

# **Análisis Geoespacial del Impacto del Aumento del Nivel del Mar en la Infraestructura del Área Metropolitana de Puerto Rico**

Jorge E. Rodríguez  
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial  
Prof. Marisol Rodríguez  
Departamento de Agrimensura y Ciencia Geoespacial  
Universidad Politécnica de Puerto Rico

**Abstract** — *Climate change is a phenomenon that is affecting different places and countries around the world. Among its consequences are global warming and sea level rise (SLR) on the coast. The SLR is largely caused by the melting of glaciers in the planet's poles. Each year the sea is increasingly stealing land from the coast to reach urban, tourist, commercial or government sites that may affect infrastructure and economy, besides affecting thousands of people in the medium and long term. In Puerto Rico much infrastructure has been built near the coasts and wetlands, which are the most likely to be impacted by this phenomenon. Different simulators have been prepared through the internet and government agencies that visually demonstrate how that sea level could rise. The base information used in these simulators not always indicates its source, how it is updated and has limited precision that cannot be used in detailed planning. The purpose of this research is to conduct a geospatial analysis of the potential impact of rising sea levels due to climate change in the existing infrastructure of PR using and comparing different digital elevation models available.*

**Key Terms** — *Climate Change, Digital Elevation Models, Geospatial Analysis, Infrastructure, Sea Level Rise.*

## **INTRODUCCIÓN**

El cambio climático es un fenómeno que está afectando diferentes países alrededor del mundo. Entre las consecuencias del SLR se encuentran que puede acelerar la erosión de las costas, inundar permanentemente la tierra, especialmente en humedales, acelerar la intrusión de agua salada, aumentar los riesgos de marejada ciclónica y producir una serie de otros riesgos ambientales relacionados con el cambio climático.

Para llevar a cabo el análisis de impacto en la infraestructura y dotaciones típicamente se utilizan los modelos de elevación digital (DEM en inglés) como dato base geoespacial. Estos tienen niveles de incertidumbre que afectan el resultado de cualquier análisis o visualización, debido a varios factores que se mencionarán a continuación, los que serán evaluados según los estándares actuales. Luego se hará el análisis correspondiente y se compararán los resultados. Los datos de elevación utilizados para presentar el SLR no siempre son presentados y su error estadístico no siempre es conocido o es difícil de establecer. Los DEM a evaluar son provenientes de agencias de gobiernos estatales o federales que no se compilaban necesariamente para el cálculo de SLR, por lo que su precisión y aplicabilidad debe ser evaluada.



**Figura 1**  
**Área de Estudio en Área Metropolitana de San Juan**

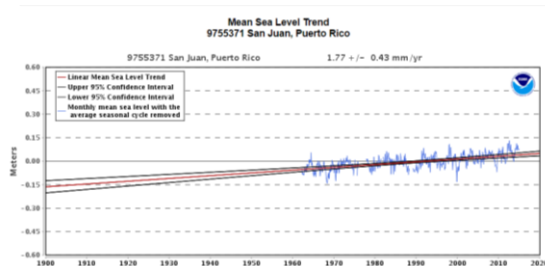
## **ÁREA DE ESTUDIO**

Para llevar a cabo este análisis se escogió el Área Metropolitana de San Juan. Se seleccionó esta área por ser la más importante en términos de infraestructura en todo Puerto Rico. Contiene puertos, aeropuertos, las carreteras más transitadas, tuberías más grandes y estructuras residenciales,

comerciales e industriales. El área de estudio cubre la parte norte de los municipios de Toa Baja, Bayamón, Cataño, Guaynabo, San Juan, Carolina y Loíza. En la Figura 1 se puede ver la extensión del área de estudio donde el recuadro tiene unos 421 km<sup>2</sup>, incluyendo tierra y mar.

## MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL

Una variedad de datos de elevación se ha utilizado en estudios previos para cuantificar la cantidad de terrenos y población que se verá afectada por el SLR. En estos la resolución horizontal de los datos de elevación varía de unas granulaciones de cerca de 1 kilómetro en evaluaciones a nivel mundial y regional a una resolución fina de unos pocos metros para estudios locales. En la mayoría de los casos la incertidumbre de los datos de elevación no se toma en cuenta de manera cuantitativa, por lo que los resultados finales no pueden presentar un panorama completo del potencial de inundación. [1]



**Figura 2**  
**Tendencia de Punto de Referencia de Marea en La Puntilla (9755371) [2]**

Para el año 2012 la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA en inglés) estableció en Puerto Rico un nuevo datum vertical geodésico para toda agrimensura y/o análisis geoespacial que considere elevaciones. Este nuevo modelo de referencia se le conoce como el Datum Vertical de Puerto Rico 2002 (PRVD02), y está basado en los mareógrafos que se encuentran en La Puntilla en San Juan (9755371). Este su vez se basa en el Geoid12A, establecido por la National Geodetic Survey (NGS en inglés), la división geodésica de la NOAA. Este punto se utiliza como base para los demás puntos de referencia alrededor

de la isla, siendo el área metropolitana la que contiene mayor cantidad de puntos. La Figura 2 muestra la tendencia del aumento del nivel del mar en La Puntilla con un promedio de 1.77 +/- 0.43 mm/año desde la década de 1960, que equivale a 3.5” de aumento en 50 años o 7” para el año 2060, si se considera lineal la tendencia. La tendencia lineal de aumento se basa mayormente en datos históricos proyectados al futuro, como se puede apreciar en La Puntilla, pero con la aceleración del cambio climático en los últimos años podría cambiar a una tendencia exponencial. La realidad es que no se sabe con precisión cómo se va a comportar el SLR en el futuro y la tendencia es muy probable que aumente de acuerdo a nuevas investigaciones que surgen constantemente. [3]

Para el desarrollo de ésta investigación se analizaron cuatro diferentes DEM que contienen diferentes datums tanto horizontales como verticales. Los datums verticales son mayormente basados en el nivel promedio del mar (MSL en inglés) locales establecidos en otras épocas. En la Tabla 1 se puede ver las fuentes de cada una:

**Tabla 1**  
**Fuentes y Características de Modelos de Elevación Digital**

Agencia	Año	Resolución Análisis	Datum Horizontal Original	Datum Vertical Original
NOAA	2013	5x5	WGS84	PRVD02
NOAA	2007	5x5	WGS84	MHW
CRIM	1999	5x5	SP 83	MSL
USGS	2007	30x30	NAD83 Geographic	LMSL

Todos estos modelos de elevación fueron establecidos para diferentes aplicaciones geoespaciales tales como ortorectificación de fotos aéreas o satelitales, delineación de cuencas hidrográficas, diseño de carreteras, modelaje de tuberías, entre otras, pero su relación con el nivel del mar no siempre era significativa porque la mayoría de sus aplicaciones se hacían tierra adentro y bastaba con tener elevaciones relativas a un punto de origen. Al considerar el SLR es importante saber la precisión de su datum vertical incluyendo elevaciones bajo el mar. Los Datos de Elevación

Nacionales (NED en inglés) utilizados provienen del USGS, con una resolución espacial de 30m, y un datum vertical MSL local. Solo uno de los DEM de la Tabla 1 tiene como datum vertical el PRVD02, cuya fuente es la NOAA, publicado en el 2013, y que se utiliza también para los análisis de SLR [4]. Los demás tienen el nivel promedio del mar de una u otra forma integrada, excepto los datos de NOAA 2007 que se basan en Nivel Alto del Mar (MHW en inglés), que según su documento de apoyo este nivel es 16.5 cm promedio más alto que el MSL [5]. Los datos de NOAA, tanto los de 2007 como los de 2013, son prácticamente una recopilación de datos de diferentes fuentes del gobierno local y federal que se unieron para otros propósitos, pero también podían utilizarse para análisis de SLR.

## DISEÑO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo el análisis de infraestructura primero hay que evaluar la calidad de los datos de los DEM. Al tener diferentes datums horizontales y verticales se requiere hacer la respectiva conversión para que estén en un mismo sistema de coordenadas. Para el datum horizontal se utilizó el Sistema de Coordenadas Planas Estatales en metros. En el caso de los datums verticales, dado que la mayoría de los datos fueron referenciados a MSL locales, sin especificar claramente en su metadata su base geográfica, se llevó a cabo la prueba de exactitud vertical de la Asociación Americana de Fotogrametría y Percepción Remota (ASPRS) para modelos de elevación digital, la cual emplea una fuente de mayor exactitud sobre la fuente a evaluar empleando el método del error cuadrático medio (RMSE en inglés) [6]. Se utilizó la siguiente fórmula para evaluar los datos:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{data\ i} - Z_{check\ i})^2}{n}} \quad (1)$$

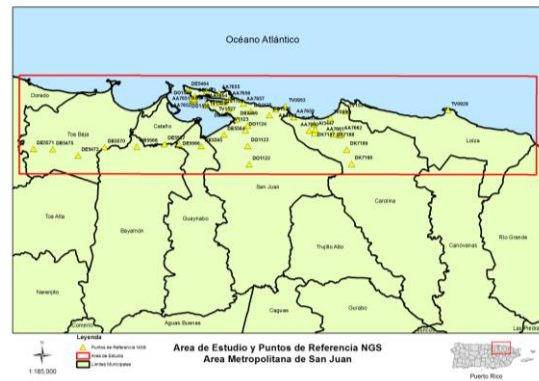
Donde,

$z_{data\ i}$  es la coordenada vertical del  $i$ ésimo punto en el conjunto de geodatos.

$z_{check\ i}$  es la coordenada vertical del  $i$ ésimo punto de cotejo en la fuente independiente de mayor exactitud.

$n$  es el número de puntos cotejados,  $i$  es un número entero, desde 1 a  $n$ .

Como fuente de mayor exactitud se tomaron los puntos de referencia del NGS, adquiridos a través de la página de la Oficina de Gerencia y Presupuesto (OGP). Estos puntos de referencia se obtuvieron en trabajos de campo realizados por NGS durante el año 2002 desde La Puntilla a Crash Boat en Aguadilla, definiendo el MSL desde 1982 al 2001 [7].

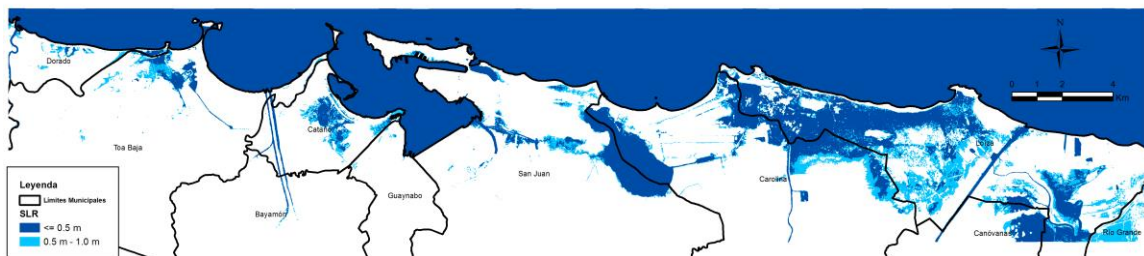


**Figura 3**  
**Puntos de Referencia en Área de Estudio del Área Metropolitana de San Juan**

Basado en los estándares del ASPRS, que se publicaron en Marzo 2015, para un área menor de 500 km<sup>2</sup>, se necesitan 20 puntos como mínimo para evaluar la precisión vertical u horizontal. El área de estudio comprende 421 km<sup>2</sup> y se utilizaron 50 puntos de cotejo, cumpliendo el estándar.

En cada uno se tomó su respectiva elevación de cada DEM y se tabularon. Se llevaron a cabo los cálculos para obtener el RMSE<sub>z</sub>. También se calculó el 95% de nivel de confianza (95% CL), que significa que el 95% de las posiciones en el conjunto de datos tendrá un error con respecto a la verdadera posición de tierra que sean igual o menor que el valor de precisión informado [6], cuya fórmula se muestra en la ecuación 2.

$$95\% \text{ CL} = 1.96 \text{ RMSE}_z \quad (2)$$



**Figura 4**

**Resultados de Aumentos del Nivel del Mar en NOAA 2013 para los Años 2050 y 2100**

Los resultados de la Tabla 2 muestran que los datos más recientes de NOAA 2013, utilizando el PRVD02, tienen mejor precisión vertical con un RMSEz de 0.40m con nivel de confianza de 95% de 0.79m. Los datos NED fueron los de menos precisión con un valor de 6.79m de 95% CL.

**Tabla 2**  
**Resultados Precisión Vertical**

	NED 2007	CRIM 1999	NOAA 2007	NOAA 2013
<b>RMSEz</b>	3.46677	1.14315	1.02936	0.40561
<b>95% CL</b>	6.79488	2.24057	2.01755	0.79499

Estos resultados indican que los datos de NOAA 2013 son los más indicados para llevar a cabo el análisis de vulnerabilidad.

### MAPA DE VULNERABILIDAD

Según el Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico (PRCCC) se recomienda que para estudios de vulnerabilidad se considere un SLR de 0.5m para el año 2050 y de 1m para el año 2100 en Puerto Rico. Estos valores se acogieron como parámetros para evaluar las áreas de posible impacto. Utilizando álgebra de mapas se delimitó el DEM de NOAA 2013 entre menor de medio metro y un metro de elevación. En la Figura 4 se puede ver las diferentes extensiones de elevación de 0.5m y 1m para el DEM escogido.

### INCERTIDUMBRE EN LOS DATOS

Los DEM siempre van a tener un cierto nivel de incertidumbre inherente al método en que se tomaron los datos, su resolución espacial y como

fueron manipulados. Para considerar esta incertidumbre se toma el resultado del nivel de confianza del DEM escogido en relación a la extensión del SLR, tal como se ha realizado en otros estudios [1], y se le añade al análisis. Utilizando nuevamente álgebra de mapas se añade este nivel de incertidumbre de acuerdo al valor de 95% CL de NOAA 2013, que partiendo de 1m de elevación totalizaría 1.79499 m. Como se puede ver en la Figura 5 el color azul claro muestra hasta donde podría llegar la elevación de 1m con su incertidumbre en el área de estudio.

Para conocer la posible área total afectada de los municipios, impactados por el SLR con 95% CL, se utilizó nuevamente álgebra de mapas para calcular el área afectada. Se puede ver en la Tabla 3 como puede haber municipios que podrían disminuir su extensión territorial significativamente como Loíza, Cataño, Carolina, San Juan y Toa Baja.

**Tabla 3**  
**Áreas Impactadas por Municipio incluyendo Nivel de Confianza**

Municipio	Area Total (m2)	Area Afectada (m2)	% Impactado
Bayamón	115,325,918.57	366,968.12	0.3%
Canóvanas	85,481,006.25	2,540,284.94	3.0%
Carolina	123,595,116.59	16,313,661.20	13.2%
Cataño	13,233,508.65	5,034,402.47	38.0%
Dorado	60,542,384.37	2,793,054.84	4.6%
Guaynabo	71,539,772.17	831,534.18	1.2%
Loíza	52,860,863.01	35,633,597.79	67.4%
Río Grande	157,503,854.01	3,379,281.15	2.1%
San Juan	127,973,688.26	10,490,758.40	8.2%
Toa Baja	60,868,197.23	8,042,588.47	13.2%

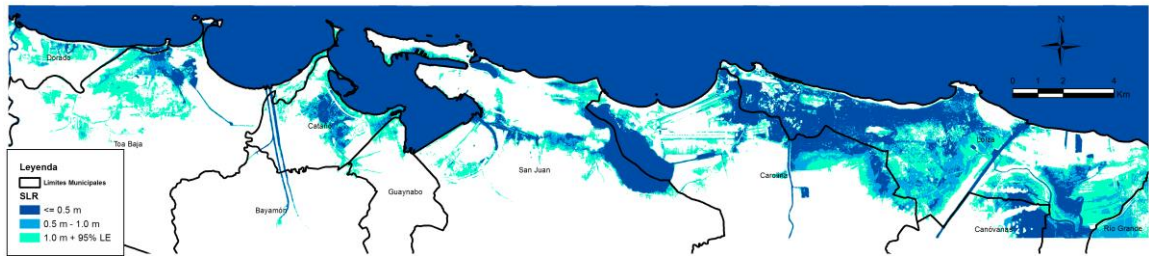


Figura 5

Resultados de Aumentos del Nivel del Mar en NOAA 2013 incluyendo el Área de Incertidumbre para los Años 2050 y 2100.

## ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA Y DOTACIONES

Para llevar a cabo el análisis se consideró la localización geográfica de los elementos. Otras consideraciones de impacto del SLR como lo es la erosión por el movimiento de las olas o algún otro fenómeno natural no fueron considerados, aunque sabemos que estas agravan la situación presentada.

La infraestructura evaluada para calcular impacto se calculó usando su localización geográfica en comparación con el límite correspondiente. Si el elemento de interés tocaba de alguna manera o caía dentro del límite del SLR se tomaba como impactada esa facilidad. Los resultados fueron exportados y tabulados en una hoja de cálculo donde se pivotaba en base a largos o áreas dependiendo del elemento. Existen tres tipos de elementos a evaluar; puntos, líneas y polígonos. Los elementos de polígonos se de las lineales como carreteras y tuberías, en donde se consideraron por área de impacto, como la huella estructuras. Lo mismo se hizo con elementos utilizó su línea de centro. Para los elementos puntuales como las dotaciones se incluyeron los elementos que tocaban o entraban en el polígono de SLR evaluado.

En la Figura 6 se muestra una ampliación del área del Caño Martín Peña con los diferentes niveles de SLR y la infraestructura identificada. En esta hay varias comunidades como Barrio Obrero, Las Casas, Las Monjas, Cantera e Israel que podrían afectarse. Actualmente se planifica dragar y canalizar este caño y habría que ver hasta qué punto

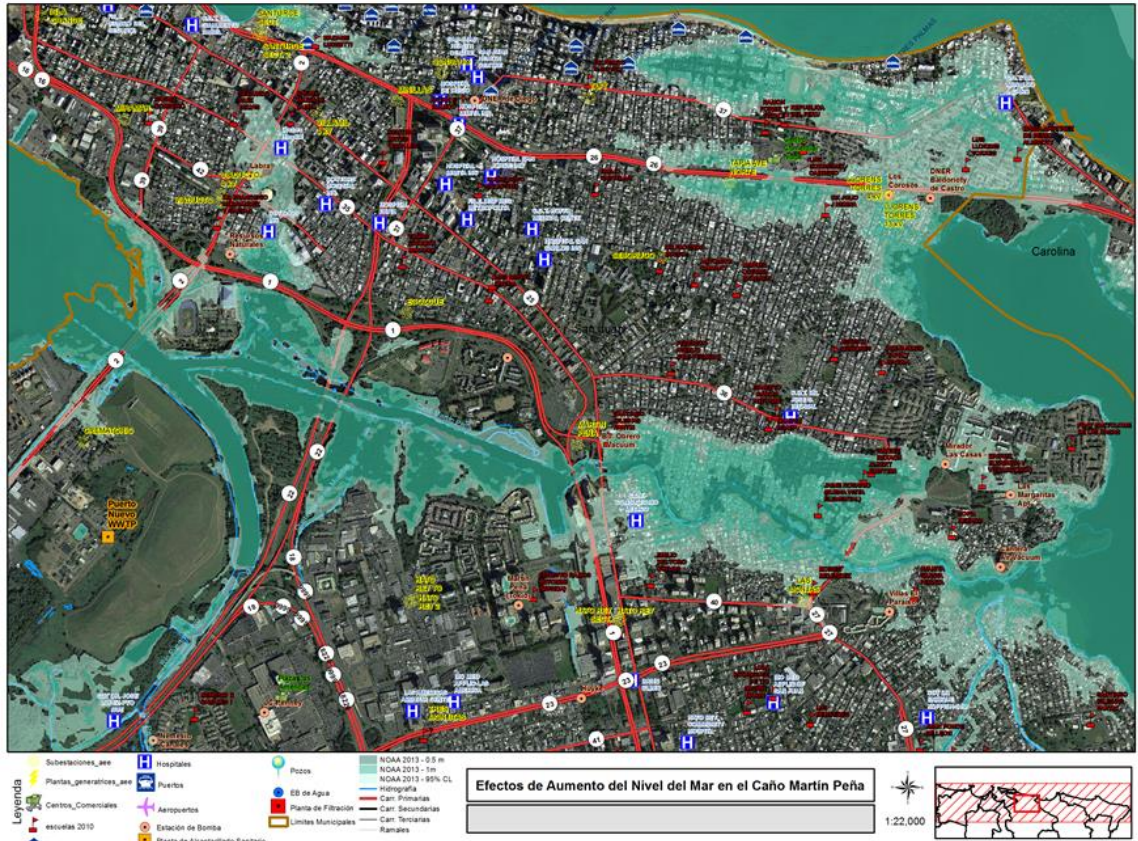
consideran el SLR en su diseño. Entre la infraestructura y dotaciones que podrían afectarse están 8 escuelas, 3 estaciones de bombas, una subestación eléctrica, un centro de diagnóstico y tratamiento, un colegio universitario, troncales de alcantarillado y tramos de las avenidas Luis Muñoz Rivera, Ponce de León, Rexach y Barbosa. También se puede ver posibles impactos más al norte en el Residencial Luis Llorens Torres, Las Marías y Ocean Park.

La Tabla 4 muestra las áreas de estructuras impactadas en el área de estudio donde la razón de cambio entre 95% CL y 1m es mayor (1.75:1) que entre 1m y 0.5m (1.2:1). En adición los porcentos afectados y las cantidades son altos considerando que hay estructuras tanto residenciales, comerciales e industriales incluidas.

La Tabla 5 muestra las dotaciones que pueden verse afectadas por el SLR evaluado. Los hoteles son las dotaciones en mayor riesgo ya que se encuentran gran parte en la costa, especialmente en el área de Condado en San Juan e Isla Verde en Carolina. Entre las escuelas hay 18, una cantidad considerable al incluir la incertidumbre.

**Tabla 4**  
Áreas de Estructuras Impactadas (m<sup>2</sup>) NOAA 2013 en Área de Estudio

SLR	Área Estructuras (m <sup>2</sup> )	Total Estructuras (m <sup>2</sup> )	% Afectado
Elev 0.5m	4,200,656.71	35,881,857.24	11.7%
Elev 1m	5,061,889.17	35,881,857.24	14.1%
Elev 95% CL	7,336,426.12	35,881,857.24	20.4%



**Figura 6**  
**Resultados de Aumentos del Nivel del Mar en Caño Martín Peña**

Entre los hospitales el que se podría afectar casi directamente es el Hospital Presbiteriano en Condado, el resto se afecta al incluir la incertidumbre. El aeropuerto Luis Muñoz Marín y los muelles 1 al 10 en el Viejo San Juan se pueden afectar al subir 1m de elevación. En el área de incertidumbre quedarían el aeropuerto de Isla Grande, el muelle panamericano, muelles 15 y 16 y el Puerto de San Juan.

La Tabla 6 muestra la distancia de carretera impactada por los diferentes SLR, donde el aumento total entre ellas aumenta a razón de 2.4:1 según reflejan sus porcentajes. Los datos contienen clasificaciones entre carreteras expresos, primarias, secundarias y terciarias donde se puede notar que las carreteras secundarias serán las más afectadas, seguidas por las terciarias, expresos y primarias respectivamente.

La Tabla 7 muestra los largos de tubería de agua que podrían quedar impactadas. Hay una

diferencia de 1% afectado solamente entre 1m y 0.5m mientras que la razón de cambio entre 95% CL y 1m es de 3.2:1, un cambio considerable.

La Tabla 8 muestra los largos de tubería de alcantarillado donde la razón de cambio prácticamente se triplica entre los diferentes SLR (3.1:1 y 2.9:1) con una cantidad entre 21km y 195km que se podrían afectar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hay múltiples factores, no necesariamente relacionadas al cambio climático, que contribuyen al grado de vulnerabilidad de las tierras costeras por los efectos del SLR, incluyendo ajustes geológicos, la dinámica de las mareas y de las olas que causan erosión, la subsidencia o elevación de las placas tectónicas, inundaciones por marejadas ciclónicas y las actividades humanas [1]. Las mismas pueden influenciar como se va a comportar el SLR tanto como el cambio climático, y no se consideran parte

**Tabla 5**  
**Dotaciones Afectadas por Aumento en Nivel del Mar**

<b>Dotación</b>	<b>SLR 0.5m</b>	<b>Municipio o Sector</b>	<b>SLR 1m</b>	<b>Municipio o Sector</b>	<b>95% CL</b>	<b>Municipio o Sector</b>
<b>Hospitales</b>			HOSPITAL PRESBITERIANO	Condado	CDT OJOS INC	SAN JUAN
					C.S.F. UNIDAD II	CATAÑO
					C.D.T. CONSULTORIO MEDICO	SAN JUAN
					C.D.T. DR. ARNALDO J. GARCIA	Santurce
					Doctors Hospital	Santurce
<b>Hoteles</b>	CONDADO LAGOON	Condado	CARIBE HILTON	Puerta de Tierra	PORTAL	Condado
	TANAMA PRINCESS	Condado	CANARIO BY THE LAGOON	Condado	HOSTERIA DEL MAR	Ocean Park
			CONDADO PLAZA	Condado	EMPRESS OCEANFRONT	Isla Verde
			BEACH BUOY INN	Ocean Park	MARIOS	Isla Verde
			Sheraton OSJ	Viejo San Juan		
<b>Escuelas</b>	HAYDEE REXACH	SAN JUAN	JAIME ROSARIO	SAN JUAN	LUIS LLORENS TORRES	SAN JUAN
	ALBERT EINSTEIN	SAN JUAN	SANTIAGO IGLESIAS PANTIN	SAN JUAN	MANUEL ELZABURU Y VIZCARRONDO	SAN JUAN
					MOISES MELENDEZ	SAN JUAN
					EMILIANO FIGUEROA TORRES	LOIZA
					MADAME LUCHETTI	SAN JUAN
					DR JULIO J HENNA	SAN JUAN
					PARCELAS VIEQUES	LOIZA
					RAFAEL HERNANDEZ	SAN JUAN
					MARIA MARTINEZ DE PEREZ ALMIROTY	SAN JUAN
					ROSENDO MATIENZO CINTRON	CATAÑO
					ONOFRE CARBALLEIRA	CATAÑO
					PUENTE BLANCO	CATAÑO
					HORACE MANN	CATAÑO
				FRANCISCO OLLER	CATAÑO	
<b>Centros Comerciales</b>					NORTE	CAROLINA
<b>Aeropuertos</b>			Luis Muñoz Marín	Carolina	Isla Grande	SAN JUAN
<b>Puertos</b>			Muelles 1-10	Viejo San Juan	Muelle Panamericano	Isla Grande
					Muelle 15 y 16	Santurce
					Puerto de San Juan	Puerto Nuevo

**Tabla 6**  
**Distancia de Carreteras Impactadas en Metros**

SLR	Expreso	Primaria	Secundaria	Terciaria	Subtotal	Gran Total	% Total
Elev 0.5 m	6,657.57	3,142.03	46,791.99	7,242.99	<b>63,834.59</b>	<b>2,178,225.54</b>	2.9%
Elev 1m	9,181.65	6,410.53	123,407.98	11,442.18	<b>150,442.34</b>	<b>2,178,225.54</b>	6.9%
Elev 95% CL	20,100.72	17,759.56	305,330.28	27,002.44	<b>370,193.01</b>	<b>2,178,225.54</b>	17.0%

**Tabla 7**  
**Largo de Tuberías de Agua Impactadas NOAA 2013**

SLR	Largo Tuberías (km)	Largo Total (km)	% Afectado
Elev 0.5m	361.87	1,864.54	19.4%
Elev 1m	379.59	1,864.54	20.4%
Elev 95% CL	1,222.55	1,864.54	65.6%

**Tabla 8**  
**Largo de Tuberías de Alcantarillado Impactadas NOAA 2013**

SLR	Largo Tuberías (km)	Largo Total (km)	% Afectado
Elev 0.5m	21.10	1,557.94	1.4%
Elev 1m	68.14	1,557.94	4.4%
Elev 95% CL	195.86	1,557.94	12.6%

de este análisis. Sin embargo, en cada caso, la topografía representada digitalmente por DEMs en estas áreas costeras, es muy importante para tratar este asunto. Como se ha ilustrado, la calidad y las características de los datos de elevación utilizados para tales evaluaciones afectan en gran medida la fiabilidad de los resultados. El utilizar datos con granulaciones muy grandes, como los NED 2007, pueden dar resultados desmesurados que pueden afectar cualquier planificación futura. También sucede con datos que fueron obtenidos para propósitos diferentes, como los del CRIM, que su finalidad final era ortorectificar fotos aéreas de gran calidad para colección de impuestos. Por otro lado tanto los datos de NOAA 2007 como NOAA 2013 basan sus elevaciones en una recolección de diferentes fuentes (LIDAR, Estudios batimétricos, CRIM, NOAA, USGS) que lograron unir para diferentes propósitos [4]. Estos últimos, aunque de mayor precisión en comparación con los primeros, todavía necesitan ser mejorados por información

más precisa. Aun así los datos de menor incertidumbre (NOAA 2013) utilizados pueden dar una idea lo suficientemente clara y razonable para saber de antemano donde pueden ocurrir problemas con la infraestructura y dotaciones.

## CONCLUSIONES

Los diferentes DEM en el área estudiada, y posiblemente en todo Puerto Rico, aunque usados como herramienta para visualizar los efectos de SLR de una forma aproximada, todavía carecen de la suficiente precisión, al menos la incertidumbre estadística presentada así lo demuestra. Aún con esa limitación actual el uso de los DEMs y los modelos de tendencias de cambio en el SLR son herramientas útiles para la planificación y respuesta ante los posibles cambios. El querer conocer el impacto de medio metro de elevación de las costas requiere que los datos que se utilizan sean tan precisos como la diferencia en elevación que se quiere evaluar. Precisiones de 25 cm de RMSEz, como valor máximo, deben mostrar mejores resultados. En esto los datos basados en tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging) pueden ser de bastante utilidad para proyectos de gran escala como lo sería toda la costa del archipiélago de Puerto Rico.

La utilización del nuevo datum vertical PRVD02 es muy importante porque provee la precisión necesaria para llevar a cabo esto. El USGS se encuentra trabajando en un programa a nivel nacional, incluyendo sus territorios, para incorporar datos de elevación basados en tecnología LIDAR con una granulación (pixel) de 1 metro y un RMSEz de 10cm. Se espera que comiencen durante el año fiscal 2015-2016 en Puerto Rico. También el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (USACE



en inglés) realizó unos trabajos en LIDAR en el 2013 con una precisión entre 5-20 cm, dependiendo de su cubierta vegetal, con millones de puntos incluidos en formato LAZ. El área que cubre es de la cuenca del Río Puerto Nuevo y no se consideró por su cobertura espacial.

De acuerdo a los resultados mostrados hay una gran cantidad de infraestructura que se podría afectar y debe considerarse tanto en los esfuerzos de protección, rediseño o abandono de las mismas. Las dotaciones claves como puertos y aeropuertos deben tener gran prioridad, ya que son más difíciles de relocalizar en caso de ser necesario. El aeropuerto Luis Muñoz Marín tiene la limitación de no tener terrenos disponibles lo suficientemente amplios en el área metropolitana para reubicarse. El gobierno de Puerto Rico ha comenzado a tomar en consideración lo que está sucediendo con el cambio climático y debe mantenerse atento a lo que pasa tanto en las costas como en todo lo relacionado al manejo del agua a nivel nacional. Las futuras generaciones deben tener derecho a disfrutar el mayor tiempo posible de los recursos naturales y no naturales que se les provea, y por eso hay que tener la mejor información posible para tomar mejores decisiones.

## REFERENCIAS

- [1] D. B. Gesch, "Analysis of LIDAR elevation data for improved identification and delineation of lands vulnerable to sea-level rise," in *Journal of Coastal Research*, SI(53), 2009, pp. 49–58.
- [2] NOAA. (2015, May). *Tides and Currents* [Online]. Disponible: [http://www.tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends\\_station.shtml?stnid=9755371](http://www.tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_station.shtml?stnid=9755371).
- [3] C. C. Hay et al. (2015, January). "Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise," in *Nature Publishing Group* [Online]. Disponible: <http://www.nature.com/nature/journal/v517/n7535/full/nature14093.html>.
- [4] NOAA Digital Coast. (2015, May) [Online]. Disponible: <http://coast.noaa.gov/slr/>.
- [5] L. A. Taylor, et al., "Digital Elevation Models of Puerto Rico: Procedures, Data Sources and Analysis", NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-13, National Geophysical Data Center, Boulder, CO, 2008.
- [6] ASPRS, "Estándares de exactitud posicional para datos geoespaciales," Edición 1, Versión 1.0, Marzo 2015.
- [7] L. Vélez. (2009, June). *PRVD 2002*, Revista TP [Online]. Disponible: [http://www.revistatp.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=60:prvd-2002&catid=40:adelantos-tecnologicos&Itemid=62](http://www.revistatp.com/index.php?option=com_content&view=article&id=60:prvd-2002&catid=40:adelantos-tecnologicos&Itemid=62).