



# Ingeniería y Agrimensura Dimensión

Revista del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico  
Año 32, Vol. 1, 2018      Disponible en el internet: [www.ciapr.org](http://www.ciapr.org)



excelencia**progreso**

Lecciones aprendidas  
a raíz del paso de  
Huracán María sobre  
Puerto Rico



*Los desastres naturales han brindado la oportunidad de construir refugios  
y rehabilitar millares de hogares, infraestructura y edificaciones.*

*Así hemos cumplido con nuestra responsabilidad, según nuestra visión,  
...desde 1972.*



**CARIBE TECNOLÓGICO**

*Visión apasionada de excelencia en la construcción y el desarrollo,  
con responsabilidad social,  
para mejor calidad de vida y conservación del medioambiente.*



Ingeniería y Agrimensura

# Dimensión

Año 32, Vol. 1

**Dimension (Online)**  
**ISSN 2167-7832**

**Dimension (Print)**  
**ISSN 2155-1618**

## CONTENIDO

**COLEGIO DE INGENIEROS Y AGRIMENSORES  
DE PUERTO RICO**

**www.ciapr.org**

**JUNTA DE GOBIERNO 2017 - 2018**

### Comité Ejecutivo

Ing. Pablo Vázquez Ruiz, *Presidente*

Ing. Amarilys Rosario Ortiz, *Primer Vicepresidente*

Agrim. Carlos Fournier Morales, *Segundo Vicepresidente*

Ing. Esther Mariza Zambrana, *Secretaria y Presidenta  
Capítulo de Bayamón*

Ing. María Victoria Durán Quiñones, *Tesorera y Presidenta  
Capítulo de Carolina*

Ing. Alejandro Pinto Flores, *Auditor y Presidente Instituto  
de Ingenieros Industriales*

### Directores

Ing. Marilú De La Cruz Montañez, *Presidenta Instituto de  
Ingenieros Civiles*

Ing. Erasto García Pérez, *Presidente Instituto de  
Ingenieros de Computadoras*

Ing. Héctor R. Peña Cruz, *Presidente Instituto de  
Ingenieros Electricistas*

Ing. Zelideth López Roldán, *Presidenta Instituto de  
Ingenieros Industriales*

Ing. Alba L. Cruz Moya, *Presidenta Instituto de Ingenieros Mecánicos*

Ing. Yolanda Martínez Quesada, *Presidenta Instituto de  
Ingenieros Químicos*

Ing. Eric M. Carrero Medina, *Presidente Capítulo de Aguadilla*

Ing. Omar Rosado Santos, *Presidente Capítulo de Arecibo*

Ing. Esther Maritza Zambrana Cruz, *Presidente Capítulo de Bayamón*

Ing. Juan F. Alicea Flores, *Presidente Capítulo de Caguas*

Ing. Luis S. Soto Rosario, *Presidente Capítulo de Florida*

Ing. Emilio Garay Vega, *Presidente Capítulo de Guayama*

Ing. Carmen M. Figueroa Santiago, *Presidenta, Capítulo de Humacao*

Ing. Jorge L. Ramos Ruiz, *Presidente Capítulo de Mayaguez*

Ing. Luis G. Rodríguez Fernández, *Presidente Capítulo de Ponce*

Ing. Miguel A. Bauzá Álvarez, *Presidente Capítulo de San Juan*

Ing. Ralph A. Kreil Rivera, *Expresidente*

Lcdo. Gilberto Oliver Vázquez, *Asesor Legal*

Ing. Rodolfo F. Mangual Ramos, *Director Ejecutivo*

### REVISTA DIMENSIÓN

Ing. Benjamín Colucci Ríos, *PhD, Editor*

Ing. José Ramiro Rodríguez Perazza, *Redactor Especial*

Sr. Ronald Chevako, *Ventas*

Sr. Jay Chevako, *Producción*

Sra. Anne Chevako, *Dirección Editorial*

Sra. Beatriz Ramírez Betances, *Edición*

**Mensaje del Presidente del CIAPR** 4

**Mensaje del Presidente de la Junta Editora** 5

**Las oportunidades en los tiempos de crisis** 6  
Ada Torres, *Especial para Dimensión*

**Claves para afrontar la catástrofe y la oportunidad con  
responsabilidad social y éxito empresarial** 9  
Ing. José Domingo Pérez Muñoz, *APrI*

**El Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín, la puerta  
de Puerto Rico.** 15  
Pablo G. Auffant Matos

**PRHTA Bridge Assessment and Remediation Strategies  
Post-Hurricane Maria** 17  
Alvin Rodríguez, *PE, MSCE*; Elvin Pérez, *PE, MSCE*;  
Mauricio Torres, *PE, MECE*

**Comprehensive Hurricane María Mass Wasting Inventory  
and Improved Frequency Ratio Landslide Hazard Mapping** 23  
Morales-Vélez, A.C., and Hughes, K.S. *Assistant Professors, UPRM,  
Department of Civil Engineering and Geology*

**Huracán María: Sinopsis y análisis preliminar del impacto  
en la infraestructura de Puerto Rico** 27  
Luis D. Aponte-Bermúdez, *Ph.D., PE*; Jonathan Muñoz-Barreto,  
*Ph.D.*; Francisco J. Villafañe-Rosa, *MS*; Glorimar Torres-Pagán,  
*BSCE, BSST*

**Destrozos, recuperación y planes en la red sísmica de  
movimiento fuerte raíz de los huracanes Irma y María** 31  
José A. Martínez Cruzado, *Ph.D.*; Carlos I. Huerta López, *Ph.D.*;  
Jaffet Martínez Pagán *EIT, M.Eng.*; Erick X. Santana Torres, *MBA*;  
y Francisco J. Hernández Ramírez

**Lessons Learned from the Evaluation  
of Concrete Pole Failures Following Hurricane Maria** 35  
Felipe J. Acosta, *Ph.D., PE*, Omar Esquilin-Mangual, *M.E.C.E., PE*,  
Stephanie G. Wood, *Ph.D.*, Wendy R. Long, *Didier Valdes, Ph.D.*

**El rol del agrimensor y la importancia de la información  
geoespacial en la restauración del sistema eléctrico  
tras el paso del huracán María en Puerto Rico** 41  
R.A. Moreno Vázquez

**Diccionario Zurdo** 45

*Foto de la portada: cestes001*

### Año 32, Vol. 1, 2018

La revista oficial del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico (CIAPR), Dimensión, es publicada por el CIAPR de Puerto Rico. Las opiniones expresadas en el material sometido por los miembros del Colegio son la responsabilidad de sus autores individuales únicamente y las mismas no son necesariamente de Dimensión ni de su Junta Editora. Manuscritos para la revista pueden ser enviados a esta dirección: e-mail. [dimension.ciapr@gmail.com](mailto:dimension.ciapr@gmail.com). Tel. (787) 758-2250 Fax (787) 758-7639.

La revista Dimensión es producida por: Publishing Resources, Inc.: Ronald J. Chevako, Presidente y Principal Oficial Ejecutivo. Para información sobre ventas de anuncios comuníquese con Ronald Chevako (787) 647-9342.



# MENSAJE DEL PRESIDENTE

Estimados Lectores:

Reciban un cordial saludo del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. En su Octogésimo Aniversario, el Colegio sigue siendo una institución con la integridad y credibilidad necesaria para señalar la ruta hacia las transformaciones del país que tanto necesitamos. Con mucho orgullo estipulamos que, pese a numerosos retos, seguimos firmes en nuestro compromiso de mantener nuestra vigencia, vigor, y voz en beneficio de la ciudadanía.

Durante nuestra experiencia con los huracanes Irma y María, estuvimos sumamente activos en el proceso de preparación y recuperación del país asistiendo a la ciudadanía de diversas formas. En esta edición, nuestra Asesora de Medios, Ada Torres, presenta una síntesis de los

esfuerzos del CIAPR en colaborar con la recuperación ciudadana por medio de nuestras instalaciones y nuestras gestiones en apoyo al Gobierno de Puerto Rico donde se nos solicitó ayuda. Nos parece indispensable que tales esfuerzos no pasen inadvertidos ya que su impacto fue y seguirá siendo palpable.

Los artículos técnicos contenidos en esta edición especial del 80 Aniversario están principalmente orientados a la experiencia y a las importantes lecciones aprendidas tras el paso por la Isla del huracán María. Nuestro Colegio cuenta con los profesionales más capacitados para expresarse sobre lo que significó este capítulo en nuestras vidas colectivas y para proponer alternativas para aumentar nuestra capacidad de resistir eventos como este, mitigar sus efectos y recuperarnos con prontitud. Esta edición especial cuenta con ocho artículos técnicos, cuidadosamente seleccionados, los cuales habrán de aportar al conocimiento de los efectos de fenómenos como el huracán María en una infraestructura debilitada, y cómo fortalecerla para una futura ocasión.

El lanzamiento de este ejemplar sirve de excelente antesala a la Semana del Ingeniero y el Agrimensor, la cual celebraremos este año los días 21 al 26 de mayo de 2018. Abrimos la semana con la presentación de la proclama del Gobernador, el lunes 21, y continuamos con la Cumbre Empresarial-Educativa, y el VIII Encuentro Ambiental con los Premios COINAR el martes 22 y miércoles 23, respectivamente. El viernes 25 de mayo será la Expo Cumbre del CIAPR y el sábado 26 nuestra Gala Aniversario 80, ambos eventos en el Centro de Convenciones de Puerto Rico, Dr. Pedro Roselló.

Esperamos contar con la presencia contundente de nuestros colegiados en esta semana de importantes eventos y celebraciones.

Un abrazo colegial,

Ing. Pablo Vázquez Ruiz  
Presidente



# MENSAJE DEL PRESIDENTE DE LA JUNTA EDITORA

Un cordial saludo y muchas felicidades a todos los ingenieros y agrimensores de Puerto Rico en la celebración del octogésimo aniversario del CIAPR. Esta edición especial de la revista *Dimensión* enmarca las lecciones aprendidas a raíz del paso del Huracán María sobre Puerto Rico.

Hemos seleccionado artículos de interés para nuestra matrícula, visto a través de los ojos de nuestros profesionales. Estos artículos se complementan con la labor que ha realizado el CIAPR y su presidente, el Ing. Pablo Vázquez Ruiz, en la etapa de recuperación a través de la perspectiva de la reconocida periodista Ada Torres Toro, además de su mensaje como presidente entrante del CIAPR. Incluimos:

1. *Claves para Afrontar La Catástrofe y La Oportunidad*: el ingeniero José Domingo Pérez Muñoz, presidente de la Academia Puertorriqueña de Ingenieros (APrI), analiza la crisis que atraviesa Puerto Rico y como se representa en la conjunción de peligro y oportunidad.
2. *El Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín*: Presenta un resumen de los daños al aeropuerto y los esfuerzos que se han llevado a cabo para su recuperación.
3. *PRHTA Bridge Assessment and Remediation Strategies Post-Hurricane María*: Describe los daños estructurales en una serie de puentes y las posibles medidas de reparación permanentes o para la etapa de emergencia, con su costos.
4. *Comprehensive Hurricane María Mass Wasting Inventory and Improved Frequency Ratio Landslide Hazard Mapping*: Presenta el progreso de un inventario de la UPRM asociado a los deslizamientos ocurridos en la isla a raíz del huracán y el uso de esta información en el desarrollo y calibración de mapas de zonas peligrosas para Puerto Rico, Culebras y Vieques.
5. *Huracán María: Sinopsis y Análisis Preliminar del Impacto en la Infraestructura de Puerto Rico*: Presenta una sinopsis con los datos meteorológicos asociados a vientos, acumulación de lluvia, olas y marejadas, los hallazgos de las inspecciones de campo post-María y un análisis preliminar del efecto de la erosión costera producida por la marejada ciclónica en los pueblos de Rincón y Aguadilla.
6. *Destrozos, Recuperación y Planes en la Red Sísmica de Movimiento Fuerte a Raíz de los Huracanes Irma y María*: Provee un trasfondo histórico del Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico adscrito al Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la UPRM y el inventario y condición de la estaciones sísmicas digitales distribuidas por esta área del Caribe, antes y después del evento atmosférico. Incluye los planes para fortalecer la red para minimizar el impacto de futuros eventos.
7. *Lessons Learned from the Evaluation of Concrete Pole Failures following Hurricane María*, Presenta los resultados de la evaluación de los fallos en una serie de postes de utilidad de hormigón en varias áreas de la isla e incluye muestras representativas de los fallos más comunes.
8. *El Rol del Agrimensor y la Importancia de la Información Geoespacial en la Restauración del Sistema Eléctrico, Tras el Paso del Huracán María en Puerto Rico* el Secretario Técnico del CITGEJ y Corresponsal en México de la APPAT / CIT, Rigoberto Moreno, presenta al ingeniero agrimensor, topógrafo, como profesional con un rol protagónico en la reconstrucción de la infraestructura eléctrica.

Agradezco la aportación de los profesionales ingenieros, agrimensores e invitados que colaboraron con sus artículos en esta edición especial, a los auspiciadores y al Centro de Transferencia de Tecnología en Transportación, por decir presente en asuntos pertinentes a la transportación. Espero que la selección de artículos de esta edición especial les sea de utilidad y beneficio en esta etapa de recuperación de nuestro país.

Les exhorto a que también lean nuestra sección el Diccionario Zurdo y que acudan a la página electrónica del CIAPR, [www.ciapr.org](http://www.ciapr.org) para que tengan acceso a las demás ediciones electrónicas de la revista. Los invito a contactarnos (benjamín.colucci1@upr.edu) con sus comentarios o sugerencias para artículos en futuras ediciones.

Benjamín Colucci, PhD, PE  
benjamin.colucci1@upr.edu  
Presidente, Junta Editora



# LAS OPORTUNIDADES EN LOS TIEMPOS DE CRISIS

Por Ada Torres  
Especial para Dimensión

Todo lo que se ha escrito y dicho de la conversión de un Puerto Rico pre-Huracán María a su presente estado post-huracán jamás describirá suficientemente la inmensidad del cambio que enfrentamos como pueblo. Las vidas de todos se trastocaron. Las venas abiertas de Puerto Rico quedaron expuestas, con todas sus deficiencias y su fragilidad.

La parte que no se quebró, sin embargo, fue el espíritu de resistencia y de lucha del pueblo. En cada comunidad de cada pueblo vimos ejemplos extraordinarios de desprendimiento, sacrificio y reto a la adversidad. Si hay una entidad en Puerto Rico que estuvo en la primera fila de esta lucha desde Irma hasta María y hoy día es, sin duda, el Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. Desde mi posición como asesora de su presidente, ingeniero Pablo Vázquez Ruiz, *he sido testigo de las múltiples gestiones y proyectos que se desarrollan a diario para ayudar a nuestra isla y que han colocado al CIAPR no solo como una Institución fundamental en temas de infraestructura y reconstrucción de Puerto Rico, sino como una de desprendimiento y ayuda constante a nuestro pueblo desde los momentos más críticos.*

Este año se celebra el 80 Aniversario del CIAPR. Son ocho décadas de forjar el progreso y la excelencia, tal y como se recoge en su himno institucional. Su servicio al país tiene el reconocimiento y el respeto ciudadano por la integridad y ética de sus posturas y contribuciones.

El trabajo en la presidencia del CIAPR comenzó con unas metas muy claras y específicas, pero el Colegio entró en una etapa inesperada que arrancó con el paso de Irma. Como parte de la agenda, que comenzó de inmediato, se inició un plan de comunicación para mantener a la ciudadanía informada sobre temas relevantes en situaciones como la que vivimos. Se orientó a través de los medios de comunicación sobre la vulnerabilidad de muchas estructuras ante el paso de un huracán y se puso a la disposición de la ciudadanía la Guía de Mitigación de Daños en casos de fenómenos atmosféricos.

El presidente Vázquez participó en prácticamente todos los programas de los medios en Puerto Rico con información crucial para la ciudadanía. Ante una realidad tan devastadora, como lo fue el paso del Huracán María, el Colegio fue ágil en atender asuntos no solamente de sus profesiones, sino de la comunidad.

Luego del paso del huracán, se habilitó el Colegio con su planta eléctrica para ofrecer durante los siete días de la semana un lugar en el cual la comunidad pudiera congregarse, comunicarse con familiares, recibir apoyo psicológico

gratuito, comprar comida, acceso a electricidad para cargar sus dispositivos, utilizar equipos médicos para sus terapias y otros. También, habilitaron un área exclusiva para madres lactantes. Se facilitó la cancha del CIAPR a AARP por varias semanas para una operación de preparación de bolsas de compra (artículos básicos) a entregarse en residencias de personas de edad avanzada. La égida del CIAPR fue uno de los lugares beneficiados por esta gestión. Las escenas de humanidad y agradecimiento que se vivieron allí son inolvidables.

El presidente Vázquez Ruiz continuó expresándose en los medios sobre la necesidad de evitar un proceso de reconstrucción desorganizado que nos lleve a repetir los errores del pasado y a realizar esfuerzos para mermar la construcción informal a todos los niveles sociales. De la misma forma, se ha ofrecido un mensaje consistente sobre cómo se debe llevar a cabo el proceso de revisión de códigos de construcción.

Pero más allá de esto, el presidente del CIAPR buscaba soluciones permanentes. Con eso en mente, se realizó una alianza histórica entre el CIAPR y el Colegio de Arquitectos y Arquitectos Paisajistas de Puerto Rico (CAAPPR) para llevar un mensaje urgente sobre la importancia de informarse y contratar a profesionales con el peritaje técnico que puedan construir viviendas y estructuras seguras que resistan embates de la categoría del Huracán María. De ahí nació el proyecto “Mi Casa Resistente”, con el apoyo del Proyecto Enlace del Caño Martín Peña y G-8. Ya ese proyecto se encuentra encaminado y resultará en la construcción de varias casas resistentes y la donación de los planos a la comunidad, para que los repliquen y tengan un techo verdaderamente seguro.

Por otro lado, el CIAPR se expresó de manera contundente sobre la alternativa disponible a la AEE de reevaluar la decisión de mantener fuera de servicio la planta generatriz Palo Seco durante la restauración del servicio eléctrico a la zona metropolitana. Su postura salió en titulares importantes cuando expresó su opinión sobre el contenido en el informe de la condición estructural de la planta generatriz y su oferta de alternativas para acortar el tiempo de su reapertura. A esos efectos, fueron convocados por el Senado de Puerto Rico para colaborar en la reevaluación de las condiciones de la planta y formaron parte de la Comisión Conjunta del Senado y Cámara que realizó la vista ocular de Palo Seco.

La Comisión Especial rindió el informe detallado al senado de Puerto Rico y mediante conferencia de prensa, junto con el Senador Ing. Larry Seilhamer Rodríguez, se hicieron públicos los hallazgos del informe. El asunto fue difundido ampliamente

por los medios noticiosos y se produjeron entrevistas subsiguientes en: Wapa TV, Radio Isla, Wapa Radio, El Vocero, WIPR, Radio Universidad y Bloomberg News. El Senado de Puerto Rico se expresó consistentemente en apoyo a los hallazgos y recomendaciones del CIAPR y todos sus señalamientos fueron corroborados en las semanas subsiguientes.

Por otra parte, el Colegio está colaborando con la oficina de Gerencia de Permisos (OGPe) en el proceso de revisión de los códigos de construcción. Se asignó un delegado del CIAPR a participar como coordinador del proceso y se están formando los sub-comités que serán parte del proceso de revisión. También, el CIAPR colaboró con el Departamento de Educación mediante un cuerpo de profesionales voluntarios para inspeccionar sobre 200 escuelas.

La presencia en los medios también se refuerza con las aportaciones sobre temas de Agrimensura, que vienen por vía de un Plan de Desarrollo y Crecimiento de la Agrimensura confeccionado por el Instituto de Agrimensores y el Vicepresidente por los Agrimensores. Los artículos técnicos de esta profesión reseñados en prensa escrita comienzan a tener una recepción excelente por parte de los lectores. El Instituto de Agrimensores también presentó el seminario "Modernization of the National Spatial Reference System:

Keeping Pace with Changes in Positioning Technology and User Expectations in a Dynamic World". De igual forma, el capítulo de Carolina impactó positivamente con el seminario Sistemas Fotovoltaicos con Respaldo de Baterías.

El CIAPR está trabajando arduamente para la semana del Ingeniero y el Agrimensor, con la Expo-Cumbre del CIAPR como foco principal y cuya temática será La Ingeniería y la Agrimensura en la Reinención de Puerto Rico.

También, se activó la Fundación del CIAPR con un enfoque definido y una agenda agresiva de trabajo para realizar importantes legados de índole comunitaria y en beneficio de las profesiones.

Puerto Rico reconoce al CIAPR como una entidad importante para lograr con éxito la reconstrucción sostenida del país. Su opinión y pericia resuena a nivel público como mecanismo de orientación y servicio ciudadano en forma objetiva e imparcial. En estos momentos el país necesita más que nunca entidades con credibilidad.

Como dijo Bill Gates, fundador de Microsoft, los líderes son aquellos que impulsan a otros. Sin duda, el liderazgo del CIAPR ha quedado plasmado en la historia.



# MAC Engineering & Electrical Testing, P.S.C

Your Power Quality Consultant

Certified Power Quality Consultants and Energy Managers by the Association of Energy Engineers

## Engineering & Services

- Electrical Design
- Electrical Construction
- Power Factor Correction
- Power Quality Analysis
- Power Quantity Surveys
- Arc Flash Hazard Analysis
- Short Circuit and Coordination Studies
- Energy Management
- Electrical Substation Maintenance and Acceptance Testing
- Thermal Imaging Surveys
- Power Quality Mitigation
- Educational Seminars
- NFPA 70E Training

## Products

- Power Monitoring Equipment
- Power Factor Correction Capacitors
- Harmonic Filters
- High Voltage S&C Fuses and End Fittings
- HV & LV Voltage optimization systems
- Single-To-Three Phase Power Converters
- Current transformers (CT)
- Potential Transformers (PT)
- Customized Electrical Switchgears and Enclosures
- Static and Rotary UPS Systems

# (787) 307-6581

428 Road 693, PMB-382, Dorado, PR 00646 • Fax (787) 796-7156 • Email: [info@mac-engineering.com](mailto:info@mac-engineering.com)



## CLEANER ENERGY FOR A BETTER FUTURE



- Economical
- Environmentally friendly
- Sustainable
- Reliable
- Independent

**BIOGAS:** The natural Choice  
**SEWAGE GAS:** Economical power for treatment facilities  
**LANDFILL GAS:** Making waste useful

- Maximum Efficiency in minimum space
- Exceptional Performance
- Exceptional Flexibility
- Complete Maintenance and support

Tel. (787) 622-9330  
[www.antillespower.net](http://www.antillespower.net)  
EXCLUSIVE DISTRIBUTOR



## THE POWER OF ENERGY

# CLAVES PARA AFRONTAR LA CATÁSTROFE Y LA OPORTUNIDAD CON RESPONSABILIDAD SOCIAL Y ÉXITO EMPRESARIAL

José Domingo Pérez Muñiz, API, PE

En la mañana del martes 19 de septiembre del 2017, en su inocencia, muchos niños de Puerto Rico celebraban no tener que ir a la escuela mientras sus padres hacían preparativos para un huracán de categoría 5, que había desolado islas vecinas y les mantenía incomunicadas con el mundo exterior.

Como se pudo conocer muy poco después, no había motivo alguno para que los niños celebraran, como tampoco resultaron suficientes los preparativos de los ciudadanos ni los del gobierno. Los vientos del Huracán María comenzaron a desatar su furia sobre la isla de Vieques en la noche del martes y, en la madrugada del miércoles 20 de septiembre, se ensañaban sobre la isla de Puerto Rico, causando la mayor destrucción y las mayores pérdidas de las que se tenga conocimiento en el archipiélago boricua.

El colapso de puentes y obstrucciones sobre importantes tramos del sistema vial impedía la transportación de asistencia, combustibles y víveres. La ausencia de generación eléctrica y la destrucción masiva del sistema de distribución eléctrica impedía la prestación de servicios médicos esenciales y el desarrollo de otras múltiples actividades básicas.

La falta de energía minó el sistema de comunicaciones y, en corto tiempo, se vino al suelo una buena parte de lo que había subsistido al colapso de torres de transmisión. La falta de acceso vial y la carencia de combustible también hicieron mella al impedir la operación de los generadores eléctricos que podían proveer algún grado de autonomía a la comunicación inalámbrica.

Con la ausencia de comunicación entre los responsables de ello, no se pudieron implementar elementos claves de los planes de contingencia del gobierno ni tampoco muchos de la empresa privada. Sin subterfugios ni eufemismos, Puerto Rico cayó en un caos nunca antes visto y el gobierno impuso un toque de queda.

A la reticencia de los ciudadanos de abandonar frágiles viviendas y áreas de alto riesgo hasta que “la autoridad”, personalizada a menudo por los alcaldes, logró convencerles de que encontrarían seguridad bajo su tutela, prosiguió un sentir generalizado de impotencia. En una isla sujeta por más de cinco siglos a determinaciones de una metrópolis, se manifestaba en muchos esa mentalidad de dependencia entronizada, que inhibía la toma de decisiones propias, incluyendo aún aquellas revestidas de la mayor urgencia para la sobrevivencia.

La dependencia emocional de los individuos, cuya subsistencia en algunos casos se apoya en programas de asistencia nutricional y social, con los cuales las estructuras políticas

abonan la cosecha electoral, se observaba también entre algunos profesionales y empresarios abatidos por circunstancias que nunca habían vivido, sobre todo entre aquellos que solían solamente acometer proyectos cuyo rendimiento era subsidiado o garantizado por los gobiernos, a pesar de conocer como estos han fallado por décadas.

Ante el cuadro descrito, resulta oportuno analizar cómo distintos sectores de la sociedad, y en particular los profesionales y empresarios, afrontaron la catástrofe causada por el Huracán María y la secuela de eventos que le ha tocado vivir a todos en Puerto Rico.

Quienes más pronto pudieron afrontar, mitigar y superar la catástrofe fueron los que reconocieron que el peligro entraña oportunidades, tal como se sintetiza *crisis* en el ideograma chino 危机 *Wēiji*. Los exitosos fueron aquellos que se habían preparado para el evento y lo que les sucedería; los que reconocieron que para superar el *peligro* se requiere capacitación, preparación, organización e iniciativa, elementos indispensables, para aprovechar la *oportunidad*, con responsabilidad personal, profesional y social.

Así pues, mientras algunos esperaban que les albergaran y otros se limitaban a proteger su propiedad, otros instrumentaron medidas agresivas en planes de contingencia para proseguir sus operaciones, sin importar cuales fueran los efectos del huracán. De esa forma, antes que cerraran los puertos, en anticipación a lo que ocurrió con el sistema eléctrico, algunas empresas aseguraron tener en la isla fuentes adicionales para la generación continua de electricidad para la totalidad de sus necesidades. Como resultado de eso, a solo horas o días del paso del huracán, éstas pudieron suplir la demanda, anticipada y adicional, de sus productos y servicios.

Por otro lado, conscientes de la importancia de las comunicaciones, profesionales y empresas líderes en los distintos sectores gestionaron redundancia, obtuvieron unidades de comunicación adicionales, en algunos casos con servicio satelital y contrataron servicio con diversos proveedores. De esta forma la caída del servicio en alguna área de alguna de las redes no significaba la pérdida automática de los canales de comunicación con empleados, suplidores y clientes.

Un ejemplo en el sector industrial de lo anterior es la planta embotelladora de gaseosas en Cayey, la cual, por haber gestionado y obtenido equipos de generación eléctrica para satisfacer ininterrumpidamente toda su demanda, pudo reanudar operaciones en cuestión de días. Como consecuencia de la previsión e implementación de sus planes de contingencia, dicha firma pudo a su vez ejercer un alto grado de responsabilidad social, suministrando agua y productos

de forma gratuita a trabajadores en gestiones de rescate y recuperación, así como a ciudadanos en necesidad.

Si bien asegurar el suministro de energía y mantener las comunicaciones resultan tan indispensables en la gestión profesional y empresarial como asegurar la disponibilidad del oxígeno que respiramos y la circulación de la sangre por arterias y capilares, esto no ocurriría sin elementos esenciales de gestión que tienen que trascender el entorno geográfico, político y social.

En el caso de Puerto Rico, esos elementos de gestión requieren superar una mentalidad insular, de ordinario restringida por consideraciones geográficas y supeditada a consideraciones políticas, que durante siglos han formado parte inherente de nuestra historia. Desde esta perspectiva, debe superarse el que se considere suficiente satisfacer la norma del país, o aún “lo mejor de dos mundos”, cuando en múltiples sectores encontramos profesionales y empresas de clase mundial que evidencian nuestra capacidad para que el objetivo sea lo mejor de todo el mundo.

En virtud de lo expuesto, deben descartarse las “razones” o las excusas para no ser parte activa de los esfuerzos realizados y por realizar para la mitigación, la estabilización de infraestructuras y sistemas, la reconstrucción de lo que corresponde y el remplazo de forma óptima de cuanto corresponde diseñar y construir. Concretamente, nadie debe argumentar no ser parte del proceso porque éste entraña requisitos que lo hacen inaccesible. Tales planteamientos solo pueden satisfacer al que los arguye y que de esa forma se resigna a no afrontar los riesgos y dejar pasar magníficas oportunidades de crecimiento profesional, empresarial, que a su vez brindan el privilegio de poder aportar a la recuperación y la reconstrucción del país.

Debe reconocerse que la reacción a un evento de la **dimensión** del Huracán María ha sido la de aguas inexploradas y que ciertas iniciativas han resultado inoficiosas, aunque concebiblemente puedan haber sido bien intencionadas. Entre estas pudieran incluirse aquellas relacionadas a la selección de firmas que pueden no haber representado la alternativa óptima. Sin embargo, debe reconocerse que tanto el Gobierno de Puerto Rico como las autoridades de los Estados Unidos que han participado en esfuerzos de mitigación han mostrado sensibilidad en atender situaciones que han sido cuestionadas.

Ejemplos de situaciones oportunamente atendidas incluyen aquellas relacionadas a la contratación de importantes trabajos en el sistema de distribución eléctrica y a la contratación para instalar toldos sobre hogares que perdieron sus techos. En el caso de las reparaciones a los sistemas de distribución eléctrica encontramos que, aunque se otorgaron contratos sustanciales a firmas de los EEUU, una parte sustancial de los trabajos ha sido ejecutada por decenas de contratistas puertorriqueños, comprometidos con sus trabajadores y con el pueblo de Puerto Rico.

El caso de la contratación para la instalación de los toldos merece un apartado por separado. En este caso, a pesar de que el ente contratante adjudicó a una firma de los EEUU uno

de los mayores contratos, Venegas Construction, empresa puertorriqueña con más de medio siglo de tradición, apeló dicha adjudicación. Con su acción, no solo logró revertir la adjudicación y lograr un importante contrato, sino que demostró que, con capacidad, determinación, tesón y una férrea voluntad, se puede competir, triunfar y sobresalir ante las más adversas circunstancias.

Otro programa que destaca entre las iniciativas que se han desarrollado para mitigar los daños causados por el huracán es Tu Hogar Renace, programa con el cual se anticipa poder establecer un mínimo de condiciones esenciales para que más de 100,000 familias puertorriqueñas tengan un hogar seguro en el cual puedan afrontar eventos climatológicos sin la necesidad de tener que desplazarse a un refugio temporero.

Debido a las ambiciosas metas del programa, y el breve término dentro del cual se propuso alcanzarlas, se establecieron altísimas normas y requisitos de cualificación para poder presentar propuestas. Entre estas se requirió evidenciar la capacidad para afianzar un contrato individual de nueve cifras y contar con aval de crédito bancario de ocho cifras medianas. Ante tales requisitos, se escucharon voces de que los mismos discriminaban contra las empresas puertorriqueñas y que el proceso estaba diseñado para que solo empresas del exterior pudieran participar y ser contratadas.

Si bien el proceso llamó la atención de compañías estadounidenses especializadas en este tipo de proyecto, y de al menos otra compañía latinoamericana, el proceso no excluyó la participación de empresas puertorriqueñas. Con los riesgos y retos que ello representaba, un número de empresas vieron la oportunidad y diseñaron estrategias para cumplir con los requisitos en la solicitud de propuestas y, efectivamente, competir para ejecutar los trabajos contemplados.

Al finalizar el proceso, se contrataron a siete firmas para ejecutar los trabajos del programa Tu Hogar Renace. De entre dichas firmas, se incluyeron a cuatro que cuentan con capital puertorriqueño y que, a pesar de los imponentes requisitos establecidos para la cualificación, eligieron no amilanarse, aquilataron los riesgos, desarrollaron sus estrategias y accedieron a la oportunidad.

Expuestos los ejemplos precedentes, resulta oportuno identificar algunos de los elementos que pueden determinarse como claves para haber logrado superar los retos enfrentados y acceder exitosamente a las oportunidades enumeradas, ya que los resultados en uno u otro caso no representan un golpe de suerte, sino que más bien son producto de un esfuerzo bien organizado y mejor planificado.

Si algo resulta común al acometer todas las gestiones empresariales mencionadas es la importancia de la capacitación de cuantos intervienen en los procesos, sean trabajadores diestros, de apoyo, de supervisión o gerenciales. Sobre este particular es imperativo tener presente que la capacitación es un objetivo siempre en movimiento y que la excelencia se alcanza efímeramente si se detiene el proceso de aprendizaje y se pretende acometer nuevos retos con viejas destrezas.

Como corolario al axioma expuesto, el acometer exitosamente proyectos de diseño, de construcción o de cualquier

naturaleza conlleva contar con las licencias que emite el estado para cada profesión u oficio. Por un lado, con los requisitos de educación continua ordinariamente asociados a la renovación de licencias, se establece una nueva norma de conocimiento mínimo para cada profesión u oficio, con lo que la sociedad puede evaluar aquello que éticamente corresponde al usuario o cliente.

Por otro lado, más allá de los requisitos de ley para la emisión y renovación de licencias, así como los requisitos de la colegiación requerida para las profesiones doctas y múltiples oficios, con la revisión periódica de las licencias se logra elevar el nivel de conocimiento y el profesionalismo que sirve de garantía de seguridad para la sociedad.

Otro elemento presente en cada historia de éxito es la disponibilidad y la accesibilidad de la información crítica y sensitiva que resulta necesaria para la toma de decisiones estratégicas, para la implementación de procesos gerenciales y para ejecutar con precisión los trabajos requeridos. En este aspecto, se observa que aquellos profesionales y empresas que no escatimaron en establecer redundancia en sus sistemas de comunicación pudieron tener accesibles los datos necesarios para tomar decisiones críticas, hacer proyecciones efectivas y compartir con toda la organización la información necesaria para ejecutar como se planificaría.

En cada una de las historias de éxito estudiadas encontramos que, si bien puede haber distintas estructuras organizacionales, en todas y cada una de ellas se encuentra como denominador común el que cada integrante tiene claras sus áreas de competencia y sus responsabilidades. Así pues, aunque en algunas organizaciones la responsabilidad de adquisición y compras está totalmente centralizada, en otras tal responsabilidad está segmentada por orden de magnitud y, aún en otras, se opera con amplia autonomía por divisiones o proyectos. En todas las exitosas está claro a quien corresponde hacer cada gestión y el límite dentro del cual pueden ejercer las prerrogativas correspondientes.

Una máxima que puede repetirse constantemente, sin que ello constituya un abuso o sin que se considere sucumbir a un cliché, es aquella sobre el recurso más importante de una empresa, que es sin lugar a duda su recurso humano. Por su importancia y relevancia, este particular merece exponer algunas medidas que tomaron algunas empresas para asegurar contar con estos recursos al máximo de su potencial en el menor tiempo posible, tras el paso del huracán.

Una de las acciones tomadas por un importante contratista de telecomunicaciones fue la de ordenar por avión generadores de electricidad portátiles para su personal clave. Dicha opción, al igual que la que tomamos otros al adquirir unidades y hacerlas disponibles en calidad de préstamo a gerentes, supervisores y otro personal, evidenció ante ellos cuanto les valoramos. Además del elemento humano de atender necesidades básicas de las familias de dicho personal, tal consideración les liberaba tiempo del que requería atender algunas responsabilidades adicionales debido a la carencia de suministro eléctrico.

Otra gestión hecha en beneficio de quienes lo necesitaban fue la adquisición de combustible que, con los controles

apropiados, se hacía disponible en un centro de distribución establecido por la empresa. Si bien tal gestión requirió allegar equipos, personal y otros costos directos que no podrían recuperarse, esta iniciativa permitía que muchos empleados llegaran a los proyectos, con la certeza de que tendrían combustible para regresar a sus hogares, aún si trabajaban horarios extraordinarios, ya que no tendrían que esperar por horas haciendo interminables turnos en gasolineras sin garantía de que al acceder a las bombas hubiese combustible.

De entre las múltiples iniciativas desarrolladas, otra clave fue el adquirir nuevo equipo para la confección de hielo que se hizo disponible a todo el personal. De esta forma, quienes no contaban con un generador, o hacían uso limitado para controlar el gasto de combustible, tenían un método alternativo para conservar alimentos que requerían refrigeración y podían compartir con hijos y cónyuges el agua fría que individualmente disfrutaban mientras trabajaban en los proyectos.

Aseguradas las necesidades personales básicas de empleados y familiares, correspondía también obtener y asegurar los suministros a incorporarse a las obras. Esta gestión de ordinario representa diferenciales sustanciales entre los costos de una empresa y otra. En un entorno de alta demanda de materiales y equipos de construcción, agravado por las leyes que restringen la transportación entre los EEUU y Puerto Rico a un limitadísimo número de navíos, se requería de mucho ingenio y creatividad. Además, en algunos casos, había que estar dispuestos a absorber los costos adicionales de transportación aérea para lograr cumplir con plazos fijados con antelación y satisfacer las expectativas de clientes cuyo grado de comprensión podía variar ampliamente.

Para lograr acceder al suministro de materiales y equipos necesarios se requirió establecer cadenas de suministro con nuevos suplidores. Careciendo de relaciones comerciales con algunos de ellos, resultaba vital contar con recursos financieros que permitieran la adquisición oportuna de bienes y servicios, así como con documentación financiera actualizada que permitiera ampliar la base crediticia a corto plazo.

Las circunstancias vividas en Puerto Rico tras el paso del Huracán María probaron el valor del crédito para quienes lo han cuidado y nutrido como corresponde. La limitada oferta disponible de algunos materiales productos y servicios se canalizó preferentemente a las empresas de mayor reputación y consideración para con sus proveedores y suplidores. Por otro lado, el contar con líneas de crédito bancarias para poder afrontar sucesos inesperados permitió la adquisición de bienes y productos de fuentes alternas con las cuales no existían relaciones comerciales previas.

Al evaluar el papel del crédito comercial, así como el del crédito bancario, en uno y otro caso se hacía evidente el viejo adagio de que *es mejor tener crédito y no necesitarlo, que necesitarlo y no tenerlo*.

Las circunstancias post huracán también evidenciaron cuán importante es mantener al día toda la documentación profesional y empresarial, más allá de aquella estrictamente financiera. Como reseñado, para todas las licitaciones y solicitudes de propuestas públicas como privadas,

incluyendo aquellas que se consideran casos de emergencia, se requiere proveer extensa documentación profesional y de la empresa, para la que en algunos casos puede que se concedan apenas unas horas, precisamente por tratarse de emergencias. El mantener un acervo de documentos actualizados es vital para poder reaccionar con premura y poder aprovechar oportunidades que pueden desaparecer con pasmosa volatilidad.

No menos importante es conocer con precisión que se tiene y de que se adolece. El conocer los recursos con los que se cuentan permite encaminar los esfuerzos profesionales y empresariales a las áreas de mayor fortaleza. Estas deben ser aquellas donde puede anticiparse la mayor probabilidad de éxito y concebiblemente donde se encuentre el mayor rendimiento. Sin embargo, conocer con certeza aquello que se carece permitirá identificar socios comerciales que complementen las fortalezas de unos y otros. Ejemplo de ello lo podemos encontrar en la confección de empresas conjuntas que ha resultado exitosas en su ejecución y producción.

Como complemento a lo anterior, debe tenerse presente el valor de las relaciones personales, profesionales y empresariales. Las redes de relaciones permiten identificar la forma óptima de acometer distintos proyectos ante diferentes circunstancias. Mientras en alguna ocasión pudiera ser conveniente realizar ciertas actividades totalmente con recursos propios, en otras pudiera ser más eficiente su

subcontratación, nuevamente reconociendo las fortalezas y las carencias de la organización.

***La capacidad de profesionales y empresarios puertorriqueños para afrontar la catástrofe causada por el Huracán María, con responsabilidad social y éxito empresarial, evidencia que podemos trascender nuestro entorno y aspirar a lo mejor de todo el mundo.***

### Nota Biográfica

El Ing. José Domingo Pérez Muñoz, presidente de la Academia Puertorriqueña de Ingeniería, recibió su título de Ingeniero Civil del Instituto Tecnológico de Georgia. Preside la empresa Caribe Tecno, desarrolladora y edificadora de una amplia gama de icónicos y relevantes proyectos que han sido reconocidos nacional e internacionalmente como obras sobresalientes de ingeniería y construcción por su excelencia en diseño, construcción, innovación e impacto social. Presidió el Instituto de Ingenieros Civiles, la Asociación de Contratistas Generales de Puerto Rico y la Junta de Directores del Sistema Universitario Ana G. Méndez.

Sus aportaciones a la profesión, a la educación, a las artes y al país le han ganado múltiples reconocimientos por organizaciones cívicas, profesionales, educativas, culturales y gubernamentales, de entre las que destaca la designación de la escuela de ingeniería de La Universidad del Turabo como Escuela de Ingeniería Ing. José Domingo Pérez.

CMA  
ARCHITECTS &  
ENGINEERS LLC

**YOUR ONE STOP SHOP FOR YOUR NEXT PROJECT**

Public Buildings • Housing • Health and Social Facilities • Communications • Energy • Transportation • Natural & Cultural Resources • Potable Water • Sanitary Sewer • Emergency Services Temporary Facilities

BUILDING A **STRONGER** PUERTO RICO

civil • transportation • structural • architecture • mechanical • electrical • environmental  
permitting • project & construction management



Puerto Rico | Florida | US Virgin Islands

[www.cmapr.com](http://www.cmapr.com)

**CLEAN AIR CONTRACTORS**

• Hongos • Bacterias • Virus  
• Malos Olores • Contaminación

[sales@cleanaircontractors.com](mailto:sales@cleanaircontractors.com)

**787-855-4869**

Alcancamos el **99%** de efectividad en la  
desinfección y control de microorganismo



***DURASEAL ROOFING***

***“Setting The Standard In  
Roofing For 25 Years”.***







[wendy@durasealroofing.com](mailto:wendy@durasealroofing.com)

**787.360.0306**

# CONSTRUYENDO A PUERTO RICO CONTIGO



    #puertoricoseconstruyeaquí

**CEMENTO  
PONCE**

Hoy más que nunca, reafirmamos nuestro compromiso con cada uno de nuestros clientes en el proceso de reconstrucción y transformación de nuestra isla.

En CEMEX PUERTO RICO estamos operando y ofreciendo soluciones de construcción a través de todas las operaciones.

**Llama al 787-503-0000, ¡estamos listos para servirte!**



**Juntos demostraremos una vez más como Puerto Rico se construye aquí.**



# EL AEROPUERTO INTERNACIONAL LUIS MUÑOZ MARÍN, LA PUERTA A PUERTO RICO

Pablo G. Auffant Matos

**A**erostar Airport Holdings, LLC, una corporación puertorriqueña, es la única compañía privada que opera en su totalidad un aeropuerto público en los Estados Unidos de América a través de una alianza público privada: el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín.

El pasado 28 de febrero de 2018, celebramos el quinto aniversario de nuestra empresa. Durante la Semana de la Transportación compartimos algunos de nuestros logros, nuestros esfuerzos de recuperación luego del Huracán María y algunos proyectos futuros.

Las pistas de un aeropuerto son el comienzo y el final de la carretera en el cielo que nos permite movernos y compartir con otras personas en otras ciudades y países alrededor del mundo. Los aeropuertos son parte de un sistema mundial de infraestructura de transportación que es crítica para el diario vivir, particularmente para nuestra querida isla y por eso me refiero a este como la “Puerta a Puerto Rico.”

El aeropuerto --a través de nuestra empresa, las líneas aéreas y de carga, compañías de transportación, agencias federales y estatales, restaurantes y otras de servicios a pasajeros-- provee empleos a aproximadamente 8,000 personas. Treinta y una líneas aéreas proveen acceso a nuestro pueblo a más de 50 destinos, incluyendo 19 internacionales. Más de 8.5 millones de pasajeros utilizaron el aeropuerto el año pasado.

Como dato importante, cabe resaltar que en estos 5 años no hemos tenido ningún señalamiento negativo durante las inspecciones anuales de la Administración Federal de Aviación para certificación del aeropuerto para operaciones comerciales y hemos sido reconocidos por la región sur de la misma agencia como aeropuerto comercial del año.

Algunos términos de nuestro contrato incluyen: vigencia por 40 años; inversión inicial de \$615 millones; pagos anuales de 5% de los ingresos brutos; además de +/- \$0.5 millón anual en patentes municipales. Comenzamos al frente del aeropuerto con retos que incluían mejoras a facilidades y optimización del procesamiento de seguridad de pasajeros y sus maletas, así como los sistemas mecánicos como elevadores y escaleras mecánicas. Durante estos 5 años, Aerostar ha invertido aproximadamente \$170 millones en mejoras permanentes y \$50 millones en mantenimiento y rehabilitación de facilidades. Algunas de las mejoras permanentes implementadas incluyen:

- rehabilitación completa de los terminales B y C;
- la consolidación de los puntos de cotejo de seguridad para pasajeros;
- la instalación de un moderno sistema para el cotejo de seguridad para los equipajes;
- el reemplazo de sobre 20 puentes de abordaje a los aviones;
- mejoras a los ascensores y escaleras mecánicas;

- sistemas de iluminación;
- sistemas de información de vuelos para los pasajeros;
- mejoras a áreas de seguridad de la pista principal 8-26.



El mes de septiembre del año 2017 nos trajo grandes retos al igual que a todo nuestro Puerto Rico. El Huracán María nos castigó sin piedad.

**Este enlace, <https://aeropuertosju.sharefile.com/d-s4467b6e04e94e558>**, les da acceso a un breve video que captura muchos de los daños al aeropuerto y algunos de nuestros esfuerzos para recuperarnos de estos.

Una vez pasado el fenómeno, nuestro equipo de Aerostar habilitó rápidamente el aeropuerto, permitiendo el flujo de ayuda de emergencia. A diferencia de aeropuertos como el de Miami, que estuvo cerrado varios días luego del paso del Huracán Irma, el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín estuvo disponible y:

- procesó operaciones de aviones militares en las primeras 24 horas luego del paso de María;
- en 48 horas comenzaron operaciones de aviación comercial limitadas;
- En 10 días regresó el servicio eléctrico al aeropuerto;
- en 30 días completamos el sellado temporero de los techos sobre áreas operacionales;
- en 60 días luego de implantar mejoras de mitigación recobramos el uso del terminal B, justo antes de la temporada alta de Navidad.



Reconocemos y agradecemos además la asistencia de la Autoridad de los Puertos de Nueva York y New Jersey (PANYNJ) cuando pasada la emergencia y luego de estabilizadas las operaciones nos ayudaron con personal y materiales y equipo por 30 días durante el periodo de recuperación. Trabajando en conjunto con nuestro personal nos ayudaron en labores de seguridad, remoción de escombros, reparación y reemplazo de sistemas eléctricos, mecánicos, estructurales y de aires acondicionados (HVAC).

El costo estimado de reparaciones por los daños causados por el Huracán María en el aeropuerto es de aproximadamente \$86 millones.

Los proyectos de reconstrucción permanente incluyen:

- Reconstrucción de techos de los terminales.
- Reparación de daños a las facilidades de terminales.
- Reparaciones de hangares y otros edificios metálicos.
- Renovación de tres plazas de abordaje del Terminal D.
- Remoción de escombros.
- Reconstrucción del terminal D.
- Reconstrucción de Aduanas e Inmigración.
- Reconstrucción de rotulación vial.

La recuperación del aeropuerto y sus operaciones en forma hábil fue como resultado de:

- La inversión original en la modernización de sistemas a través del aeropuerto,
- operar como un ente privado con capital propio y flexibilidad / agilidad en la adquisición de materiales, equipos y la contratación de servicios profesionales



Las lecciones aprendidas incluyen la importancia de contar con un sistema que provea redundancia al servicio eléctrico en nuestro entorno. Sobrevivimos los 10 días sin electricidad pues contábamos con una serie de generadores eléctricos que mantuvieron en operación sistemas críticos para el procesamiento de pasajeros, maletas y despacho de vuelos de aerolíneas comerciales, aunque no así los sistemas de HVAC que proveen confort a nuestros pasajeros. Mirando al futuro tenemos un equipo desarrollando alternativas para establecer la viabilidad de un sistema de cogeneración eléctrica que supla toda la necesidad de energía eléctrica en nuestras facilidades.

El Huracán María nos sorprendió con retos impredecibles con los que estamos trabajando. La realidad es que la vida en el aeropuerto continúa y seguimos atendiendo los proyectos que teníamos programados a corto plazo. Estos incluyen:

- Reconstrucción de andén de Carga #6.
- Mejoras a la iluminación en áreas operacionales con luminarias de tecnología LED.
- Rehabilitación de la pista 10-28.
- Reconstrucción de la pista 8-26.

La continua implementación de los proyectos de desarrollo aeroportuario tiene el propósito de cumplir con nuestra misión de proveer un servicio de excelencia al pueblo de Puerto Rico a través de LA PUERTA A PUERTO RICO.

### Nota Biográfica

Pablo G. Auffant posee un bachillerato en Ingeniería Civil de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Tiene más de 35 años de experiencia en el servicio civil del gobierno federal, en donde trabajó con NASA en el Centro Espacial Kennedy en diseño de facilidades, con TSA como "Program Manager" de puntos de cotejo de seguridad para pasajeros y maletas y con la Administración Federal de Aviación como planificador e ingeniero de aeropuertos. Desde el 2017 es el Director de Planificación y Desarrollo de Aerostar Airport Holdings, LLC.



# PRHTA BRIDGE ASSESSMENT AND REMEDIATION STRATEGIES POST-HURRICANE MARIA

Alvin Rodríguez, PE, MSCE; Elvin Pérez, PE, MSCE; Mauricio Torres, PE, MECE

**H**urricane María caused serious disruption to Puerto Rico's transportation network, specifically its bridges. This paper describes the damages observed on the pre-screened bridges that required an additional in-depth structural assessment and discussions on proposed remediation measures. Damages include erosion, scouring and slope stability. A Detailed Damage Inspection Report (DDIR) for each bridge was prepared with observed bridge damages, proposed emergency and permanent bridge repair work and an opinion on probable cost per the Federal Highway Administration.

Bridge emergency and permanent repair work are in the order of magnitude of \$10MM, with the emergency repair work determined to be \$5.5MM, an amount that excludes temporary bridge construction work.



On September 20, 2017 Hurricane María made landfall in Yabucoa, Puerto Rico, as a Category 4 hurricane with maximum sustained winds of 155 mph. The hurricane center moved west-northwestward with winds and heavy rainfall widespread over the main island of Puerto Rico where catastrophic and flash floods were reported. The National Weather Service in San Juan preliminarily reported an estimated maximum rainfall between 30 to 37.9 inches in the southeast region of Puerto Rico and between 15 to 25 inches in the central region<sup>1</sup>. Although many stations were not able to report due to damage, the heavy rainfall raised the levels of many rivers to historical levels.

In the weeks following the impact of the storm, the Puerto Rico Highway and Transportation Authority (PRHTA) performed an initial bridge reconnaissance to provide emergency responders and government agencies up-to-date information about the existing conditions of the bridges within the network. From their initial assessment, approximately 200 bridges were identified as requiring in-depth structural assessment due to the damages reported post Hurricane María.

CMA Architects & Engineers LLC formed part of the team contracted by the PRHTA to perform in-depth structural assessments for sixty-seven (67) bridges throughout the island. A Detailed Damage Inspection Report (DDIR) for each bridge was prepared with observed bridge damages, proposed emergency bridge repairs and an opinion on probable cost per the Federal Highway Administration (FHWA). Furthermore, CMA aided PRHTA in providing the necessary information for the contractors to execute the emergency repairs in compliance with the local and federal permitting agencies.

Two teams from CMA consisting of at least three professionals from the fields of civil engineering, structural

engineering and environmental sciences conducted the in-depth structural assessments and field data gathering for permit documentation. During each site visit, the damages observed were documented with photographs, sketches and measurements of damage extent. To assess the notable erosion and scour conditions, upstream and downstream measurements of the river bed were taken. The observation and data obtained were then compared with the latest available pre-hurricane PRHTA bridge inspection report where the pre-existing conditions and the National Bridge Inventory Rating were reported. The DDIR reported only damages to the bridges that corresponded to the hurricane event.

## Damages Observed and Emergency Remediation

Damages registered for each bridge were classified as bridge emergency repairs and bridge permanent repairs. Bridge emergency repairs included work that was determined to be a safety hazard for the functionality and structural stability of the bridge based on the judgment of the assessment team. The damage descriptions corresponded to the observed state of damage: extensive, moderate, slight and no damage. Table 1 refers to the state of damage description classification.

**Table 1.** State of damage description

Damage Classification	Description
Slight	Small debris, no apparent damage to structural elements. Pre-existing condition were not aggravated due to major event
Moderate	Large amount of debris creating river stream blockage and minor footing exposure. Notable erosion on wingwalls and embankment.
Extensive	Potential damage or partial collapse of structural elements due to scouring, slope stability, potential risk to adjacency of nearby structures due to instability at embankment, safety barrier damage

Figure 1 presents the severity damage distribution for the sixty-seven bridges included in the DDIR to the PRHTA.

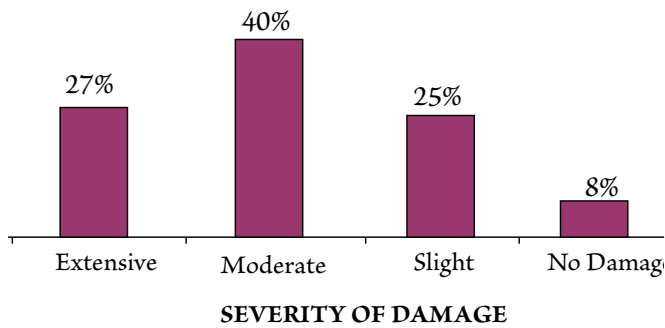


Fig. 1. Bridge severity damage distribution.

Bridge emergency and permanent repair work were on the order of magnitude of \$10MM. The emergency repair work was determined to be \$5.5MM. This amount excluded temporary bridge construction work.

The most common damages observed were: debris accumulation upstream, obstructing the flow of the river; river embankment erosion; scour at wingwall backfill; and erosion and scour around footing areas. In addition, damages were observed to the road pavement and safety barriers due to debris impact and overtopping. Partial collapse of roads and areas adjacent to the embankment and wingwalls were also observed. Pre-existing conditions related to erosion and scour were worsened when compared with the last PRHTA bridge report.

A summary of the damages observed and proposed emergency remediation measures are listed in Table 2.

Table 2. Summary of damages and proposed remediation.

Impacted Area	Damage Observed	Proposed Remediation
River Bed and Embankment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosion and landslide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dumped or grouted riprap</li> <li>Gabions or concrete gravity walls</li> </ul>
Bridge Wingwall	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosion and scour at the backfill</li> <li>Scour at wingwall footings</li> <li>Collapsed wingwall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Backfill with borrowed material</li> <li>Grouted riprap</li> <li>Reconstruction of wingwall with gabions or concrete gravity wall</li> </ul>
Bridge Abutment and pier footings	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exposed footings due to erosion</li> <li>Scour at footings</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pour flowable concrete beneath the footing</li> <li>Protect the footing with grouted riprap</li> </ul>

Impacted Area	Damage Observed	Proposed Remediation
Bridge	Debris accumulation	Debris removal

### Impacted Area: River Bed and Embankment

The river bed and embankment were impacted from the erosion and floating debris caused by the high velocity of the river flow. In the worst cases, adjacent roads or parking lots partially collapsed due to the failure of the embankment. No apparent damage was observed at embankments already protected by gabions or stone revetment.

To prevent further soil slope instability, the installation of riprap over a filter blanket was recommended. For steep slopes, grouted riprap was selected as the soil stabilization method. In cases where protection of an adjacent structure was required, the construction of a gabion gravity wall or a concrete gravity retaining wall as specified in the PRHTA standard drawings were specified.



Fig. 2. Upstream embankment landslide Bridge No. 879, Utuado PR

### Impacted Area: Bridge Wingwalls

During the bridge assessments, it was observed that considerations are needed not only for the upstream embankment, but the downstream embankment as well. It was noted that the overtopping of the bridge roadway in addition to the debris blockage at the bridge underpass created a turbulent condition that caused instability on the downstream embankment. The turbulent flow infiltrated behind the bridge wingwalls resulting in erosion and scour. Similar damage occurred at bridges where the river bank had been diverted over time or had shifted from its original position due to previous major flood events.



Fig. 3. Downstream wingwall slope instability Bridge No. 446, San Sebastián P.R.



Fig. 4. Upstream partial wingwall collapsed Bridge No. 141, Cabo Rojo, PR

To prevent further erosion and instability behind the wingwalls, a deposit of borrowed fill material and the installation of dumped or grouted riprap were considered.

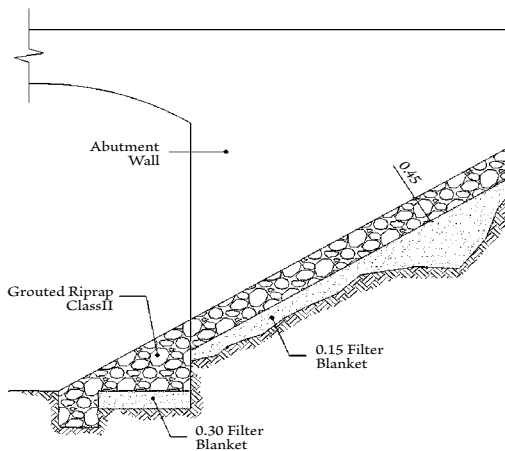


Fig. 5. Typical section of grouted riprap over filter blanket for embankment repair.

## Impacted Area: Bridge Abutment and Pier Footings

The erosion and scour at the abutment and pier footings was one of the observed damages of major concern due to the potential risk of bridge load capacity reduction and instability. After detailed evaluations, measurements and analysis, no apparent load capacity reduction was determined at the assessed bridges. Nonetheless, the critical condition was remediated to avoid incremental degradation due to future flood events.



Fig. 6. Scour and exposed footing and piles at interior pier of Bridge No. 2086, Sabana Grande PR

To address the scouring conditions of the bridge abutment and pier footings, it was determined to specify a flowable concrete pour with a 28-day concrete compressive strength of 500 psi beneath the footing. If the scour extent was measured to be beyond one meter in depth below the existing footing, a filter fabric was placed around the piles to avoid negative friction loads. Negative friction reduces the vertical load carrying capacity of the bridge. A grouted riprap was then installed above the exposed footing with a minimum thickness of 0.45meters with a slope of 2H:1V measured from the river stream line for additional protection.

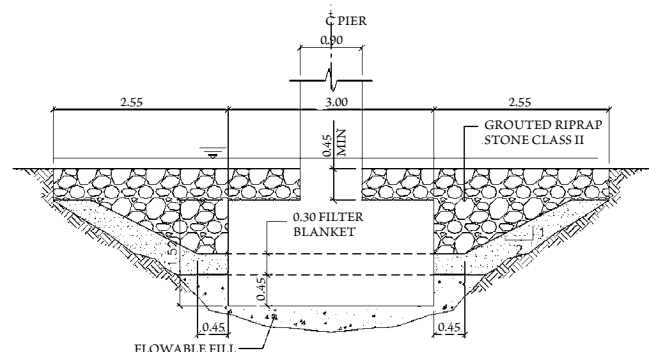


Fig. 7. Typical section for scour and exposed footing repair with flowable fill and grouted riprap.

During the assessment, it was noted that various bridges that had previous scouring damage reports were observed without apparent scouring. The area was further evaluated by probing a measuring rod into the loose sediments, and it was determined that loose sediments from the river flow during the storm had accumulated at the previously observed scoured location, thus aggradation occurred. It was concluded that the loose sediments deposited during the floor event did not have the corresponding properties to be able to safely disregard scouring conditions at the bridge supports. A grout-injection stability procedure and a riprap grouted detail were considered for the emergency stabilization of the footing.

### Impacted Area: Debris Accumulation and Damage due to Impact

The debris accumulation at the upstream side of the bridge was typically observed at all the bridges assessed. The major concern was in low elevation multi-cell box culvert type bridges where the debris accumulated at the upstream thus creating an obstruction to the water flow. This obstruction generated excessive lateral loading at the bridge and in cases creating turbulent flow and instability at the downstream embankment due to river overflow. Damages to the safety barriers at bridges where debris totally obstructed the water flow were observed, thus requiring emergency repairs for safe access. In addition, the asphalt wearing surface on some of the bridges was damaged requiring new asphalt to be placed.



Fig. 8. Typical debris at low elevation multi-cell box culvert type bridges.

The immediate removal of debris was recommended to avoid potential bridge failure due to excessive lateral load. The accumulation of debris at the center piers impeded the detailed inspection at these areas. Future inspections were recommended to assess footing exposure and scour effects



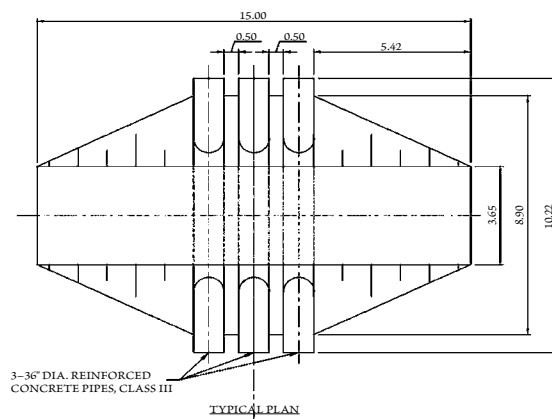
Fig. 9. Damage at approach pavement on Bridge No. 256, San Sebastian PR

### Environmental Consideration for Remediation

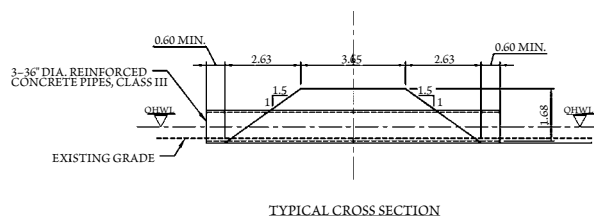
Emergency repair and permanent work to mitigate damages were required to comply with local and federal environmental laws and regulations. An environmental permit from the US Army Corp of Engineers was required for all the work to be performed in the water bodies. For historic structures and roads, a permit from the State Historic Preservation Officer was required. In addition, the documentation related to endangered species or habitats was submitted to the Fish and Wildlife Service.

The permitting documentation required the location and description of the situation and justification for emergency repairs. Photos and description of the damages observed were included along with: sketches showing the proposed work, the Ordinary High Water Level (OHWL), means of entry and exit from the water body and means for dewatering. The areas and volume of impacts were estimated and indicated in the plan drawings.

Most of the work required the removal of debris, removal of loose sediments, and the installation of dumped or grouted riprap inside the limits of OHWL. During the construction phase, soil erosion and sedimentation control measures needed to be implemented to protect the surrounding ecosystem. Furthermore, the installation of silt fences and floating sediment barriers and the construction of earth berms with temporary fill for the transportation of light vehicles and equipment over the river stream were mandated.



(a) Plan



(b) Section

Fig. 10. Typical earth berm plan (a) and section (b) for the temporary bridge access.

Cost of environmental means of emergency and permanent reports were included in the DDIR submitted.

## Conclusion

The flooding event caused by the passing of Hurricane Maria through Puerto Rico significantly impacted the PRHTA bridge infrastructure. Damages to the embankments, wingwalls and bridge footings and piers due to erosion, scouring and debris were extensive. The nature of the damages reveal various vulnerabilities at the bridge downstream embankment and structural elements due to overtopping and turbulent flow that cause instability on those components of the bridge that will require special attention during future bridge assessments and new bridge designs. The proposed repair methods included in the DDIR can be developed further for potential revision to the PRHTA standard drawings.

## Acknowledgement

The in-depth assessment team was supported by the PRHTA Structural Engineering Department and assistants. The writers wish to express their gratitude to Eng. José Marrero who was part of the in-depth field assessment team and the following CMA collaboration team: Eng. Jose Carro, Eng. José O. Colón, Eng. Ricardo Rivera and the Transportation Department and Eng. José Torres, engineers Pedro Janer, Nydia Cardona, José Sepulveda and Juan Fernández from the Environmental Engineering Department.

## Bibliography

- Arneson, L. A., Zevenbergen, L. W., Lagasse, P. F., Clopper, P. E. (2012). "Evaluating Scour at Bridges" Fifth Ed., Report No. FHWA-HIF-12-003, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Browne, T. M., Collins, T. J., Garlich, M. J., et.al. (2010). "Underwater Bridge Repair, Rehabilitation, and Countermeasures", Report No. FHWA-NIH-10-029, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Kumar, A., Khan, A. M., and Yi, Z. (2007). "Handbook of Scour Countermeasure Designs", Final Report, New Jersey Department of Transportation, New Jersey.

Ministry of Environment, Lands and Parks, (2000). "Riprap Design and Construction Guide", Province of British Columbia

Puerto Rico Highway and Transportation Authority (2010). "Standard Drawings", Department of Transportation, San Juan, PR.

## Notes

- 1 National Weather Service Weather Forecast Office San Juan Puerto Rico – Post Tropical Storm Cyclone Report - Maria

## Biographical Notes

Alvin Rodríguez, PE, MSCE  
amrodriguez@cmapr.com

CMA Architects and Engineers LLC

Mr. Rodríguez is an engineer with over 20 years of professional experience in the analysis and design of industrial, healthcare, hospitality, commercial, residential and transportation structural projects. He has been actively engaged in community support and relief activities by participating in earthquake reconnaissance teams and coordinating hurricane relief teams with the Federal Emergency Management Agency.

Elvin J. Pérez, PE, MSCE  
eperez@cmapr.com

CMA Architects and Engineers LLC

Mr. Elvin Pérez specializes in the structural engineering field with emphasis on the structural design, structural condition assessment of existing structures, rehabilitation of structure, and seismic retrofit for a variety of projects in the industrial, residential, commercial, and infrastructure areas.

Mauricio Torres, PE, MECE  
mtorres@cmapr.com

CMA Architects and Engineers LLC. Mr. Torres is an engineer with over 26 years of experience as a professional engineer in the analysis and design of bridges, highway structures and development of standard drawings for the Highway Authority.



# **DURASEAL ROOFING**

***DuraSealRoofing.com***

***Waterproofing & Daylighting***

***Reliable - Professional - Responsible***

## **+25 Years of Experience**

**Environmentally Conscious**

**100% Customer Satisfaction**



### **+ 25 Year Roofs**

Many roofs with FiberTite performed flawlessly during the last hurricane season. Some of which had +25 years of service. Contact us for more details

### **Savings +33%**

Our Sunoptics Skylights have successfully delivered an average of 33% in monthly energy savings to business owners with a typical ROI of 3 years. Furthermore, our skylights are MARIA PROOF. Contact us to learn more.

**[wendy@durasealroofing.com](mailto:wendy@durasealroofing.com)**

**787.360.0306**

# COMPREHENSIVE HURRICANE MARÍA MASS WASTING INVENTORY AND IMPROVED FREQUENCY RATIO LANDSLIDE HAZARD MAPPING: STATUS UPDATE FROM THE UNIVERSITY OF PUERTO RICO AT MAYAGÜEZ

Morales-Vélez, A.C., and Hughes, K.S.

Assistant Professors, UPRM, Department of Civil Engineering and Department of Geology

**T**housands of landslides in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands were triggered by the passage of hurricanes Irma and María in 2017, classified as Category 5 hurricanes on the Saffir-Simpson scale before making landfall. Most of the mass wasting occurred in the rugged mountainous regions of Puerto Rico's interior. Along with bridge collapse, flooding, and the threat of dam failure, these failure sites left many communities isolated for up to a month or longer. We identified a list of priority sites that were documented in detail as part of a National Science Foundation Geotechnical Extreme Event Reconnaissance (NSF-GEER) mission. The remaining thousands of sites are being identified and characterized with imagery datasets and other geospatial data by our team at the University of Puerto Rico, Mayagüez.

The juvenile landscape and short-wavelength topography in most of Puerto Rico present considerable landslide risk that is exaggerated during heavy and fast rainfall events like Hurricane María. Our preliminary work shows that natural escarpments, de-vegetated pastureland in mountainous areas, and road cuts along incised river valleys were areas of concentrated failures during these storms (Hughes and Morales Vélez, 2017). Remarkably, the northern karst area suffered fewer failures than the arc basement rocks exposed elsewhere on the island. In addition to previously active landslides at specific sites on the island, new landslides along PR-143 in the municipality of Barranquitas, PR-431 in the municipality of Lares, and PR-109 in the municipality of Añasco are among important mass wasting events that were a focus of the GEER team and remain important in our ongoing research. A team of undergraduate and graduate students led by faculty at the University of Puerto Rico in Mayagüez are working to characterize the complete inventory of landslides in terms of underlying geology, soil type, slope, local curvature, rainfall amounts during both Hurricanes Irma and María, and other local geomorphic and structural features. This inventory is ongoing (January, 2018) and will serve as the basis for an analytic and modeling process that will produce an updated and calibrated rainfall-induced landslide hazard map for the islands of Puerto Rico, Culebra, and Vieques.

## Hurricane María

The rainfall associated with Hurricane María exceeded the established thresholds of intensity/duration that have been empirically derived for precipitation-induced mass wasting in Puerto Rico (Figure 1; Larsen and Simon, 1993; Pando et al., 2005). The result of the extreme amount of rain—up to 60 inches in some areas according to the US National Weather Service Quantitative Precipitation Estimate (Figure 2)—are an estimate of over 50,000 shallow landslide and debris flow sites (Bessette-Kirton et al., 2017; Cerovski-Darriau et al., 2017) across the main island of the archipelago (Figure 3).

## Inventory

During a site visit in October, staff from the US Geological Survey (USGS) Landslide Hazards program shared a preliminary and partial inventory for an area in northwestern Puerto Rico that was created using satellite imagery captured in the first week after the storm passed. Also in October, the Federal Emergency Management Agency (FEMA) carried out a campaign that produced very high resolution aerial imagery for 97% of the main island that includes over 7,000 individual image tiles. Other sources of high resolution post-event imagery include the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the DigitalGlobe company, and the Civil Air Patrol. These datasets (Figure 4) form the basis for our team's current research endeavor. To date, our group has identified over 7,000 sites, mostly in the municipalities of San Sebastián, Las Marías, Lares, Utuado, Caguas, Jayuya, and Bayamón (Figure 5). The team first reviewed, verified, and added to a preliminary inventory created by the USGS group in parts of northwestern Puerto Rico (Bessette-Kirton et al., 2017). Manual identification of failure sites without a coded raster classification scheme will be valuable so as to “ground-truth” new techniques being developed by colleagues in the field of automated site detection. After the inventory is complete in mid 2018, it will be quality-checked and used to develop a new landslide susceptibility hazard map for the territory.

## Frequency Ratio Modeling

Various landslide susceptibility maps exist for Puerto Rico. Monroe (1979) based his map upon the location of active and ancient landslides, mostly along escarpments within

and at the margin of the North Coast Karst province, his principal geological interest. Most subsequent landslide hazard maps for the parts of or the entire island after Monroe's version were overly biased to one factor (Larsen et al., 2004) or essentially reproductions of his work until the most recent Frequency Ratio (FR) version published by Lepore et al. (2012).

The Frequency Ratio (FR) model (Lee and Pradhan, 2006; Lee et al., 2007) we have chosen to use defines areas of high and low risk based strictly upon empirical data from partial or complete area inventories. It is relatively simple but extremely powerful, if given a robust inventory. The approach has been applied very successfully in the tropical montane zone of Maylasia and also in Korea. The previous frequency ratio (FR) hazard susceptibility map was developed for Puerto Rico but only used small partial and time disparate inventories to develop model parameters (Lepore et al., 2012). The map devised in that study is useful but does not capture the full spectrum of parameters that exist in Puerto Rico. For example, the inventories used did not include any area underlain by intrusive igneous rocks that weather to low-cohesion sandy soils and are especially prone to rainfall induced failure (see correlation of Utuado intrusive body with zone of most dense debris flows in Figure 3). Although devastating, the effects of Hurricane María have left us with an opportunity to base future failure sites in a complete and more useful inventory.

The process will involve various stages and milestones. The general process is visualized in Figure 6. First, each site failure scar will require digitization as a polygon feature. An area for these polygon features will be determined. Next, a suite of factors will be determined for each site. We will concatenate basic information such as slope, curvature, flow accumulation, hillslope aspect, and rainfall amounts in addition to additional factors such as horizontal/vertical distance from road, geological substrate, soil type, geotechnical soil classification, soil shear strength, and vegetation cover. After the data is sorted, natural groups or "bins" within each dataset may be assigned; for example, bins of 10° for slope may be established (0-10°, 10-20°, 20-30°, ...). Then a FR of each bin (i) for each characteristic (f) is calculated using:

$$FR_{fi} = \frac{A_{Lfi} / A_L}{A_{fi} / A}$$

(modified from Lee and Pradhan, 2006 and Lepore et al. 2012)

where  $A_{Lfi} / A_L$  is the ratio of the area of landslides in a bin compared to the combined area of all landslides, and  $A_{fi} / A$  is the ratio of any area with the same bin characteristic to the total study area. The value of  $FR_{fi}$  is interpreted as high landslide correlation if it is greater than 1, or lower correlation if less than 1 (Lee and Pradhan, 2006; Lee et al., 2007). A Landslide Susceptibility Index (LSI) can then be calculated

by summing the FR values for all chosen characteristics; the highest values indicate the highest risk. After determination of the LSI range, the every rasterized pixel across entire study area of Puerto Rico will be reclassified using the pixel's corresponding FR values. The result of this will be a new landslide susceptibility map. The output map LSI limits that denote specific realms of "low," "moderate," "high," and "very high" hazard will be chosen using an established area under the curve (AUC) method (Lee et al., 2004) where landslides in the inventory are compared to the LSI ranking at each site.

## Project Outcomes

After the new hazard map is completed, the project will only be complete once the information is distributed to the appropriate government and community stakeholders. The inventory and hazard map will be stored on the USGS online data repository. The results of the scientific and engineering study of sites will be published in peer-reviewed journals. The most important documents, however, will be delivered to the local authorities. These include the the *Departamento de Recursos Naturales y Ambientales*, the *Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres*, and the *Oficina Municipal para el Manejo de Emergencia* for each of the 78 municipalities. Officials from these agencies will also be invited for organized field trips to discuss the intermediate outcomes and the final products of the investigation. Each municipality and agency will receive both digital and hardcopy products for their area of responsibility and the remainder of Puerto Rico as well. At least two Master's students will dedicate their theses to the project and numerous undergraduate research students will be involved with data accumulation and field testing.

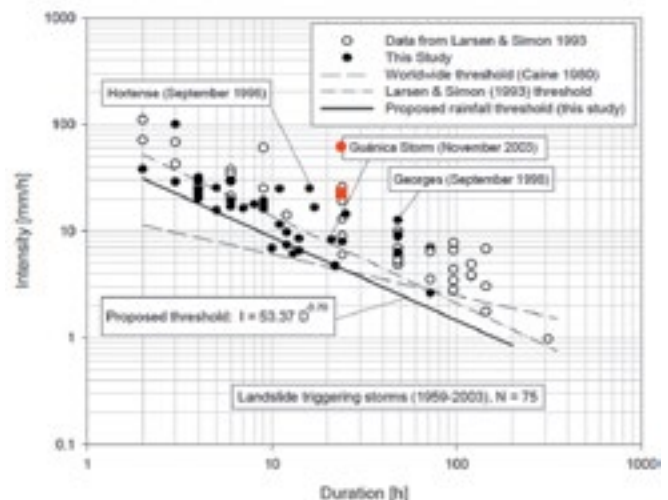


Figure 1: Rainfall Intensity/Duration data from Larsen and Simon (1993) and Pando et al. (2005). Red square is average rainfall intensity for Puerto Rico during Hurricane María. Red circle is maximum rainfall intensity of Hurricane María in northeastern Puerto Rico.

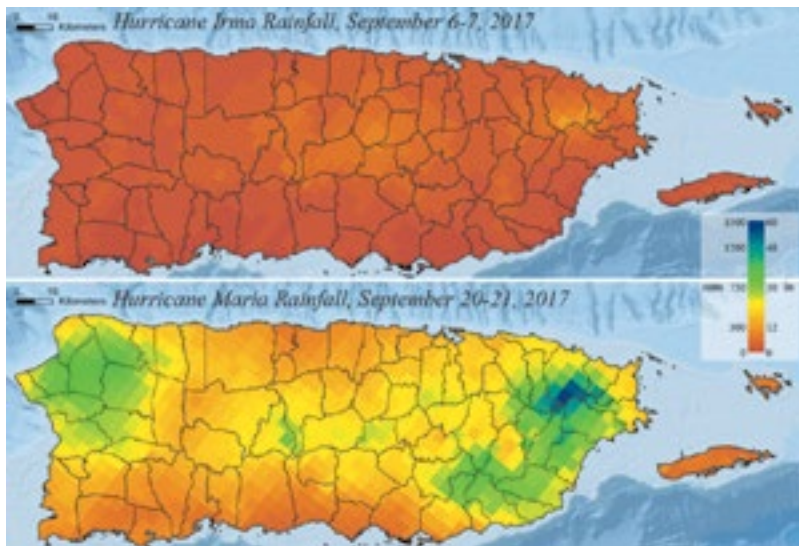


Figure 2: US National Weather Service Quality Precipitation Estimates for the 48 hour period around each storm. Modified from Hughes and Morales Vélez (2017).



Figure 3: Comparison of intrusive bodies with areas of most dense landslide areas. Note the "bullseye" in the area of the Utuado pluton at the central-western interior of the main island. Modified from Bessette-Kirton et al. (2017) and Bawiec (1999). Modified from Hughes and Morales Vélez (2017).

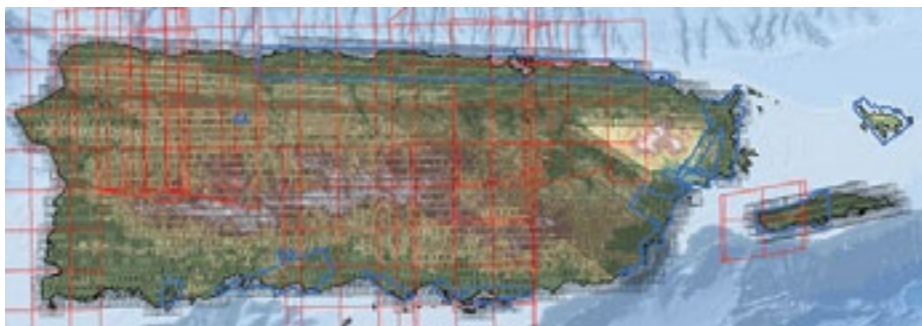


Figure 4: Index of total available imagery at the moment (January, 2018). Black rectangles are FEMA tiles. Blue areas are NOAA imagery. Red tiles are DigitalGlobe images. Modified from Hughes and Morales Vélez (2017).



Figure 5: Status of in-progress landslide inventory as of January, 2018. Over 7,000 sites identified to date. More than 50,000 sites are expected upon the completion of the project.

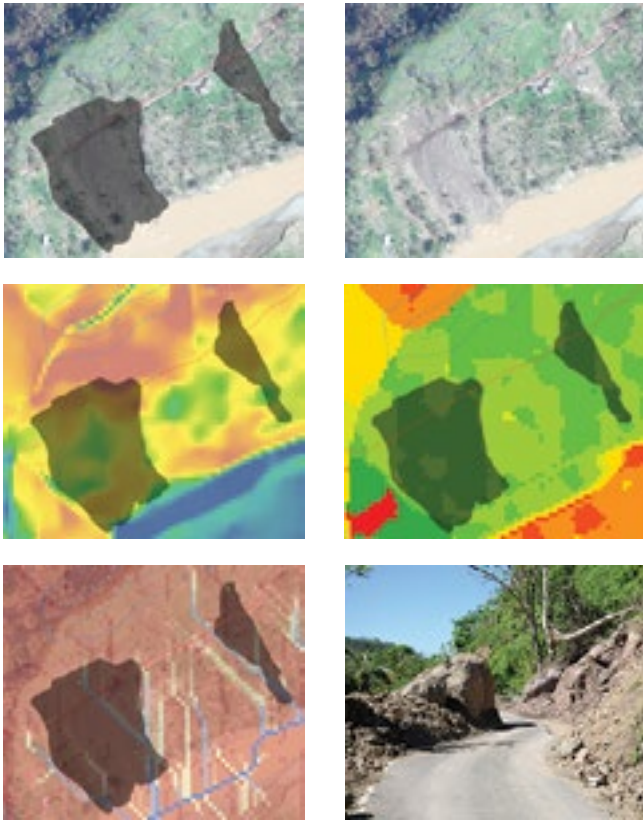


Figure 6: Example of landslide identification, digitization, and characterization examples. a) FEMA photo tile 05836 along PR-109 and the Rio Grande de Añasco in western Puerto Rico. Red line is from the US Census Bureau TIGER roads shapefile and demonstrates good match in the datasets. Blue lines are 20m contours. b) Points and polygons for the two visible failures digitized using the aerial imagery. The area of each event can be detected from these features. c) Digitized features compared with the local slope map derived from the 5m digital elevation model on hand. Blue = low slope; Red = high slope. Note steep slope in the headscarp areas. d) Digitized features compared with aspect map of the same area. Green = south and south-east; Yellow = West; Red = north. e) Same features compared with a flow accumulation raster. Red = low accumulation; Blue = high accumulation. Notice the relationship between the failure sites and the small drainage zones defined by the flow accumulation model. f) real-world view on PR-109 of the more northeastern site in tiles a-e.

## References:

- Bawiec, W.J., ed., 1999, Geology, geochemistry, geophysics, mineral occurrences and mineral resource assessment for the Commonwealth of Puerto Rico: United States Geological Survey Open-File Report 98-038, available online only.
- Bessette-Kirton, E.K., Coe, J.A., Godt, J.W., Kean, J.W., Rengers, F.K., Schulz, W.H., Baum, R.L., Jones, E.S., and Staley, D.M., 2017, Map data showing concentration of landslides caused by Hurricane Maria in Puerto Rico, <https://landslides.usgs.gov/research/featured/2017-maria-pr/>
- Cerovski-Darriau, C., Bessette-Kirton, E., Schulz, W.H., Kean, J.W., Godt, J., and Coe, J.A., 2017, Does Geology Matter? Post-Hurricane Maria Landslide Distribution Across the Mountainous Regions of Puerto Rico, USA, American Geophysical Union Conference Abstract NH34B-02.
- Hughes, K.S., and Morales Vélez, A.C., 2017, Characterization of Landslide Sites in Puerto Rico after Hurricanes Irma and María, American Geophysical Union Conference Abstract NH23E-2859.
- Larsen, M. C. and Simon, A., 1993, A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico: *Geografiska Annaler*, v. 75 A, no. 1-2, p. 13-23.
- Larsen, M.C., Santiago, M., Jibson, R.W., Questell, E., 2004, Map showing landslide susceptibility in the municipality of Ponce, Puerto Rico, United States Geological Survey Scientific Investigations Map Report Number: I-2818 (<http://pubs.usgs.gov/sim/2005/2818/>)
- Lee, S., Pradhan, B., 2006, Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia, *Journal of Earth Systems Science*, 115 (6), 661–672.
- Lee, S., Ryu, J.H., Kim, I.S., 2007, Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: case study of Youngin, Korea, *Landslides* 4:327–338
- Lepore, C., Kamal, S.A., Shanahan, P., and Bras, R.L., 2012, Rainfall induced landslide susceptibility zonation of Puerto Rico: *Environmental Earth Science*, v. 66, p. 1667-1681.
- Monroe, W. H. (1979). Map showing landslides and areas of susceptibility to landsliding in Puerto Rico, United States Geological Survey Professional Paper, No. 1148.
- Pando, M.A., Ruiz, M.E., Larsen, M.C., 2005, Rainfall-induced landslides in Puerto Rico: an overview. American Society of Civil Engineers, Geo-Institute & Geosynthetics 2005 Conference, Austin, TX.

# HURACÁN MARÍA: SINOPSIS Y ANÁLISIS PRELIMINAR DEL IMPACTO EN LA INFRAESTRUCTURA DE PUERTO RICO

Luis D. Aponte-Bermúdez, Ph.D., PE; Jonathan Muñoz-Barreto, Ph.D.  
Francisco J. Villafañe-Rosa, MS; Glorimar Torres-Pagán, BSCE, BSST

## Resumen

En el récord histórico de temporadas de huracanes de NOAA, septiembre 2017 se considera el mes más activo, esto para la cuenca del Atlántico (Voiland, 2017). Se formaron dos huracanes categoría 5 (Irma y María) y uno categoría 4 (José). Este artículo presenta la sinopsis del Huracán María tras su impacto directo en Puerto Rico el día 20 de septiembre de 2017. Además, se presenta un resumen de los datos meteorológicos colectados durante el evento. Se incluyen datos de vientos, acumulación total de lluvia, olas y marejadas. Conjuntamente, se incluyen fotografías de inspecciones de campo y un análisis preliminar del efecto de la erosión costera producida por la marejada ciclónica en los pueblos de Rincón y Aguadilla.

## Sinopsis del Huracán María

El Huracán María es el quinto huracán más intenso en impactar territorio americano según la escala de viento

huracanado Saffir-Simpson (Voiland, 2017). Este huracán se forma al desarrollarse e intensificarse una onda tropical proveniente del continente africano del 10 al 17 de septiembre de 2017. Este sistema fue clasificado el 16 de septiembre (1800 UTC) como una tormenta tropical, convirtiéndose luego en el octavo huracán en la cuenca del Atlántico el 17 de septiembre, con vientos sostenidos de 75 mph. Luego, en un periodo de 18 horas, el ciclón tropical se intensificó rápidamente de categoría 1 a categoría 5, con vientos sostenidos de 175 mph, causando devastación en las Antillas Menores. Impactó directamente la isla de Dominica el 19 de septiembre como huracán categoría 5. María tocó tierra en Puerto Rico el 20 de septiembre de 2017, entrando por el pueblo de Yabucoa, como categoría 4 a las 6:15 AM AST con vientos sostenidos de 155 mph. Salió por el área de Quebradillas como categoría 3 a las 2:00 PM AST, con vientos sostenidos de 115 mph, en un periodo aproximado de ocho horas. No obstante, las bandas de vientos huracanados azotaron a

Puerto Rico por un periodo aproximado de 24 horas. En la Figura 1 se presenta la trayectoria del Huracán María a través de Puerto Rico y se denota en rojo la extensión de los vientos huracanados. Se estima que las pérdidas a las aseguradoras por el Huracán María en Puerto Rico están el rango de \$27-48 billones (AIR Worldwide, 2017) y daños totales a la economía en unos \$90 billones según estimados de economistas de la NOAA (Delgado, 2018).

## Datos meteorológicos y oceánicos:

A continuación, se presentan una serie de mapas con data de viento, olas, marejadas y lluvia obtenidos del reporte preliminar del Huracán María preparado por el Servicio Nacional de Meteorología en San Juan, PR (NWS SJU, 2018).

Vientos – En la Figura 2 se presenta el mapa en el cual se indican las ráfagas máximas de viento (mph) medidas durante el Huracán María, recalando que la mayoría de las estaciones fallaron durante el evento. Las observaciones de las estaciones meteorológicas se denotan en el mapa con círculos azules y verdes, donde los círculos azules son los datos según reportados en el informe original y los círculos verdes presentan la data que se obtuvo posterior a la publicación del informe.

La falla en la medición y diseminación de data meteorológica, en particular los vientos, crea incertidumbre al momento de correlacionar: la intensidad



Figura 1. Trayectoria del Huracán María línea solida roja y cobertura de vientos huracanados (Fuente: NOAA Centro Nacional de Huracanes)



Figura 2. Ráfagas de vientos máximas medidas durante el Huracán María (Fuente: NWS SJU, 2018).



Figura 3. Foto del Radar WSR-88D Doppler NEXRAD averiado por el Huracán María localizado en Cayey, PR



Figura 4. Marejadas máximas medidas sobre el nivel promedio del mar durante el Huracán María (Fuente: NWS SJU, 2018).

máxima de los vientos huracanados con los hallazgos obtenidos durante observaciones en el campo. Al mismo tiempo la falla del radar WSR-88D Doppler NEXRAD (NOAA.gov, 2018), localizado en Cayey, según se presenta en la Figura 3, dificulta las labores de ingeniería forense y científica para poder realizar un reanálisis de la intensidad máxima de los vientos. Pero pone en perspectiva la potencia del Huracán María y su catastrófico impacto en la isla.

Marejadas y olas – En la Figura 4 se presenta el mapa donde se indican, en círculos verdes, las marejadas máximas

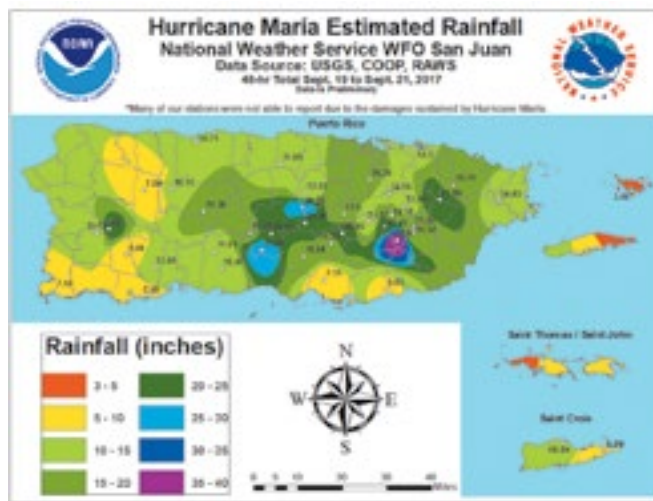


Figura 5. Estimado de acumulación de lluvia tras el paso del Huracán María en un periodo de 48 horas del 19 al 21 de septiembre de 2017 (Fuente: NWS SJU, 2018).

observadas sobre el nivel promedio del mar (ft) obtenidas por la división oceánica de NOAA (Tidesandcurrents.noaa.gov, 2018) y círculos azules que indican las alturas máximas de las olas (ft) obtenidas de las boyas de CariCOOS ubicadas en Rincón y en la Sonda de Vieques (Caricoos.org, 2018).

Lluvias – En la Figura 5 se presenta el estimado preliminar de acumulación total de lluvia en un periodo de 48 horas del 19 al 21 de septiembre de 2017. Se hace hincapié que la mayoría de las estaciones fallaron.

### Impacto a la infraestructura

El Departamento de Seguridad Nacional, DHS por sus siglas en inglés (Department of Homeland Security, 2018) define 16 sectores de infraestructura crítica que tienen un rol esencial para el funcionamiento y operación del país. Estos son: : el sector Químico, Facilidades Comerciales, Comunicación, Manufactura Critica, Represas, Bases de Defensa Militar, Servicios de Emergencias, Energía, Servicios Financieros, Agricultura y Alimentos, Facilidades Gubernamentales, Salud Publica, Informática, Reactores y Desperdicios Nucleares, Transportación y Plantas de Agua Potable y Sanitaria. En el presente en Puerto Rico tiene 15 de estos sectores de manera operacional en el país y todos se vieron incapacitados e interrumpidos por el impacto de Huracán María.

La siguiente sección presenta el efecto en la infraestructura del país haciendo énfasis en las costas ya que estas albergan gran parte de la infraestructura crítica de la isla.



Figura 6: Fotografías oblicuas en la zona de la playa de Cofresí Rincón, PR.



Figura 7: Fotografías oblicuas en la zona de apartamentos residenciales en la zona de Córcega Rincón, PR.

### Impacto en las costas

La erosión costera es un proceso que ocurre a dos escalas de tiempo. La erosión a largo plazo se atribuye a la pérdida de sedimentos y rocas a consecuencias de tormentas, viento y el efecto antrópico. La erosión de una zona puede generar acreción en lugares cercanos. La erosión a corto plazo está asociada al impacto de fuertes marejadas ocasionadas por ciclones tropicales durante el verano y el otoño y frentes fríos durante el invierno.

Esto cobra mayor relevancia debido a que gran parte de la actividad económica del país depende del bienestar de las costas y su infraestructura. Puerto Rico tiene 799 millas de costa (fuente: Programa de Manejo de la Zona Costanera de Puerto Rico) y nuestras playas son el principal atractivo turístico de la industria hotelera, importante atractivo de recreación familiar para todos los puertorriqueños. Además, gran parte de la actividad económica del país depende del comercio marítimo, ya que es el principal medio utilizado para importar materia prima, bienes y servicios, utilizada para la generación de la energía eléctrica en la isla. (Aponte-Bermúdez et al., 2017).

### Observaciones de campo

Como parte de las iniciativas de ELIGE (El Laboratorio de Investigaciones Geoespaciales del Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura del RUM) se documentó el impacto en las costas utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV's, por sus siglas en inglés). En las Figuras 6 y 7 se presentan imágenes evidenciando los daños en las estructuras costeras de Rincón causados por el fuerte oleaje y viento. Se presentan las zonas de las playas de Cofresí y Córcega respectivamente.

### Estimados de erosión costera

En la Figura 8 se presentan los cambios en la línea de costa en playa Crash Boat en Aguadilla. Esto entre los meses de septiembre 2016 (azul) y septiembre 2017 (rojo). Para este análisis preliminar se calculó la erosión a lo largo de la línea de costa utilizando transectos con un espaciamiento de 15 metros. Los resultados muestran que, a consecuencia de la marejada ciclónica producida por el Huracán María, la línea de costa en promedio fue desplazada a una tasa de 35.66 metros/año. Casos de erosión severos, como el presentado

aquí, reduce la capacidad de la playa/costa para amortiguar futuros eventos de erosión aumentando la vulnerabilidad.

Similarmente en la Figura 9 se presentan los cambios en la línea de costa en la playa del área de Villa Cofresí en Rincón entre octubre 2016 (Azul-Posterior Huracán Mathew) y septiembre 2017 (roja). A diferencia de Crash Boat, la playa en la zona de Cofresí, en los últimos años, ha sufrido múltiples eventos de erosión resultando en una disminución en su capacidad de amortiguamiento. La comparativa entre 2016 y 2017 muestra que la erosión continúa incrementando a razón de 4.01 metros/año. Se puede evidenciar, sin embargo, que en la zona del Hotel Villa Cofresí (transectos del 11 al 15) no ha aumentado la erosión ya que existe un muro para contrarrestar el embate de las marejadas.

### Conclusiones

En este artículo se han cuantificado la intensidad de los vientos, el oleaje, las marejadas y las lluvias generadas por el Huracán María. Simultáneamente, se ha presentado el impacto que este fenómeno ha ocasionado en la zona costera de la región oeste del país.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del Programa Sea Grant de la Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez para realizar este proyecto (R21-1-16), al National Science Foundation, por la subvención otorgada a la Dr. Tracy Kijewski-Correo de la Universidad de Notre Dame para realizar las observaciones de campo tras el Huracán María, y al programa CariCOOS por proveer datos de las observaciones meteorológicas y costeras en Puerto Rico e Islas Vírgenes Americanas.

### Notas biográficas

Luis D. Aponte-Bermúdez, PhD., PE es Catedrático del Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez (UPRM) desde el 2006. Obtuvo el grado de Bachillerato en Ciencias de Ingeniería Civil en dicha universidad. Posteriormente obtuvo los grados de Maestro en Ingeniería y Doctor en Filosofía, con especialidad en Ingeniería Estructural y Vientos, de la Universidad de Florida.

Jonathan Muñoz Barreto, PhD., es Catedrático Auxiliar del Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura en la UPRM desde 2014. Obtuvo el grado de Bachillerato en Agrimensura y Topografía en dicha universidad. Posteriormente obtuvo los grados de Maestro en Filosofía y Doctorado en Filosofía en Ingeniería Civil, con especialidad en el área de Recursos de Agua, en The City College of the City University of New York. Trabajó para el USACE como Planificador de Proyecto en obras para mitigar el daño ocasionado por tormentas y trabajó en varios proyectos de restauración costera en la zona afectada por el Huracán Sandy (2012).

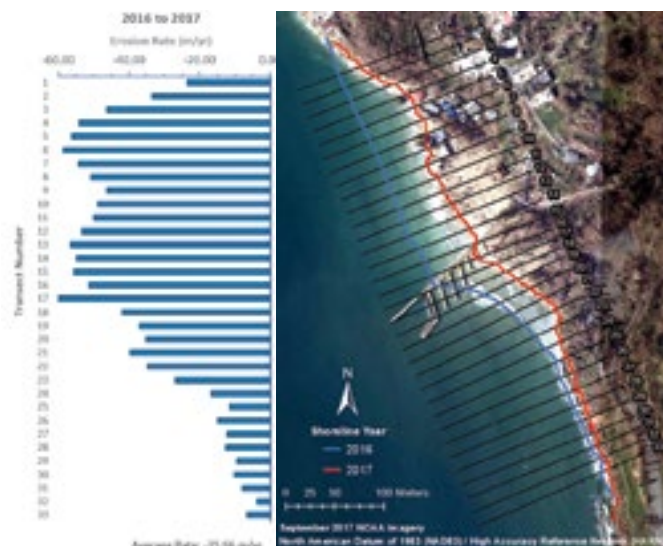


Figura 8. Tasa de erosión costera tras el paso del Huracán María en la playa de Crash Boat, Aguadilla, P.R., data del proyecto R21-1-16 del Programa Sea Grant de Puerto Rico (PI-Muñoz)

Francisco J. Villafañe-Rosa, obtuvo los grados de Bachillerato en Agrimensura y Topografía y Bachillerato en Ciencias de Ingeniería Civil en la Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. Posteriormente obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Civil, en dicha institución, realizando una investigación sobre el beneficio-coste de retroalimentar arena a las playas de Rincón subvencionado por el programa Sea Grant de Puerto Rico.

Glorimar Torres-Pagán, obtuvo los grados de Bachillerato en Agrimensura y Topografía y Bachillerato en Ciencias de Ingeniería Civil en la Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. Actualmente se desempeña como estudiante graduada del área de Ingeniería Geotécnica e investigadora bajo la supervisión del Dr. Jonathan Muñoz en el monitoreo y análisis de erosión costera utilizando UAVs.

## Referencias

AIR Worldwide (2017). AIR Updates Insured Loss Estimates for Hurricane Maria. [online] Available at: <http://www.air-worldwide.com/Press-Releases/AIR-Updates-Insured-Loss-Estimates-for-Hurricane-Maria/> [Accessed 9 Mar. 2018].

Aponte-Bermúdez, L., Villafañe-Rosa, F., Canals, M., & Díaz, E. (2017). Impacto de la erosión costera a la infraestructura de Rincón. *Dimensión, Revista Del Colegio De Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico*, (1), 23-29. Retrieved from <http://www.ciapr.net/templates/CIAPR/Dimension/03dimA31v1.pdf>

Caricoos.org. (2018). CARICOOS Wave Observations. [online] Available at: <http://www.caricoos.org/map/waves> [Accessed 9 Mar. 2018].

Delgado, J. (2018). La NOAA estima los daños. *El Nuevo Día*. [online] Available at: <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/lanooaestimamosdaños-2388419/> [Accessed 9 Mar. 2018].

Department of Homeland Security. (2018). Critical Infrastructure Sectors. [online] Available at: <https://www.dhs.gov/critical-infrastructure-sectors> [Accessed 9 Mar. 2018].

Noaa.gov. (2018). Federal collaboration yields radar coverage for Puerto Rico, USVI in wake of Hurricane Maria | National Oceanic and Atmospheric Administration. [online] Available at: <http://www.noaa.gov/media-release/federal-collaboration-yields-radar-coverage-for-puerto-rico-usvi-in-wake-of-hurricane> [Accessed 9 Mar. 2018].

NWS SJU. (2018). Major Hurricane Maria - September 20, 2017. [online] Available at: <https://www.weather.gov/sju/maria2017> [Accessed 9 Mar. 2018].

Tidesandcurrents.noaa.gov. (2018). NOAA Tides & Currents. [online] Available at: <https://tidesandcurrents.noaa.gov/> [Accessed 9 Mar. 2018].

Voiland, A. (2017). Hurricane Maria Lashes Puerto Rico : Image of the Day. [online] Earthobservatory.nasa.gov. Available at: <https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=91004&linkId=42560784> [Accessed 9 Mar. 2018].

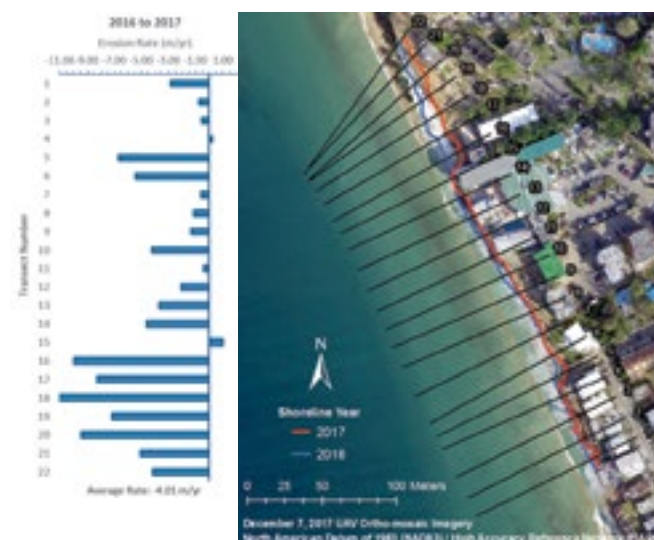


Figura 9. Tasa de erosión costera tras el paso del Huracán María en la playa Cofresí, Rincón, P.R., data del proyecto R21-1-16 del Programa Sea Grant de Puerto Rico (PI-Muñoz)

# DESTROZOS, RECUPERACIÓN Y PLANES EN LA RED SÍSMICA DE MOVIMIENTO FUERTE A RAÍZ DE LOS HURACANES IRMA Y MARÍA

José A. Martínez Cruzado, Ph.D; Carlos I. Huerta López, Ph.D; Jaffet Martínez Pagán EIT, M.Eng; Erick X. Santana Torres, MBA; y Francisco J. Hernández Ramírez

**E**l Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico (PRSMP), bajo el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, comienza a desarrollarse a mediados de la década de los 1970 con la instalación de ocho estaciones análogas a campo abierto y la instrumentación sísmica de un edificio en San Juan. Previo a los huracanes Irma y María, el PRSMP contaba con 113 estaciones sísmicas digitales distribuidas por Puerto Rico (PR), Islas Vírgenes Británicas (BVI), Islas Vírgenes Americanas (USVI) y en la República Dominicana (RD). En adición, contaba con 19 estructuras sísmicamente instrumentadas en PR y BVI. El Huracán Irma pasó el miércoles 6 de septiembre de 2017 por encima de BVI con vientos sostenidos de 185 mph dejando destrozos y desolación a su paso y dejando totalmente inoperante la Red de Movimiento Fuerte en BVI, mientras que pasó raspando por la costa noreste de PR dejando inoperante varias estaciones. El Huracán María entró a PR por Yabucoa el 20 de septiembre de 2017, con vientos sostenidos de 154 mph, y salió por Arecibo dejando a la Isla totalmente a oscuras e incomunicada. Con una sola estación funcionando y transmitiendo, el PRSMP se dio a la tarea de visitar sus estaciones, constatar los daños, reportarlos a las autoridades pertinentes, proceder a levantar el sistema y establecer planes de acción que robustezcan la red para minimizar el impacto que tendrán futuros huracanes y terremotos. Este proceso se muestra en el presente artículo.

## Un poco de historia y estado del PRSMP antes del Huracán Irma

La misión del PRSMP es minimizar las pérdidas de vida y las pérdidas económicas que PR sufriría en futuros terremotos por medio de la aplicación en PR y del mejoramiento de los Códigos de Edificación a través de la investigación científica que surge del monitoreo sísmico de los suelos y de las estructuras. Como, por ejemplo, es uno de los objetivos fundamentales del programa el poder determinar los parámetros básicos de registros de aceleración para el diseño sismo-resistente de estructuras, como lo son los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo como el contenido de frecuencia y su secuencia.

Los orígenes del PRSMP datan de la década de los 1970, cuando el Ing. José L. Capacete obtuvo fondos de diversas agencias estatales para instalar ocho estaciones sísmicas de movimiento fuerte (acelerómetros) distribuidas por

Puerto Rico e instrumentar el Edificio Norte del Centro Gubernamental Minillas. Estas estaciones análogas trabajaban de forma independiente una de la otra. El procesamiento de los registros incluía el revelado de laminillas de 75 ml y su eventual digitalización, proceso que era sumamente costoso y consumía mucho tiempo. En 1987, estas estaciones sísmicas pasaron a manos del Departamento de Ingeniería Civil del RUM. En enero del 1994 se instalaron las primeras ocho estaciones digitales. Estas se concentraron en el lado oeste de la isla mientras que las estaciones análogas se pasaron a la parte este, incluyendo una en el aeropuerto de Santa Cruz en USVI. Para el 1995, se instrumentó sísmicamente el Edificio Norte de Plaza Inmaculada en Santurce. Por medio de fondos obtenidos para mitigación a raíz de los huracanes Hortensia (1996) y Georges (1998) el PRSMP se desarrolló sustancialmente sustituyendo todas las estaciones análogas por digitales, mejorando la instrumentación del Edificio Norte de Minillas, estableciendo una decena de estaciones conjuntas con la Red Sísmica de Puerto Rico (PRSN) bajo el Departamento de Geología del RUM, desplegando micro-redes en la Zona Metropolitana de San Juan (ZMSJ), y en las ciudades de Mayagüez y Ponce, desplegando 21 estaciones sísmicas alrededor de todo Puerto Rico e instrumentando la Represa Lucchetti en Yauco, el viaducto de Mayagüez y el puente en la PR-52 sobre la PR-10 en Ponce. Muchas de estas estaciones se instalaron en los predios del parque de bomba del municipio correspondiente, ya que estos se mantienen permanentemente abiertos y proveen un mínimo de vigilancia, mientras que para instalar micro-redes en Ponce y Mayagüez se recurrió a la Iglesia Católica quien hizo disponible sus múltiples facilidades para instalar estaciones sísmicas en pro de las comunidades. Como parte de las dádivas otorgadas, FEMA exigió un programa de mantenimiento de la instrumentación desplegada. Para ello la PRSN y el PRSMP unieron esfuerzos para solicitar fondos recurrentes a la Legislatura de Puerto Rico, lo que desembocó en la Ley 106 del 24 de Julio de 2002.

Desde entonces el PRSMP se dio a la tarea de instalar GPS en todas las estaciones para que las mismas estuvieran enlazadas y sincronizadas unas con otras en la hora exacta tomada por los satélites, se obtuvo el Administrador de Red Antílope, se desplegaron estaciones sísmicas en la mayoría de los campus de la UPR para tener comunicación continua con las mismas por medio de la Internet, se instrumentaron sísmicamente las Represas La Plata, Dos Bocas, Caonillas,

Guayabal, Coamo, Patillas Muro y Aliviadero, Carraízo, Guajataca y Carite, el Puente del Indio (instrumentación que posteriormente fue removida) y los edificios El Castillo en Mayagüez y Prila en El Condado.

Para monitorear adecuadamente una falla sísmica es esencial tener estaciones a ambos lados de la misma, por ello, ante la amenaza que representa la falla del Cañón de la Mona entre Puerto Rico y la República Dominicana, donde ocurrió el más reciente gran terremoto en Puerto Rico el 11 de Octubre de 1918 con Magnitud de Momento de 7.3 el PRSMP, en conjunto con el PRSN, establecieron un acuerdo colaborativo (MOU) con el Instituto Sismológico Universitario (ISU) bajo la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Bajo dicho acuerdo se establecieron dos estaciones conjuntas, con sismógrafo y acelerómetro, en los pueblos de Punta Cana y Samaná. Sendas estaciones estuvieron transmitiendo vía satelital al RUM.

A mediados de la década de los 2000, el Gobierno de las Islas Vírgenes Británicas solicitó colaboración para instalar una red de acelerómetros en sus islas principales e instrumentar estructuras de relevancia para su pueblo. Dado que las fallas sísmicas que amenazan a BVI también amenazan a PR, se estableció un MOU que culminó con la instalación de cinco estaciones de movimiento fuerte a campo abierto, en las Islas de Tórtola, Virgen Gorda, Jost Van Dyke y Beef Island, y la instrumentación de la Torre de Control del Aeropuerto y de la Administración Central del Gobierno. Tanto las estaciones a campo abierto como las estructuras instrumentadas han transmitido de forma continua al RUM por medio del Internet.

Como consecuencia del Terremoto de Haití el 12 de enero de 2010, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) mostró interés en instrumentar sísmicamente parte de La Española. Sabido que el PRSMP tenía sendos acuerdos de colaboración con el USGS y con la UASD se le solicitó al PRSMP instalar múltiples estaciones en la RD donadas por USGS. Al igual que en el caso de BVI, varias de las fallas sísmicas que amenazan al pueblo dominicano amenazan

también a Puerto Rico y es propicio monitorear las mismas de cerca, por lo que se aceptó colaborar con el proyecto que ha culminado con la instalación de 15 estaciones a campo abierto en Santo Domingo, dos en Santiago de los Caballeros, en San Juan de la Maguana, Barahona, Hato Mayor, Higüey, Bona, San Francisco de Macorís, Nagua, Puerto Plata, Mao, Miches e Isla Saona. Doce de estas estaciones transmiten actualmente de forma continua al RUM.

En resumen, justo antes de los huracanes Irma y María, el PRSMP constaba de 113 estaciones sísmicas a campo abierto (92 en PR, 15 en RD, 5 en BVI y 1 en USVI) de las cuales 30 transmitían de forma continua por la Internet (19 en PR, 7 en RD, 3 en BVI y 1 en USVI), 39 transmitían por medio de teléfono (todas en PR) y las otras 44 trabajaban incomunicadamente (34 en PR, 8 en RD y 2 en BVI). El PRSMP también atiende 19 estructuras sísmicamente instrumentadas; 17 en PR (once represas, cuatro edificios y dos puentes) y dos edificios en BVI de las cuales ninguna estaba transmitiendo.

### Destrozos causados por Irma y María al PRSMP y proceso de recuperación

La **Figura 1** muestra el gráfico de estaciones a campo abierto funcionales en PR durante el período del 1<sup>ro</sup> de septiembre de 2017 al 28 de febrero de 2018. Se observa que justo antes del Huracán Irma 83 estaciones sísmicas, de las 92, estaban en funcionamiento, lo cual representa el 90% de las mismas. Con el Huracán Irma, nueve estaciones dejaron de transmitir datos al RUM vía Internet. De estas, seis restablecieron comunicación sin necesidad de visitarlas, solo las estaciones de Vieques, Cataño y Caimito en San Juan no restablecieron comunicación para el arribo de María. La proximidad de un huracán al otro imposibilitó realizar una ronda de visitas. Así que, justo antes del Huracán María, había al menos 80 estaciones operando.

En el caso de BVI había 4 estaciones funcionales de las cuales 3 transmitían vía Internet y las dos estructuras tenían su instrumentación sísmica funcional. Con el paso de Irma todo el sistema colapsó, tanto el de las estaciones a campo

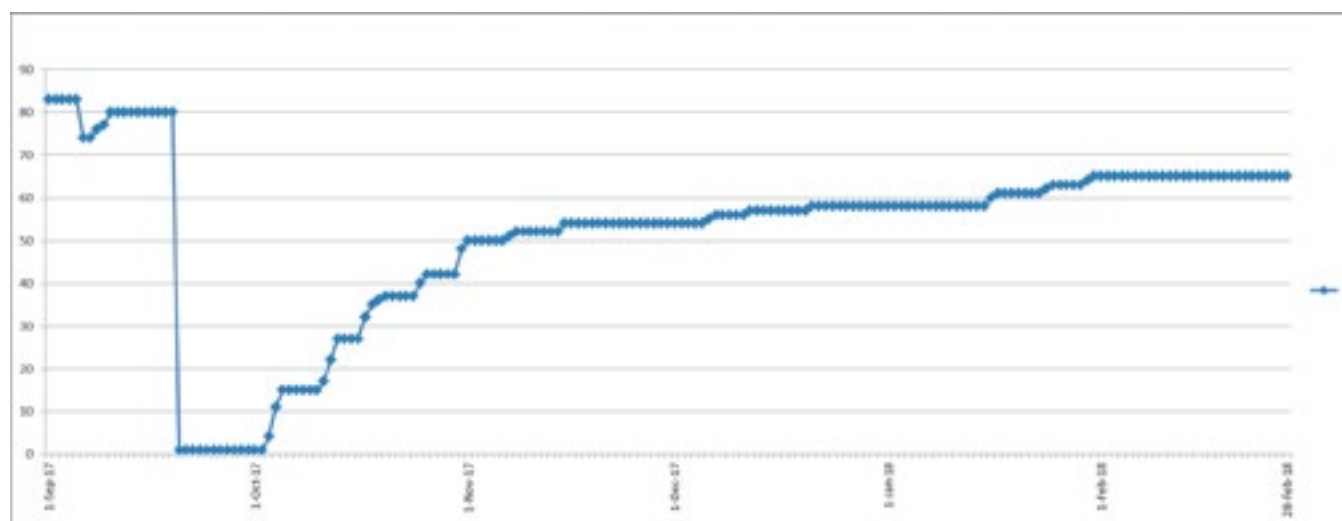


Figura 1. Cantidad de estaciones sísmicas del PRSMP funcionales en PR.

abierto como el de las estructuras instrumentadas. Al 28 de febrero de 2018 solo la estación sísmica de Virgen Gorda está funcional pero incomunicada.

Con el arribo a Puerto Rico del Huracán María, en la madrugada del 20 de septiembre, a eso de las 2:20 am, se vino abajo el sistema y solo la estación dentro del RUM se mantuvo transmitiendo de forma continua. Se dejó de recibir información de las restantes 79 estaciones. Esta situación se mantuvo intacta hasta el 3 de octubre cuando personal del PRSMP inició las visitas de reconocimiento con las estaciones más cercanas ya que a cinco días del Huracán María el casco urbano de Mayagüez había sido energizado. Note en la **Figura 1** que al final del mes de octubre se había restablecido 48 estaciones. Se restablecieron seis en noviembre, cuatro en diciembre y siete en enero para un total de 65. El tener 27 estaciones en parques de bomba ayudó mucho, pues estaban provistos de generadores eléctricos que trabajaban como doce horas diarias y el resto del tiempo la batería del instrumento mantenía al mismo operando. Si donde se hallaba la estación sísmica no había habido electricidad ni generador eléctrico por varios días, era menester remover la batería pues esta habría perdido tanto voltaje que no podría recuperarse. En esos días era imposible hallar baterías de repuesto, aun finalizado el mes de febrero no se había recibido las baterías solicitadas, lo que mantenía por lo menos media docena de 18 estaciones inoperantes.

Siete estaciones sísmicas fueron declaradas pérdida total ya sea por inundación, exceso de humedad o por el azote del viento. Se reportaron nueve suplidores de energía dañados, 36 baterías irreversiblemente drenadas, ocho antenas de GPS partidas, al igual que los paneles solares de dos estaciones. En adición, el desborde por el aliviadero en la Represa Guajataca socavó el terreno donde se hallaba instalado un piezómetro particular que medía el perfil de deformación de la capa de suelos. La inundación en el techo de Prila dañó tres sensores uniaxiales y la grabadora. Las pérdidas del PRSMP por la instrumentación dentro de Puerto Rico y ocasionadas por el Huracán María ascendieron a sobre \$146K. Mientras que las pérdidas por la instrumentación en BVI ocasionadas por el Huracán Irma sobrepasaron los \$93K.

En relación con las comunicaciones por medio de Internet, la **Figura 2** muestra las estaciones que en algún momento entre el 1ro de septiembre de 2017 al 28 de febrero de 2018 transmitieron datos al RUM. En dicha figura la única estación de USVI se considera como de PR. Puede notarse cómo el Huracán Irma cortó las comunicaciones de nueve de las 20 estaciones en PR que estaban transmitiendo y cortó además la comunicación con las tres estaciones de BVI. Seis de las nueve estaciones de PR que habían perdido comunicación lograron reponerse antes del arribo de María para un total de 17 estaciones transmitiendo. Con el azote del Huracán María, 16 de las 17 dejaron de transmitir datos al RUM, solo la estación del RUM se mantuvo enviando data gracias a la planta eléctrica que se encendió de forma automática al quedar Puerto Rico a oscuras. Al finalizar octubre seis estaciones transmitían data al RUM, al finalizar noviembre 12, al finalizar diciembre 14, y 17 al finalizar enero. Nótese que

las tres estaciones de BVI aún no se han levantado y que las cinco estaciones que enviaban datos desde la RD dejaron de hacerlo a raíz del Huracán María, pero una vez se restableció la electricidad y las comunicaciones en el RUM, estas han vuelto a transmitir de forma intermitente.



*Figura 2. Cantidad de estaciones del PRSMP transmitiendo por medio de Internet al RUM.*

En el caso de las líneas telefónicas antes del Huracán María, 32 estaciones sísmicas transmitían adecuadamente sus datos al RUM. Este tipo de transmisión, aunque no es a tiempo real, es muy útil para conocer de forma remota el estado de la estación. La madrugada del 20 de septiembre toda comunicación por vía telefónica también colapsó. El levantamiento de este sistema estaba siendo muchísimo más lento que el de Internet con solo dos estaciones funcionando al primero de noviembre, cinco al primero de diciembre y siete al primero de enero cuando se decidió dar de baja todas las líneas telefónicas que al momento no estuvieran en funcionamiento ya que se continuaban facturando a pesar de que el servicio no se estaba brindando.

Como parte del proceso de recuperación, la compañía aseguradora del RUM ha provisto los fondos que se han solicitado por las pérdidas causadas por el Huracán María y están evaluando la solicitud de fondos a raíz del Huracán Irma. De igual modo, el Gobierno de BVI ha separado fondos para renovar toda su red acelerográfica, el USGS ha donado 23 estaciones sísmicas usadas y recientemente han recibido una millonaria asignación de fondos para rehabilitar y robustecer las redes sísmicas afectadas por los huracanes Harvey, Irma, María y áreas afectadas por fuegos forestales.

### **Planes para enfrentar situaciones similares**

Dada la debacle tanto en el sistema eléctrico como en el sistema de comunicaciones causadas por los Huracanes Irma y María en BVI y en PR, respectivamente, el PRSMP delinea un plan de acción para minimizar los efectos que puedan causar al programa huracanes y terremotos que de seguro han de ocurrir en el futuro.

En el caso de las estaciones a campo abierto, se ha seleccionado preliminarmente una docena de estaciones prioritarias para independizarlas del sistema eléctrico y ponerlas

a transmitir vía satelital. Como puede observarse en la **Figura 3** estas estaciones se distribuyen en tres filas horizontales de cuatro estaciones cada una; una fila al norte que consta de estaciones en Aguadilla, Arecibo, San Juan y Culebra, otra fila a lo largo del centro de la Isla que consta de estaciones en Mayagüez, Utuado, Cayey y Vieques, y una fila al sur que consta de estaciones en Cabo Rojo, Guánica, Isla Caja de Muerto y Maunabo. Estas estaciones deberán estar preferiblemente sobre roca. Sin embargo, la estación de la UPR en Utuado ha mostrado amplificaciones sísmicas sorprendentemente altas en pasados movimientos telúricos por lo que también se está incluyendo en este grupo de estaciones prioritarias.



*Figura 3. Estaciones prioritarias para darles independencia energética y transmisión satelital.*

En el caso de las micro-redes, los planes estriban en seleccionar una estructura relativamente alta, con línea de vista a la mayoría de las estaciones cercanas, colocarle una antena omnidireccional, de modo que las estaciones aledañas, independizadas del sistema eléctrico por medio de paneles fotovoltaicos, transmitan directamente por radio a la estructura que recogerá las señales y las retransmitirá al RUM vía satelital. El receptor con la antena omnidireccional y el transmisor por vía satélite también deberán estar energizados por medio de paneles fotovoltaicos. En el caso particular de la ZMSJ, contenido en la **Figura 4**, se ha seleccionado preliminarmente el Edificio Norte de Minillas para recolectar las señales de una decena de estaciones aledañas. Uno de los edificios de la



*Figura 4. Micro-red en la ZMSJ. Estaciones “disparando” a Minillas que transmite vía satelital al RUM.*

UPR de Ponce ha sido seleccionado preliminarmente en la Ciudad Señorial al igual que una estructura alta en el Cerro de las Mesas en el caso de Mayagüez.

Para diversificar los sistemas de comunicación se considera también instalar Modem Celular en las 27 estaciones que se hallan en parques de bomba y en las once represas instrumentadas. Finalmente, la sede del PRSMP ha de equiparse con paneles fotovoltaicos y su banco de baterías para independizarse del sistema eléctrico. Por último, se almacenará una cantidad mínima de baterías que sirvan de repuesto para las estaciones sísmicas previas a la siguiente temporada de huracanes.

### Notas biográficas:

José A. Martínez Cruzado es Catedrático del Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez y director del Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico. Obtuvo su Bachillerato en Ciencias de Ingeniería Civil del RUM y su Doctorado de la Universidad de California en Berkeley donde se especializó en el diseño sísmo-resistente de estructuras de hormigón armado. Fue miembro de la Junta de Gobierno de la UPR de 2016-17.

Carlos I. Huerta López es Profesor e investigador en la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Obtuvo su Doctorado en Filosofía (Ingeniería Civil, Sismología, Geofísica, Sismología aplicada a Ingeniería) de la Universidad de Texas en Austin. Su Maestría en Ciencias (Sismología/Geofísica) la obtuvo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México, y su Licenciatura (Ingeniero Geofísico) del Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.

Jaffet Martínez Pagán lleva 15 años como Ingeniero de Mantenimiento en el Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico. Obtuvo su Bachillerato y su Maestría en Ciencias de Ingeniería Civil de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez.

Erick X. Santana Torres lleva diez años de servicio como especialista de instrumentación científica en el Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico. Sirvió por once años en la industria farmacéutica y Química como técnico de electrónica. Posee licencia de operador de radioteléfono de la FCC. Obtuvo su Bachillerato en Ciencias en Tecnología de Ingeniería Electrónica y su MBA con concentración en Gerencia Industrial y una secuencia en Sistemas de Información.

Francisco J. Hernández Ramírez es estudiante graduado del programa de Maestría en Ciencias de Geología de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez donde se especializa en geofísica. Obtuvo su Bachillerato en Ciencias de Geología también del RUM. Actualmente trabaja en el Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico con la recolección de datos sísmicos, comunicación con las estaciones y el desarrollo del ShakeMap.

# LESSONS LEARNED FROM THE EVALUATION OF CONCRETE POLE FAILURES FOLLOWING HURRICANE MARIA

Felipe J. Acosta, Ph.D., PE, Omar Esquilin-Mangual, M.E.C.E., PE, Stephanie G. Wood, Ph.D., Wendy R. Long, Didier Valdes, Ph.D.

This article summarizes the lessons learned from the evaluation of failed concrete utility poles in Puerto Rico as a consequence of Hurricane Maria. The information presented is an extract from a public release portion of a document of limited distribution produced by the US Army Corps of Engineers in collaboration with the University of Puerto Rico, Mayaguez Campus (UPRM) and funded by the U.S. Army Corps of Engineers South Atlantic Mobile for Hurricane Maria Response/Recovery Missions.

Teams were deployed between October 3<sup>rd</sup> to 11<sup>th</sup> 2017, to cover the north, northwest, and southeast parts of the island. The resulting evaluations are not an inventory of failed poles, but rather sample cases from these areas. The Puerto Rico building code had been in the process of updating based on changes in the International Building Code and the effects of Hurricane Georges; however, many poles made from previous designs remained in service, and many of these failed as a consequence of design deficiencies and improper construction practices. Poles manufactured under the updated codes failed mostly due to foundation issues or structural overload from nearby vegetation impact and the failure of in-line poles, especially wood poles and pre-Georges concrete poles.

Primarily based on visual inspection, the evaluations of the teams deployed across the island reported on the typical modes of failure and their possible causes, focusing on sub-transmission (38 KV) and distribution (13.2 KV and lower) poles. Here we provide information on the evolution of the wind speed design requirements, a summary of a previous analysis of concrete utility poles after Hurricane Georges, concrete strength tests, a summary of findings, and the most relevant conclusions from the evaluation.

## Hurricane Maria

On September 20, 2017, Hurricane Maria made landfall on the southeast coast of Puerto Rico as a high intensity category 4 system with maximum sustained winds of 155 mph. It crossed the island and exited the northwest coast as a category 3 system (NOAA, 2017). The storm resulted in significant damage to the power transmission and distribution system across Puerto Rico, and left most of the island without power. Figure 1 shows Hurricane Maria's trajectory across the island as well as the surveyed locations (red stars) in the evaluation.

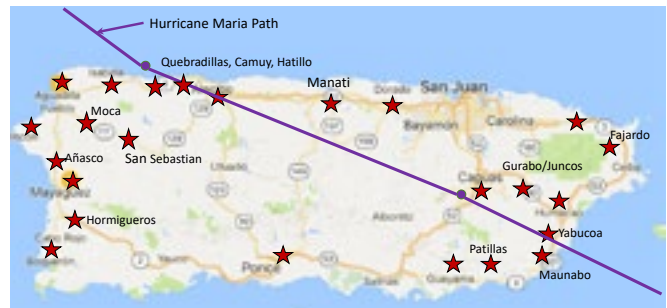


Figure 1. Surveyed locations along the Puerto Rico coast. (Hurricane's Path based on information from NOAA, 2017)

## Design Wind Speeds

Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands are instrumented with buoys and weather sensors at key locations. Some of these sensors in the path of Hurricane Maria failed during the storm, affecting the collection of reliable wind speed records. Previous, as well as current readings of these sensors, can be accessed through services such as the one provided by WeatherFlow Inc. (2017). Applied Research Associates, Inc. (ARA) made an estimate of the peak wind gust speeds based on 3-sec. durations at an elevation of 10 m (33 ft.). Figure 2 shows a map of the island with contour lines of the estimated wind speed magnitudes. It also shows specific values of gust wind speeds around the island, plus the official storm path and wind sensor locations. These estimations do not consider topographic effects but do fit surface-level observations from the National Hurricane Center storm track.

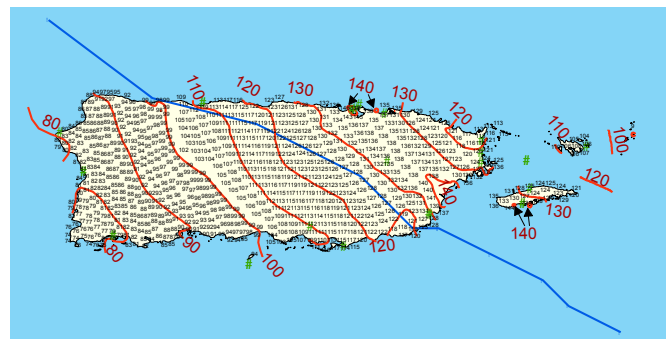


Figure 2. Detailed predicted wind gust speed values for Puerto Rico. (Developed by Applied Research Associates, Inc.)

Since 1954, Puerto Rico has developed a local design code called “Reglamento de Planificación No. 7,” which incorporates adaptations from official building codes (Rivera Cruz 2015). Substantial modifications were made in 1987 to ensure the safety of the structures. Design pressures were consistent with sustained wind speeds of 110 mph. The damage caused by Hurricanes Hugo in 1989 and Georges in 1998 fostered the modification of the code in 1999 (Commonwealth of Puerto Rico 1999). This update to the code followed the methodology and requirements of the Uniform Building Code of 1997 (UBC-97) (ICBO 1997) for earthquake loads and ASCE 7-95 code (ASCE 1995, Commonwealth of Puerto Rico 1999) for wind loads. Design wind speeds were set to 125 mph. It was not until 2011 that Puerto Rico adopted a new code (Commonwealth of Puerto Rico 2011) based on the 2009 International Code (ICC 2009) that used ASCE 7-05 (ASCE 2005) for wind loads and defined a design wind speed of 145 mph.

The 2010 edition of the ASCE 7 (ASCE 2010) further modified the design wind speeds for Puerto Rico by incorporating contour lines that represent variations of the wind speeds from 150 mph at the northwest coast to 170 mph at the southeast coast. Even though design wind speeds have increased in newer code versions, they may not necessarily alter the final design of the utility pole because the calculations and coefficients used in the new methodology have also changed. The specific effects of changing codes on utility pole designs are out of the scope of this report, and no conclusions will be stated here.

### Previous Evaluation following Hurricane Georges

On September 21, 1998, Hurricane Georges made landfall in Puerto Rico as a category 3 system with 104 mph sustained winds (NOAA 2017). Many concrete poles suffered damage, generating concern about the design practices at the time. Dr. Daniel Wendichansky, a UPRM professor, had the task of supervising strength testing of typical prestressed concrete poles after Georges. These tests were solicited by the Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA) and aided by the local pole manufacturers. Modifications to the pole design and practices were developed after a study produced by Dr. Walter Ruiz, a retired UPRM professor and president of Walter M. Ruiz & Associates. Dr. Ruiz performed an in-depth evaluation of the failed concrete poles after the extensive damage caused by Hurricane Georges (Ruiz 1999). His evaluation included a field investigation of failed poles, assessment of PREPA design procedures, structural analyses of existing poles under Hurricane Georges conditions, development of a retrofit technique for existing poles, updated design guides, soil evaluations, and full-scale testing of existing poles at UPRM Structures Laboratory. As a result of his work, the following observations and recommendations were provided and are summarized below:

1. Poles were overloaded. In the years after the poles were placed into service, additional electrical and

optical cables were attached to the poles, resulting in a substantially increased load over which the poles were designed to carry. Controls must be established to prevent overloading of structural support systems for power transmission and distribution.

2. Retrofits to existing power distribution infrastructure are necessary to prevent the reoccurrence of severe damage to the power grid as occurred during Hurricanes Hugo and Georges. Reconstruction without addressing previous deficiencies will not be adequate.
3. Foundation design criteria need to be better defined. Although there was a provision for a concrete self-support base for prestressed poles, in many cases the poles were directly installed in the ground without taking into consideration actual soil properties.
4. PREPA design guidelines need to be updated. PREPA design guidelines at the time of Hurricane Georges underestimated wind design forces and did not reflect revisions that had been made to building codes commonly used in the industry.
5. PREPA needs to implement a quality control program at the manufacturing plants to insure compliance with design specifications.
6. The poor performance of the concrete poles was primarily due to inadequate shear capacity below ground level. Revision of the pole design was recommended to provide concrete confinement at the critical zones at the foundation and to increase development of the tendons to prevent shear and brittle failures.

### Summary of Findings Post Hurricane María

PREPA uses wood, concrete, and galvanized steel utility poles. Wood and steel poles are procured from external vendors in the continental United States, but most of the concrete poles have been produced by three manufacturers on the island. The local manufacturers are: Moca Concrete Poles, Inc. (formerly Pepino Concrete Poles, Inc.), Power Precast Products, Corp., and Caribbean Poles, Inc. (which has not been operational since 2007).

#### Concrete Strength Tests

The design concrete compressive strength for prestressed concrete poles is 5,000 psi at 28 days, but common values are between 6,000 and 12,000 psi (ASCE 2012, ASTM 2013b). ASTM specifies concrete strength of 8,000 psi for spun-cast pre-stressed concrete poles (ASTM 2013c). However, all the poles surveyed in this investigation were static-cast. As part of the evaluation, a Schmidt hammer test (ASTM 2013a) was performed to evaluate the concrete strength of several damaged and undamaged poles.

Table 1 contains the average measurements of the concrete strength data from the Schmidt hammer test for each tested pole. The table also includes the description of the tested poles. The compressive strengths of concrete poles

were estimated based on correlation curves provided by the Schmidt hammer manufacturer. The results show that all the poles have concrete strengths above recommended values indicated in ASCE (2012) and ASTM (2013b).

#### *Modes and Causes of Failures*

This section summarizes the main findings for the causes of failure of the prestressed concrete poles throughout the surveyed locations shown in Figure 1. Poles manufactured before Hurricane Georges (1998) exhibit six causes while only two were predominantly observed for poles manufactured after Hurricane Georges. Based on this, poles were classified as pre-Georges and post-Georges. Six possible causes of failure were identified:

1. Increased tension on utility and communication lines due to fallen trees, vegetation debris, and the failure of in-line poles (especially wood poles).
2. Flooding or oversaturation of the soil and/or improper soil lateral confinement.
3. Overloading of poles by the addition of communication lines over time.
4. Overloading by wind forces, particularly when these forces are increased by attached devices such as distribution transformers.
5. Deterioration of the poles over time (exceeds design life span).
6. Inefficient design of reinforcement that may or may not be in accordance with the current codes, particularly for poles manufactured before the year 1998.

**Table 1. Average concrete compressive strength based on the Schmidt Hammer test data, pole location, and description**

Pole	Average Strength (psi)	Location and Description
A	7200	Patillas, Road 3, Km 112.8, H4, 40 ft, undamaged
B	8500	Patillas, Road 3, Km 112.8, H4, 40 ft, undamaged
C	8000	Maunabo, Ave. Kennedy, km. 0.3, undamaged
D	8500	Maunabo, Ave. Kennedy, km. 0.5, H4, 45 ft, undamaged
E	7200	Maunabo, Ave. Kennedy, km. 0.5, unmarked, damaged
F	7750	Caguas, unnamed street intersecting Ave. Borinquen H6, 45 ft, undamaged
G	5900	Caguas, Ave. Borinquen H6, 45 ft, failure at base, damaged
H	7750	Caguas, Ave. Borinquen H6, 45 ft, failure at mid height, damaged
I	8250	Caguas, Muñoz Marín, Villa Blanca, unknown type failed at base
J	7750	Caguas, Muñoz Marín, Hospital HIMA, unknown type failed at base
K	6400	Moca, Road 111, km. 4.2, H6 65 ft, undamaged
L	6000	Quebradilla, Road 485, km. 1.0, unmarked, damaged
M	6500	Caguas, Ave. Muñoz Marín, unmarked, damaged



*Valles de Guayama, Guayama*



*(b) PR-110, Aguadilla*

**Figure 3. Failed wood utility poles in line with surviving concrete poles.**

The observed failures were concentrated in certain segments of the power grid, and the majority of the observed concrete utility poles appeared to have performed well during the hurricane and remained intact. This was in contrast to wood poles that did not perform well overall, because they may have exceeded their design life span. Figure 3 shows examples of failed wood utility poles that were in line with or nearby concrete utility poles.

The failure modes discussed in this article are representative of all observed failure modes across the island and presented in the original report. These modes include bending, shear, soil/geotechnical, and, in some cases, a combination of these. For pre-Georges poles, a series of design deficiencies were found regardless of the causes of failure, including but not limited to the lack of confinement by stirrups and improper amount of shear and flexural reinforcement.

The causes of failure on post-Georges poles were primarily due to improper foundation support and vegetation impact (causes 1 and 2). Figure 4(a) shows a pole impacted by vegetation that is in contact with the conductor lines,

creating an overload condition. Figure 4(b) shows an example of a pole that fell down after saturation of the soil surrounding the base thereby reducing its lateral capacity. This type of failure often happened in zones where the terrain was not completely flat and the passive soil pressure zone was adversely impacted by nearby slopes. Figure 4(c) shows a pole that is overloaded with communication lines. Figures 4(d) and (e) are examples of poles that showed signs of deterioration. The discoloration at the corners of the failed section shown in Figure 4(d) is an indication of concrete degradation caused by chemical reaction through cracks in the concrete. Figure 4(e) shows excessive corrosion of the reinforcing bars, which caused cracking and spalling of concrete due to the expansion of corroded rebar. Figure 4(f) shows an example of shear failure at the base above ground surface due to the lack of sufficient shear reinforcement. Some poles had stirrups 0.118 to 0.157 in. in diameter typically spaced approximately 12 to 16 in. apart. Some poles contained only four 7-wire strands (one in each corner) at the base.

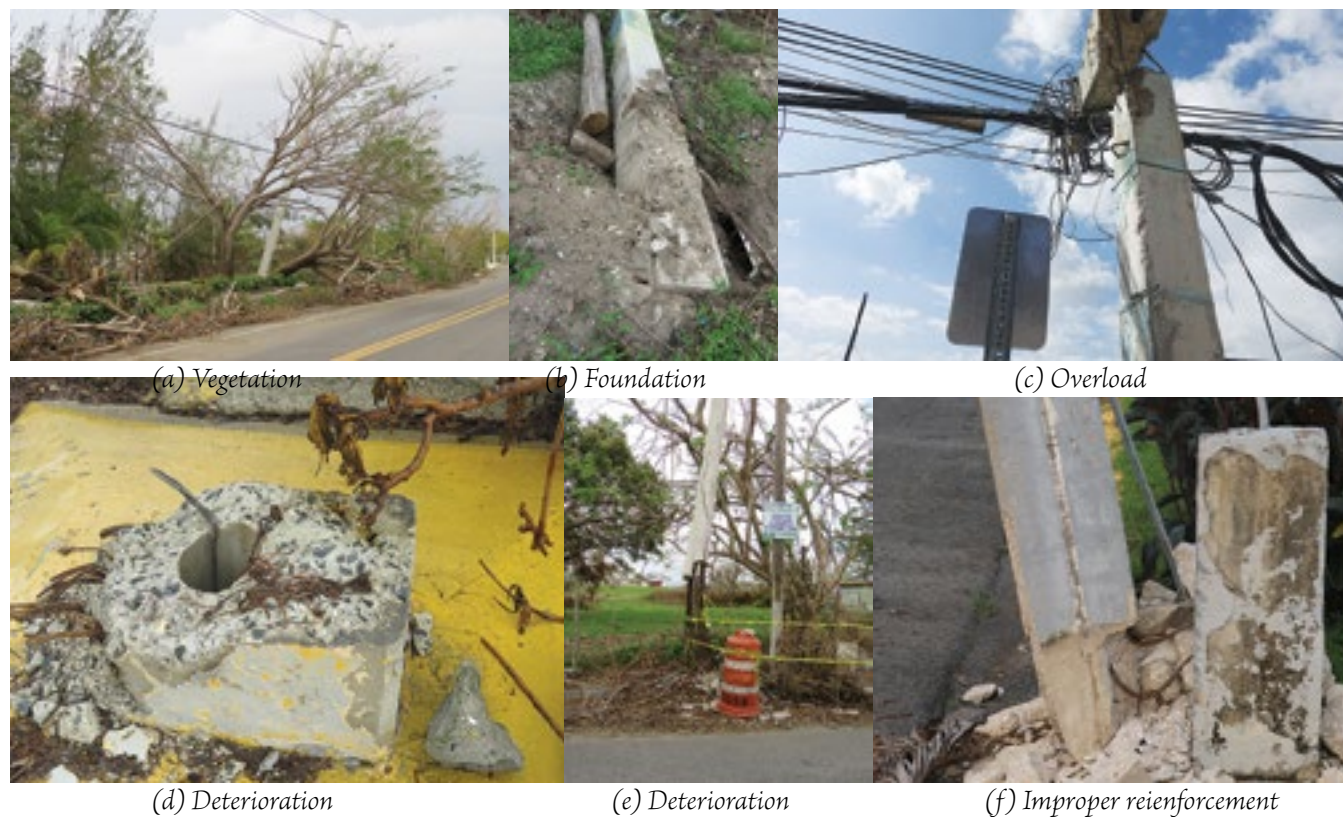


Figure 4. Samples of failure modes and causes of failure of concrete poles

## Conclusions

This article presented a summary of a survey made between October 3 and October 11, 2017 on failed concrete poles after Hurricane Maria's path through Puerto Rico. This work did not intend to provide an inventory of the collapsed poles but to report on typical modes of failure and their possible causes. As the pole types and failures began to repeat, thorough efforts focused on only a few poles in

different areas. Pole types were typically H4, H6, and H8 static-cast concrete poles manufactured in Puerto Rico according to the attached or stamped identification markers on many of the poles. Poles manufactured before Hurricane Georges (1998) exhibit all six causes of failure, while only two were predominantly observed for poles manufactured after Hurricane Georges. Based on this, poles were classified as pre-Georges and post-Georges.

Overall, the poles lacked substantial transverse reinforcement. Many also appeared to be overloaded with communication lines that were likely added over time after the poles were installed. A number of poles were missing transverse reinforcement entirely in the damaged sections where the internal structures of the poles were visible. In most cases, the concrete in the examined poles appeared to be sound.

Many of the concrete utility poles were also overloaded by large amounts of debris on the attached lines or by the failure of in-line wood poles. It seemed that the overloading resulting from Hurricane Maria was exacerbated by the previous overloads caused by the additional attached lines. Overloading and poor ground conditions were the main observed causes of failure on post-Georges poles.

Further investigation into the issue of transverse reinforcement and the ability of concrete utility poles, as they are currently designed, to withstand hurricane force winds is suggested.

## References

American Society of Civil Engineers (ASCE). 1995. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-95. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

ASCE. 2005. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-05. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

ASCE. 2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-10. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

ASCE. 2012. Prestressed Concrete Transmission Pole Structures: Recommended Practice for Design and Installation. Wesley J. Oliphant, Douglas C. Sherman, eds. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

ASTM International (ASTM). 2013a. "Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete." Standard C 805. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM. 2013b. "Standard Specification for General Requirements for Prestressed Concrete Poles Statically Cast." Standard C 935. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM. 2013c. "Standard Specification for Spun Cast Prestressed Concrete Poles." Standard C 1089. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Commonwealth of Puerto Rico. 1999. Puerto Rico Building Code 1999. Puerto Rico Permits and Regulations Administration, San Juan, PR.

Commonwealth of Puerto Rico. 2011. 2011 Puerto Rico Building Code. Puerto Rico Permits and Regulations Administration, San Juan, PR.

International Conference of Building Officials (ICBO). 1997. Uniform Building Code 1997. UBC 97. International Conference of Building Officials, Whittier, CA.

International Code Council (ICC). 2009. 2009 International Building Code. International Code Council, Inc., Country Club Hills, IL.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2017. Historical Hurricane Tracks. <https://coast.noaa.gov/hurricanes/>.

Rivera Cruz, J.A. 2015. Comportamiento Estructural de Edificios Industriales Típicos Propiedad de PRIDCO Sujeto a Cargas de Viento y Terremoto. M. Eng. Thesis. Department of Civil Engineering and Surveying, University of Puerto Rico at Mayaguez.

Ruiz, W. M. 1999. Inspection, Structural Evaluation and Design Recommendations for PREPA Prestress Concrete Distribution Line Facilities after Hurricane Georges. Walter M. Ruiz & Associates. Final Report.

WeatherFlow. 2017. [www.windalert.com](http://www.windalert.com).

## Biographical Notes:

**Dr. Felipe J. Acosta** is a professor at the Department of Civil Engineering and Surveying, University of Puerto Rico, Mayaguez Campus. His 1999 Ph.D. degree is from the Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, in Structural Engineering. He is a professional engineer registered in Puerto Rico. His areas of expertise are mechanical behavior of composite materials, finite element analysis, mechanics of composite materials, the uses of recycled materials in construction applications, and blast response of structures.

**Omar Esquilín-Mangual** has worked in the Survivability Engineering Branch at the U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC) in Vicksburg, Mississippi since April 2010. He has made invaluable contributions to research efforts aimed to develop Modular Protective Systems to protect personnel and other assets deployed in areas of hostility. Mr. Esquilín-Mangual develops high-resolution analyses of static and dynamic loadings on structural systems. He has been a registered professional engineer in Puerto Rico since 2006.

**Dr. Stephanie G. Wood** has worked as a research civil engineer in the ERDC Concrete and Materials Branch since May 2017. Dr. Wood's dissertation research investigated autoclave test methods for determining alkali-silica reaction (ASR) potential in concrete aggregates. She also led other ASR-related projects, including projects in collaboration with the Electric Power Research Institute and Oakridge National Laboratory. Dr. Wood currently serves on American Concrete Institute Committee 201 – Durability of Concrete.

**Dr. Didier M. Valdés** is a professor at the Department of Civil Engineering and Surveying, University of Puerto Rico, Mayaguez Campus. His 1999 Ph.D. degree is from the University of Texas at Austin, in Transportation Engineering. His areas of expertise include transportation systems analysis and design, highway safety, traffic engineering, logistics and disaster response among others.

**Wendy Long** is a Research Civil Engineer in the Concrete and Materials Branch of the ERDC. She is a Professional Engineer registered in Mississippi whose research is focused on developing concrete materials to meet the unique challenges that the U.S. Army Corps of Engineering faces in concrete construction.

## WE LISTEN

to your needs  
and concerns.

## WE DELIVER

professional and  
cost effective  
solutions to your  
projects.

We are a preeminent team of  
planners and designers, providing  
integrated solutions to advanced  
technology industries, manufacturing  
clients, commercial facilities and  
institutional clients.

### Our Services:

- Project Planning
- Feasibility Studies
- Site Selection/Due Diligence
- Concept Design
- Project Cost Estimating
- LEED Accredited Professionals
- Energy Assessments
- Development of BOD
- Detailed Design/Construction Documents
- Construction and Use Permitting
- Designated Inspectors
- HAZOP Reviews
- Equipment Bidding/Purchasing Specification
- Bid Review and Support Procurement

### For Prompt Service Contact:

Tom Forester, General Manager  
Phone: (787) 622-2720 • Fax: (787) 622-2725  
tom.forester@crbusa.com • www.crbusa.com  
BBVA Center, Suite 314,  
Mail Box #21,  
1738 Amarillo Street,  
Suite #314  
San Juan, PR 00926



## GEOCONSULT



*Soluciones en ingeniería geotécnica ...*



### RECURSOS DE AGUA

1997: Presa Fajardo, H = 34 metros, L = 514 metros,  
embalse 5,900,000 m<sup>3</sup>, relleno 1,035,000 m<sup>3</sup>

### ENERGÍA RENOVABLE

2012: Finca de Viento Santa Isabel, 44 turbinas de 2.3 MW,  
H = 134 metros, aspas de 54 metros, diámetro 108 metros

Ing. Patricia A. Crumley - Ing. Alan R. Crumley

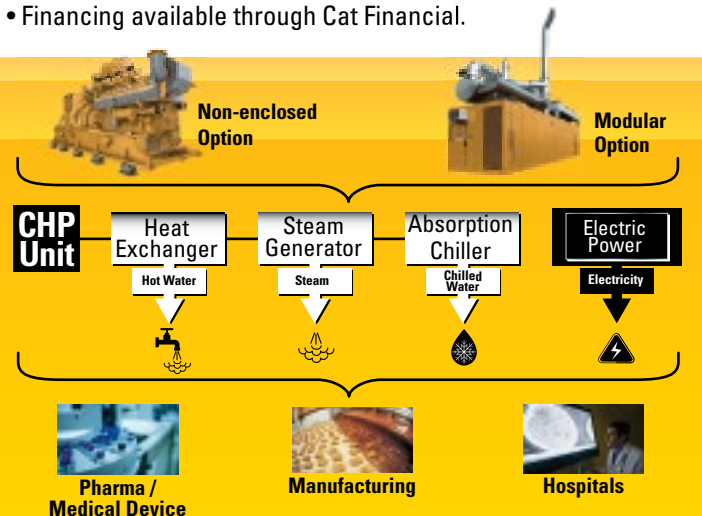
**GEOCONSULT**, P.O. Box 362040, San Juan, PR 00936-2040

Tel. 787-783-3585  
www.geoconsult.us

## REDUCE YOUR ENERGY COSTS

Satisfy all energy needs with a single power source

- Generate electricity, hot water, steam and/or chilled water with a system that delivers up to 90% efficiency.
- Significantly reduce electricity bill & eliminate other energy related costs from your operation.
- Trust the experts at RIMCO to provide world class service.
- Simplify project design with out complete modular solutions.
- Financing available through Cat Financial.



www.rimcocat.com

info@rimcocat.com

787.792.4300  
John F. Kennedy Ave.,  
Km 3.7, San Juan, PR

**RIMCO**



# TRULY NOLEN

**Industrial**

**Commercial**

**Residential**

**Pest and Termite Control services.**

We enjoy and use our **License to Kill:**

- \*Rodents \* Roaches \* Ants \*
- \*Flies \*Mosquitoes\* Termites \*
- \*and many other pests, including  
Dengue, Chikungunya & Zika vectors.

**Good citizens.  
Ruthless exterminators!**

**787-778-2950**

**787-778-2930 fax**

Email: [trulynolenpr@hotmail.com](mailto:trulynolenpr@hotmail.com)

[WWW.TRULYNOLENPUERTORICO.COM](http://WWW.TRULYNOLENPUERTORICO.COM)



# EL ROL DEL AGRIMENSOR Y LA IMPORTANCIA DE LA INFORMACIÓN GEOESPACIAL EN LA RESTAURACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO TRAS EL PASO DEL HURACÁN MARÍA EN PUERTO RICO

R.A. Moreno Vázquez

Parte importante del desarrollo de cualquier país, al igual que de su calidad de vida, es contar con redes de energía eléctrica eficientes, las cuales tienen la tarea de transmitir la electricidad de un punto a otro, incluyendo la distribución de la red domiciliaria, que es la de mayor cantidad de usuarios. La interrupción del servicio de electricidad por alguna falla en diversos sectores de la infraestructura eléctrica afectaría de manera directa a la población, ya que se suspenderían las actividades cotidianas y, más que nada, se impactaría adversamente la salud y modo de vida de los usuarios.

Esta interrupción del servicio eléctrico puede deberse a varios factores; los más usuales son los “eventos atmosféricos”, los cuales por su magnitud de impacto generan pérdidas millonarias de manera directa e indirecta, al igual que afectan en primera instancia a la población. Contar con planes de respuesta necesarios para el pronto restablecimiento y reconstrucción de la infraestructura eléctrica ante estos eventos forma parte de una cultura de atención y protección a la población, sobre todo en el aspecto del restablecimiento rápido del suministro eléctrico.

El ingeniero agrimensor, topógrafo, como profesional responsable y enfocado en las prácticas de campo, es parte importante en la reconstrucción de infraestructura eléctrica, ya que él, como experto en la identificación y evaluación del terreno, aporta de manera significativa elementos tales como: valoración de daños; información de campo, la cual traduce en información gráfica para diseño; identificación de accesos; trazo de rutas; interpretación de imágenes satelitales aéreas. Todo esto se consigue con la utilización de la información geoespacial y se usa en el proceso de reconstrucción, el monitoreo y control de obra, hasta que la infraestructura eléctrica quede totalmente en condiciones de operación.

Por ello es de gran importancia contar con el acervo de información geoespacial, para la pronta atención a estos eventos.

## Plan de respuesta ante emergencia por impacto de huracán.

La importancia de contar con un plan de respuesta ante el daño de la infraestructura eléctrica, ya sea de causa natural o inducida, contempla estar preparados y listos para reaccionar en cualquier momento, y así reparar los daños causados, con el objeto de aminorar el tiempo de interrupción del suministro de energía eléctrica y acortar el tiempo en el que la población sea afectada.

Parte fundamental de este plan de respuesta, y de hecho es la esencia del mismo, es la geomática, la cual tiene como uno de sus objetivos la gestión y tratamiento de la **información**

**geoespacial**, mediante la utilización de tecnologías de la información y comunicación. Dicha gestión incluye la recolección, modelado, tratamiento, almacenamiento, análisis, explotación y representación de datos geográficos. Para ello es importante que cualquier nación cuente con dicha información a la mano y actualizada constantemente, misma que debe ser manejada por agrimensores, ya que contamos con los conocimientos técnicos científicos correspondientes para ello. Definitivamente, para poder atender una emergencia de esta magnitud, como es el caso del paso del huracán María, debemos contar con un plan de respuesta basado en **información geoespacial**, como lo menciona la agrimensora Ruth L. Trujillo Rodríguez en su artículo en el periódico “El Nuevo Día” de fecha 30 de octubre del 2017, “Si Puerto Rico hubiese contado con una base de datos geoespaciales confiable, exacta y en cumplimiento con los más altos estándares federales, tanto los gobiernos municipales, como el estatal y el federal, hubiesen tenido la mayor y mejor herramienta: un mapa de múltiples fines y multidisciplinario que hubiera mostrado la ubicación exacta de las necesidades de nuestra población.”

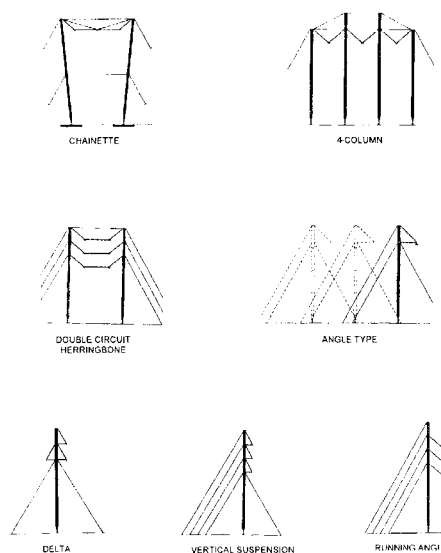


Figura 1. Tipos de estructuras de emergencia. <sup>[1]</sup>

Debido a la importancia que juega el sistema eléctrico en una emergencia de esta índole, se debiera contar con una plataforma de información geoespacial dirigida y planificada por agrimensores, donde se consideren las plantas de generación de energía eléctrica, las trayectorias de líneas de transmisión y en donde sea estipulado el tipo de torre (estructura), uso,

número y código, aunado a que se manifieste el voltaje, nombre de la línea, dirección de flujo eléctrico, así como las subestaciones eléctricas relacionadas al sistema.



Figura 2. Instalando estructuras de emergencia <sup>[1]</sup>.

En esta misma plataforma se puede incluir la información que proporciona la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), la cual funcionaría como un sistema de alerta, seguimiento en tiempo real y desarrollo de escenarios de daños pronosticados ante la ocurrencia de nuevos fenómenos meteorológicos de este tipo, que permita actuar con la mayor rapidez posible en la reparación y restablecimiento del suministro de energía eléctrica, conocer la trayectoria de estos fenómenos meteorológicos en tiempo real, pronosticar los posibles escenarios de daños y agilizar la reparación y reposición de la infraestructura afectada.

De igual manera, dicha información geoespacial nos sería útil para generar información detallada y mapas de riesgo de la infraestructura existente dentro de la trayectoria real y estimada del fenómeno meteorológico, emitiendo reportes automáticos de los daños potenciales a personal autorizado por correo electrónico, ofreciéndoles oportunamente la información que se requiere para la planificación de los recursos materiales, económicos y humanos necesarios en las labores de reparación.

La velocidad y la trayectoria de un huracán dependen de complejas interacciones entre éste, la atmósfera y el mar, lo cual los hace difícil de predecir. Afortunadamente, la tecnología de la percepción remota, los avances de la meteorología, las recientes tecnologías de la comunicación (internet) y la existencia de agencias de gobierno con programas enfocados al estudio de las condiciones oceánicas y atmosféricas, como la NOAA, hacen posible obtener información en tiempo real de un huracán y predecir con determinado grado de certidumbre y hasta con 5 días de anticipación, su magnitud, velocidad de los vientos y su dirección.

En este plan geoespacial se puede incluir también la generación de reportes donde indique: materiales de instalación permanente; reporte de estructuras disponibles; tabla de costos por km-L; recursos de personal; equipo de comunicación; parque vehicular; maquinaria; equipo topográfico; generación de vectores automatizados de trayectorias; análisis de isotacas; vectores de isotacas en el área de riesgo; vectores de posibles zonas de formación ciclónica; vectores de zonas de alta y baja presión; vectores sobre imágenes satelitales; frentes fríos, cálidos, estacionarios; escenarios de riesgo de líneas y torres

de alta tensión, así como subestaciones eléctricas; entre otros elementos de gran utilidad para el monitoreo del fenómeno.

Esto sin dejar de mencionar que dicho plan cuente con el amplio acervo de instrucciones de trabajo, procedimientos, en todas las aéreas de ingeniería especializada, como los son: agrimensura; civil; electromecánica; comunicaciones; puesta en servicio; contratación; ciencias de la tierra y otras disciplinas tales como social, ambiental, indemnizaciones y derechos de vía jurídico. Esto es necesario para la preparación y atención de emergencias en siniestros o contingencias que dañen las instalaciones eléctricas para su pronto restablecimiento.

*“La prioridad en la atención de estas emergencias no radica en los montos de inversión para la restitución de la infraestructura dañada, sino la prontitud con la cual se debe atender la reparación de los daños, para el inmediato restablecimiento y no afectar la calidad de vida de la sociedad.”*

Con esta visión de la información geoespacial muy bien administrada y aplicada, se desarrollan procesos y herramientas que permitan identificar y planificar las acciones necesarias para la reparación de los daños potenciales que un huracán puede ocasionar, como lo fue el caso del Huracán María, sobre la red de transmisión y distribución de energía eléctrica, desde el momento mismo que una zona puede ser impactada por un fenómeno de esta naturaleza.



Figura 3. Línea energizada con estructuras de emergencia <sup>[1]</sup>.

### Trabajos de agrimensura en el restablecimiento de energía eléctrica.

Para poder dar una óptima atención a este tipo de fenómenos, es necesaria la plataforma de información geoespacial que se sugiere anteriormente. Desde el momento que se inicie el monitoreo del fenómeno, el agrimensor, topógrafo, inicia con las actividades de atención a dicho evento. Una vez identificada la zona donde impactó y las instalaciones dañadas, se inicia la generación de planos donde se muestre: líneas afectadas y líneas aledañas a la zona; rutas de acceso, predios, poblados; y trayectorias probables del fenómeno en tierra. Dichos planos deben utilizar de fondo imágenes satelitales donde se aprecia a mayor detalle la zona.

Primeramente, se necesita contar con información geoespacial donde se muestren las rutas de acceso a las líneas de alta tensión, lo que se generaría contando que las líneas existentes se les debe dar el mantenimiento adecuado y que la autoridad de energía cuente con caminos de accesos identificados, georreferenciados y de fácil acceso a cada una

de las torres. Así mismo, se requiere el mantenimiento a la trayectoria de la línea, el cual consta de realizar la poda de vegetación en toda la trayectoria, para que en cualquier momento no haya obstáculos al acceder a cada estructura.



Figura 4. Identificación puntual de los daños a las estructuras de transmisión <sup>[2]</sup>.

Así mismo, para reestablecer el servicio lo más pronto posible, no es necesario esperar a que se reconstruyan todas y cada una de las líneas de transmisión afectadas. Si ese estado cuenta con un buen plan donde existan las rutas de llegada a toda la red eléctrica, existen estructuras provisionales que sirven para el pronto restablecimiento de electricidad. Este tipo de estructuras son de instalación rápida y versátil.

Existen varios arreglos que se pueden hacer con las estructuras dependiendo de varios factores como el voltaje de la línea de transmisión, la longitud de los claros, el lugar y tipo de terreno.



Figura 5. Ejecución de Levantamiento Topográfico, para el diseño de la nueva línea de transmisión <sup>[2]</sup>.

Preliminarmente, una estructura de emergencia se monta con apoyo de un helicóptero y su instalación dura entre 4 y 6 horas. Si no se cuenta con helicóptero, se monta en un día completo y cada estructura de emergencia se instala aproximadamente entre los 200 o 250 m, considerando la orogénesis del sitio.

Esta instalación es la más rápida y eficiente que existe a la fecha; esto apoya al pronto restablecimiento y aguanta hasta que se diseñe a detalle la línea de transmisión afectada.

Muchas actividades deben de realizarse a la par, como el realizar gráficos topográficos de los perfiles de las líneas afectadas, utilizando como herramienta los modelos digitales de elevación (información con la que se cuenta al momento que forma parte de la información geoespacial), ya que este es un gráfico paramétrico de primer instancia, para que los proyectistas tenga una idea de cómo se comporta el terreno,

misimos planos que serán sustituidos por los planos definitivos de planta y perfil que se generen con el levantamiento realizado *in situ*. Desde las primeras labores ejecutadas, es de suma importancia trabajar con los parámetros y cuidados geodésicos oficiales, ya que toda la cartografía y planos deben cumplir con los estándares de calidad. Una vez se está en el campo, se inicia con la identificación y georreferenciación de estructuras colapsadas, con objeto de realizar la evaluación puntual del daño, misma evaluación que se ejecuta a la par del levantamiento topográfico, para obtener los perfiles puntuales y comportamiento del terreno, trabajo realizado con equipos GPS y drones, con la mayor eficiencia y pronta información para el nuevo diseño de la línea de transmisión. De igual manera, para la rápida obtención de información topográfica de campo se puede emplear la tecnología LiDAR, ya que su campo de obtención de información es más rápido. Por otra parte, se encuentran a la par desarrollando los trabajos de instalación de torres de emergencia como lo comentamos, esto con la finalidad de transmitir la energía con estructuras provisionales de manera pronta y no dejar a la población sin suministro eléctrico en lo que se reconstruye la línea definitiva, para lo cual el agrimensor, topógrafo, aporta y aplica totalmente sus conocimientos para esta labor.



Figura 6. Ejecución de la localización y trazo de estructura <sup>[2]</sup>.

Una vez realizados los levantamientos topográficos de planta y perfil, ya sea con diferentes técnicas o metodologías y con diferente equipo, se inicia el proceso de diseño de la nueva línea de transmisión, donde los ingenieros electromecánicos y civiles se encargan de esta faceta.

Ya una vez que se cuenta con el diseño de la línea, se regresa al campo con el fin de identificar y localizar el sitio donde se instalarán las nuevas estructuras, esta parte del trabajo se le denomina localización de estructuras y perfiles en cruz, donde se realiza a detalle un levantamiento de perfil en cruz, para saber que extensiones y niveles deberán de tener las nuevas estructuras ya localizadas. Posteriormente, se inicia con el trazo de la cimentación, el nivelado y armado de la estructura. Ya armada la misma, se verifica la verticalidad para posteriormente realizar el tendido del cable conductor y verificar sus flechas y tensiones para concluir con la reconstrucción de la infraestructura.

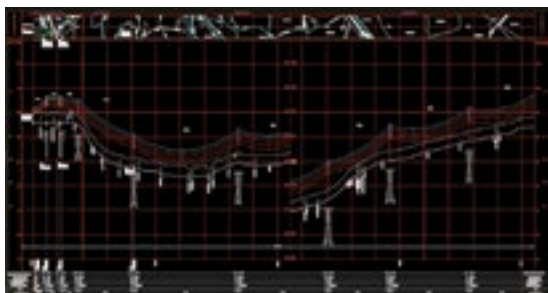


Figura 7. Proyecto de línea de transmisión, donde se muestra el perfil topográfico y el proyecto eléctrico <sup>[2]</sup>.

A la par de esto también, el ingeniero agrimensor, topógrafo, realiza la localización y trazo de caminos de acceso, planos indemnizatorios, control y monitoreo de actividades topográficas, de requerirse alguna selección de trayectoria nueva.



Figura 8. Conclusión de la reconstrucción de línea de transmisión <sup>[2]</sup>.

## Conclusión

Éxito que se manifiesta tras el arduo trabajo que demanda una emergencia es la principal satisfacción del ingeniero agrimensor, topógrafo, y de las diferentes disciplinas que participan en la reconstrucción, ya que el objetivo es cumplir con el servicio de energía eléctrica y apoyar a las comunidades afectadas.

Las islas de Puerto Rico se encuentra geográficamente situada en un lugar donde el impacto de huracanes es latente; se sugiere que se cuente de manera inmediata con un sistema de información geoespacial como lo mencioné, ya que con el mismo se puede atacar de una manera más eficiente este tipo de eventos. Contar con los suministros suficientes y un inventario amplio para que al momento de la atención a emergencia (reconstrucción) no se carezca de materiales y suministros. Se deben utilizar las estructuras de emergencia para el pronto restablecimiento de energía eléctrica, y no esperar hasta que las líneas se reconstruyan, así como que en las redes principales de transmisión sean construidas con estructuras anti-huracanes, las cuales pueden soportar hasta velocidades de 200 km/hr, y que todos los elementos a reconstruir sean nuevos, ya que con el impacto que sufrieron pueden perder resistencia. En la reconstrucción de las líneas de transmisión es importante aprovechar que sean situadas en una trayectoria óptima de accesos identificados aunado a un mantenimiento claro y efectivo en la zona donde se instalen las líneas de transmisión, para con ello no tener problemas de acceso a cada una de las torres, así como la poda programada periódicamente en toda la línea con el objeto de eliminar toda la vegetación que nos

pueda obstruir en una emergencia. No podemos dejar a un lado la cultura cívica de protección civil; todos los trabajos deben estar apegados a las normas de seguridad vigentes. El contar con un seguro en las instalaciones eléctricas forma parte de un eficiente plan de trabajo de atención a emergencias, porque los costos serán cubiertos con esos fondos.

Para terminar este artículo solo quiero agregar que la importancia de un agrimensor es la esencia del desarrollo de cualquier trabajo de ingeniería para el avance de la humanidad.

Y la presente frase: "Al contar con la información geoespacial seremos agrimensores preventivos y no tanto resolutivos"

## Referencias

- [1] Sistema de Repuesta Temprana ante el Impacto de Huracanes, SIRETIH, CFE/DCIPI/CPTT, México 2018.
- [2] Atención a las emergencias Huracán Patricia, Huracán Odile, CFE/DCIPI/CPTT, México 2014-2015.

## Nota biográfica

Rigoberto Alejandro Moreno Vázquez es Técnico en diseño y construcción, ingeniero topógrafo, egresado de la Benemérita Universidad de Guadalajara (2009). Cuenta con una maestría en ingeniería del agua y la energía, de la misma universidad y actualmente cursa la maestría en valuación. Ha trabajado en diferentes áreas de la topografía, geomática, geodesia y ciencias de la tierra; posee vasta experiencia en la materia de la topografía legal y en la topografía del sector eléctrico de transmisión y transformación.

En el sector privado, trabajó en gran variedad de estudios y proyectos topográficos y de ciencias de la tierra, así como en peritajes en materia de topografía. En el sector público se desempeña como supervisor de selección de sitios y trayectorias, en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Occidente de la Comisión Federal de Electricidad, donde también participa en el desarrollo de normativas y especificaciones a nivel nacional, relacionadas con la topografía. De la misma Residencia es coordinador de topografía en los trabajos de emergencias ante el impacto de huracanes.

Ha sido docente a nivel universitario en materias enfocadas a la topografía, GPS, fotogrametría y cartografía, de igual manera ha sido instructor de cursos de capacitación a nivel nacional en la misma materia, para la CFE.

Ha participado como ponente en congresos internacionales; es miembro fundador y Secretario Técnico del Colegio de Ingenieros Topógrafos Geodestas del Estado de Jalisco A. C. (CITGEJ); es miembro corresponsal, en México, de la Asociación Panamericana de Profesionales de la Agrimensura y la Topografía, (APPAT) al igual que del Colegio de Ingenieros Topógrafos de Costa Rica (CIT). Es miembro de la Junta Académica de la Maestría en Ingeniería del Agua y la Energía; ha escrito diferentes artículos para revistas en el ámbito de la Astronomía y Topografía, así como ha desarrollado investigación y difusión en los mismos campos.

# DICCIONARIO ZURDO

por Don Poco Sabe

Al revisar el anterior artículo de **don Poco**, encontrarás expresiones que, leídas en retrospectiva, parecen como si hubieran sido una alerta para los que han tenido que lidiar con los efectos del reciente fenómeno atmosférico que dejó nuestra querida **Aguacatinia** en un caos que ha forzado a muchos usar el **shakespeariano**, ya sea porque se han tenido que marchar hacia otras jurisdicciones a buscárselas o han tenido que comunicarse con los que han llegado de otras jurisdicciones a ayudar en las reparaciones del caos. Aquí **don Poco** reitera algunas de sus recomendaciones y añade otras más, específicas a la situación presente.

Hace unos meses —antes de María— **don Poco** escribió:

“En estos tiempos algo difíciles para nuestra querida **Aguacatinia**, vemos a muchos autóctonos **aguacates** teniendo que salir a buscárselas fuera de los límites territoriales de nuestro archipiélago (como lo llama **Aguacatazo**, un estudioso de la historia que publica muchas curiosidades sobre la historia de nuestra jurisdicción territorial). La gran mayoría de los viajeros van a jurisdicciones de habla **shakespeariana**, donde es menester conocer suficiente de esa lengua.”

Aquí se resumen algunas de las recomendaciones de entonces:

**Pronunciación de la vocal “i” y la combinación “ee”:** La primera tiene un sonido corto, casi como la “e” de **Lares** cuando la pronuncia un **aguacate** originario de esa jurisdicción (*ship* \ship\¹). La segunda se pronuncia como cualquier “i” del **cervantino**. (*Sheet* \shēt\²)

**Pronunciación de la combinación “oo”:** Un ejemplo frecuente de esta confusión involuntaria es entre la pronunciación de los vocablos **shakespearianos** *kook* y *cook*. Si no tienes el cuidado, o el oído entrenado, puede que insultes al cocinero, diciéndole que es un gran tonto (*kook* \kü\³) cuando en realidad lo que le quisiera decir es que es un gran cocinero (*cook* \kü\⁴). Algunos vocablos en los que se pronuncia la combinación “oo” de forma parecida a la “u” **cervantina** son: *toot*, *scoop*, *moot*, *spook*, *shoot*... Otras que suenan parecidas entre ellas, pero bien diferente a la u latina son: *book*, *cook*, *nook*... y si vas a hablar de sangre (*blood*), o inundación (*flood*), esas no se pronuncian ni como *kook* ni como *cook*, sino \bləd\⁵, usando signos diacríticos.



**Uso de las preposiciones *in*, *on* y *at*.** Eso ha sido lo más difícil de aprender para don Poco. Quizás se debe a que en **cervantino** la preposición “en” es sumamente amplia, que denota en qué lugar, tiempo o modo se realiza lo expresado por el verbo a que se refiere (**mataburros** de la RAE⁶). En **shakespeariano** la cosa es diferente. Hace unos días, **don Poco** vio en el **Libro-de-caras** a un **aguacate** publicando que estaba en la exhibición de perros de raza y escribió “*I’m in the dog show*.” Pues en **shakespeariano** se podría entender que está participando en la exhibición ¡como perro! La expresión correcta debió ser “*I’m at the dog show*.” En **cervantino** no hay ninguna ambigüedad cuando decimos “estoy en la exhibición de perros de raza” o “estoy en la plaza en Juana Díaz”, pero en **shakespeariano** sería más correcto decir “*I am at the town square in Juana Díaz*” que “*I am in the town square in Juana Díaz*”). Para esta a don Poco no le parece haber una buena forma de aprender su uso, excepto leyendo y escuchando mucho.

Aquí te presento un poco más:

Un maestro de **shakespeariano** le dijo a **don Poco**, mientras tomaba una clase del susodicho idioma cuando estudiaba su profesión **dimensionaría**, al evaluarle una composición, “*Don’t ever attempt to separate words in syllables unless you have a dictionary at hand*.” Luego de verse inmerso en **shakespeariano** por suficiente tiempo, **don Poco** se dio cuenta de por qué el maestro lo decía. Veamos:

# DICCIONARIO ZURDO

Sobre el vocablo **Pronunciación**: – separación de sílabas en **cervantino**: pro-nun-cia-ción; **Pronunciation** – separación de sílabas en **shakespeariano**: pro-nun-ci-a-tion. Como verás en este ejemplo, la separación de sílabas entre los lenguajes puede ser diferente, aun en vocablos con las mismas raíces. Aquí te incluyo una lista de vocablos en **shakespeariano** que son análogos a vocablos en cervantino con sus respectivas separaciones de sílabas (usados en algunos de los artículos sobre los resultados del huracán María incluidos en esta edición de **Dimensión**):

**Actual**: ac-tu-al (cuidado con el significado de este vocablo, usualmente se refiere a realidad, no al tiempo presente)

**Administration**: ad-min-is-tra-tion

**Consolation**: con-so-la-tion (este se separa como si fuera en **cervantino** lo que nos recuerda una vez más que hay que escuchar el nuevo lenguaje para aprender a pronunciarlo)

**Consolidation**: con-sol-i-da-tion

**Preliminarily**: pre-lim-i-nar-i-ly

**Reinforcement**: re-in-force-ment

**Stratification**: strat-i-fi-ca-tion

Como dice el viejo dicho **cervantino**, “para muestra con un botón basta”, así que **don Poco** te deja con la siguiente nota:

Es difícil recordar todas las tonalidades en las diferencias entre ambos lenguajes. El mejor consejo práctico que **don Poco** te puede ofrecer es que, en vez de tratar de aprender los signos diacríticos y tratar de descifrar pronunciaciones, que es difícil y confuso, debes escuchar atentamente cómo lo dicen los que hablan el **shakespeariano** como lengua materna, e imitarlo lo mejor que puedas, así te harás entender mejor, y estarás respetando la lengua **shakespeariana** tal como todos queremos que se respete nuestra lengua **cervantina**.

Recuerda **don Poco** a un amigo que buscaba el Coliseo Gallístico en Isla Verde y le preguntó, usando su mejor **cervantino**, a un muchacho en la calle que “dónde era la guerra de los pollos.” El muchacho, gracias a Dios, no se ofendió, y cuando se figuró lo que decía el visitante, le dio instrucciones para llegar al Coliseo. Apliquémonos el cuento cuando estemos hablando **shakespeariano**, especialmente fuera de **Aguacatinia**, para que nadie piense que no le respetamos su lengua, o tenga que figurarse qué diantres estamos diciendo.

Para oír pronunciaciones de vocablos en **shakespeariano** para los que no tengan la oportunidad de oír la pronunciación de parte de alguien que hable **shakespeariano** como lengua nativa, don Poco sugiere el diccionario Merriam-Webster<sup>7</sup> “online”, que contiene grabaciones de la pronunciación de los vocablos incluidos.

Enlace: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/ship>

Enlace: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sheet>

Enlace: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/kook>

Enlace: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/cook>

Enlace: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/blood>

Link: <http://www.rae.es>

Link: <https://www.merriam-webster.com>

**CARENTEC**  
D-9 Villa Beatriz, Manatí PR, 00674  
tel. (787)884-0497 / 3355  
fax. (787)854-7241

Our experience and proficiency makes us the  
**BEST HVAC SOLUTIONS PROVIDER**  
In Puerto Rico

Our Services Include:  
**TAB**  
Testing and Balancing  
of HVAC and Hydronic Systems  
**CPT**  
Classroom Certification (ISO 14644)  
HEPA testing and certification  
**Commissioning and Validation**  
of HVAC, USF Water, and Facilities

**HEPA**  
testing and  
certification

**NEBB**  
Certification Nos. 3291  
CR167

# BE READY FOR TODAY'S AND TOMORROW'S IT CHALLENGES



CompTIA certifications and re-certifications help individuals:  
**build exceptional careers in information technology**  
**form and maintain a skilled and confident staff.**

With review courses and testing facilities at the Jane Stern Dorado Community Library in Dorado

CompTIA A+: 39 hours of instruction over 6 Saturdays: \$695

Network +: 33 horas of instruction over 5 Saturdays: \$795\*

\*All courses include study materials, and cost of exam or exams



Information: (787) 647-9343 or  
visit the library website a [JSDCL.org](http://JSDCL.org)

**GET CERTIFIED!**



# BECAUSE THE WORK MUST GO ON



## GENERATORS

**Industrial, Commercial and Residential**  
Sales - Rentals - Part - Maintenance - Contracts



## THE POWER OF ENERGY

[www.antillespower.com](http://www.antillespower.com)

**Tel. 787-622-9330**

**Service 24/7 787-774-7936**