de supervisión con AmeriCorps VISTA, de regulaciones y permisos con el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos y de gestión y empoderamiento con el Servicio de Extensión Agrícola de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Fue directora del Instituto del Karso de Puerto Rico y el Caribe, así como de la Oficina del Bosque Modelo de Puerto Rico, donde con-

tribuyó al desarrollo de la estructura y encaminó varias fuentes de financiación. También se ha desempeñado como gerente de Asuntos Ambientales del Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña y ha impartido clases de Geografía y Asuntos Ambientales en la Universidad de Puerto Rico, la Universidad Metropolitana y la EDP University. A lo largo de su carrera, ha participado en publicaciones de renombre y recibido importantes reconocimientos, entre ellos el Notable Achievement Award, otorgado por la ESF, y el Environmental Champion Award, otorgado por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense. Actualmente, trabaja como redactora de propuestas para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

ELIEZER NIEVES RODRÍGUEZ

Es gerente de Educación del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, donde coordina talleres, recorridos interpretativos, censos de aves nativas y proyectos de ciencia ciudadana. Posee una maestría en Geografía de la Universidad de Akron en Ohio. Es profesor del Departamento de Geografía de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, donde imparte cursos de geografía humana, conservación del ambiente, biogeografía,

evaluación y manejo de recursos naturales, educación en geografía e interpretación del paisaje. Además, es instructor de guías intérpretes de la Asociación Nacional para la Interpretación (NAI) y docente invitado del diplomado en Manejo y Conservación de Recursos Naturales del programa de capacitación RESERVA en México, en el que ofrece el módulo de Interpretación Ambiental aplicado a proyectos de turismo comunitario.

KORALIS REYES MALDONADO

Tiene un bachillerato en Biología Integrativa de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. Enfocó sus estudios en ecología y sostenibilidad, participando en internados e investigaciones de diversos temas, entre ellos las fuentes de energía renovable, la ecología poblacional de arrecifes de coral y el control biológico de plagas. Durante el 2018-2019 colaboró como AmeriCorps VISTA en la

iniciativa de Educación Ambiental del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, desarrollando herramientas educativas y visibilizando el alcance de la misma. En la actualidad, trabaja como coordinadora del proyecto "Understanding Multifunctional Landscapes Within the Model Forest of Puerto Rico" de la Universidad de Míchigan, dirigido a la investigación agroecológica en cafetales.

TISCHA A. MUÑOZ ERICKSON

Es investigadora científica del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del Servicio Forestal estadounidense (IITF) en Río Piedras, Puerto Rico. Obtuvo su doctorado en Sostenibilidad de la Universidad Estatal de Arizona en Tempe. Se especializa en gobernanza de la sostenibilidad y resiliencia urbana, redes sociales, coproducción del conocimiento, desarrollo de estrategias de adaptación y soluciones basadas en la naturaleza. Ha publicado cerca de 30 artículos en revistas e informes académicos y es coautora del libro *Designing Knowledge*. Actualmente, dirige la Estación Urbana Internacio-

nal en el IITF y el programa de investigación San Juan ULTRA. También es coinvestigadora principal en varias iniciativas de investigación interdisciplinaria de la Fundación Nacional de Ciencias, entre ellas la Red de Investigación en Sostenibilidad sobre Resiliencia Urbana a Eventos Extremos (UREX SRN) y el proyecto SETS Convergence. En 2019, fue invitada a formar parte del Comité Ejecutivo de la Red de Conocimiento y Acción Urbana (Urban KAN) por Future Earth, la iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas para la investigación de la sostenibilidad global.

HALLIE C. EAKIN

Recibe su doctorado en Geografía de la Universidad de Arizona. Actualmente, enseña Ciencias de la Sostenibilidad en el Julie Ann Wrigley Global Institute of Sustainability de la Universidad Estatal de Arizona en Tempe. Es reconocida por sus investigaciones sobre vulnerabilidad, adaptación y resi-

liencia con un enfoque en zonas rurales y urbanas de México y del suroeste de Estados Unidos. Además de su libro *Weathering Risk in Rural Mexico*, ha publicado más de 80 artículos en revistas académicas arbitradas y colaborado en la producción de diversos materiales de difusión pública.

MARIA CARMEN LEMOS

Es profesora de la Escuela de Recursos Naturales y Medio Ambiente en la Universidad de Míchigan en Ann Arbor y codirectora del Great Lakes Integrated Sciences and Assessments Center (GLISA). Tiene una maestría y un doctorado en Ciencias Políticas del Instituto Tecnológico de Massachusetts, así como un bachillerato en Economía de la Universidad Federal de Juiz de Fora en Brasil. Sus temas de investigación incluyen la política pública ambiental en América Latina y Estados Unidos, especialmente en relación con el cambio climático, y el papel

del conocimiento tecnocientífico en la gobernanza ambiental. Fue autora principal de los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicados en 2014 y ha participado en varios comités del Consejo Nacional de Investigación de las Academias Nacionales de Ciencias de Estados Unidos. También es cofundadora de la iniciativa ICARUS, que busca fomentar la colaboración y el intercambio entre académicos en temas de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

LARA MEDINA SEPÚLVEDA

En 2010, obtiene su bachillerato en Bellas Artes con énfasis en Fotografía de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. Cuatro años más tarde, completa su maestría en Administración y Gestión Cultural, en la que crea un archivo digital de arte urbano posteriormente adoptado por el Municipio de San Juan como parte del proyec-

to Rutas Urbanas de las Artes. Ha colaborado en festivales de arte urbano tales como Los Muros Hablan, Santurce es Ley y Secret Walls Puerto Rico. Actualmente, trabaja como coordinadora de Resiliencia Comunitaria en Arte y Cultura para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

ESTRELLA D. SANTIAGO PÉREZ

Es abogada y coordinadora de asuntos ambientales del Proyecto ENLACE, donde se encarga de garantizar el cumplimiento de las políticas gubernamentales y la implementación del programa de mejoras ambientales incluido en el Plan de Desarrollo Integral y Usos del Terreno del Distrito de Planificación Especial del Caño Martín Peña. Anteriormente, trabajó como consultora ambiental y cabildera comunitaria ambiental. Posee un bachillerato en Biología de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, y un grado de Juris Doctor de la Escuela de Derecho de la Universidad de Puer-

to Rico. Es autora de los artículos "Más caliente Puerto Rico por el cambio climático" y "Reinterpretación de los derechos humanos para garantizar la protección del medioambiente: ¿una opción viable en Puerto Rico?", publicados en *Diálogo Digital* y la *Revista de Derechos Humanos y Transformación de Conflictos*, respectivamente, así como del artículo "Basura cero v. incineración: propuestas ante la crisis de desperdicios sólidos", escrito en conjunto con Brenda I. Piñero Carrasquillo para la *Revista Jurídica Digital* de la Universidad de Puerto Rico.

KATHLIA K. M. RODRÍGUEZ BERRÍOS

Es estudiante de la Escuela Graduada de Planificación de la Universidad de Puerto Rico, donde también obtuvo un bachillerato en Geografía con énfasis en Geografía Regional y Humana. Actualmente, trabaja como asistente de investigación en el Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico bajo la mentoría de la doctora

Maritza Barreto. Sus temas de interés e investigación incluyen los espacios públicos, la geografía de género, el urbanismo feminista, el derecho a la ciudad y la gentrificación. Su investigación sobre la transformación urbana de la calle Loíza, en Santurce, ha sido presentada tanto a nivel local como internacional.

