

**Escenarios de aumento del nivel del mar y la costa de Mar del Plata.  
Evaluación de impactos socioeconómicos y medidas de mitigación**

Juan Pablo Celemín y María Laura Zulaica

© 2012 Lincoln Institute of Land Policy

**Lincoln Institute of Land Policy  
Documento de trabajo**

Las determinaciones y conclusiones de este documento de trabajo reflejan la opinión de los autores y no han sido sometidas a una revisión detallada por el personal del Lincoln Institute of Land Policy.

Todas las preguntas y solicitudes de permiso deben ser dirigidas directamente al  
Instituto Lincoln.

Para reimprimir este documento: [help@lincolninst.edu](mailto:help@lincolninst.edu)

**Lincoln Institute Product Code: WP14JC2SP**

## Resumen

El trabajo emplea modelos de simulación para medir los efectos del aumento en el nivel del mar (ANM) sobre la costa de Mar del Plata, Argentina, teniendo en consideración distintos escenarios. El análisis sigue las conclusiones y recomendaciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, como también de otros estudios relevantes. Combinamos la información generada por modelos de simulación de ANM con datos georeferenciados del censo para caracterizar el contexto socioeconómico de las zonas donde se producirá el impacto del ANM e identificar las medidas apropiadas de protección para los distintos escenarios de aumento en el nivel del mar. Específicamente, intentamos responder a las siguientes preguntas: ¿Dónde se producirá el daño en la costa? ¿Hasta qué punto variarán espacialmente los efectos del ANM? Y, ¿cuál es contexto socioeconómico actual de las áreas de la ciudad que quedarán más expuestas al ANM? El artículo concluye con recomendaciones de medidas de mitigación.

Palabras clave: Aumento en el nivel del mar, daño en la costa, retroceso de la costa, medidas de mitigación, planificación costera, Mar del Plata, Argentina.

## **Sobre los autores**

**Juan Pablo Celemín** tiene un PhD en Geografía de la Universidad Nacional del Sur, Argentina y una maestría en Conservación y Gestión del Medio Natural de la Universidad Nacional de Andalucía, España, además de una licenciatura en Geografía de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. En la actualidad es investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET-Argentina). También es profesor en el programa de maestría sobre el Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Sus investigaciones se concentran en el uso de Sistemas de Información Geográfica para realizar estudios sociales y medioambientales a escala local y regional.

Contacto: [jpcelemin@conicet.gov.ar](mailto:jpcelemin@conicet.gov.ar)

**María Laura Zulaica** tiene un PhD en Geografía de la Universidad Nacional del Sur, Argentina, una maestría en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de San Luis, Argentina y una licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Es investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET-Argentina) y profesora de la Universidad Nacional de Mar del Plata, donde enseña cursos de grado y posgrado. Sus investigaciones se concentran en el estudio de la interfaz periurbana, la evaluación de impacto ambiental y el medio ambiente urbano.

Contacto: [laurazulaica@conicet.gov.ar](mailto:laurazulaica@conicet.gov.ar)

## **Reconocimientos**

Quisiéramos reconocer el respaldo económico del Lincoln Institute of Land Policy para este proyecto de investigación. También quisiéramos agradecer a Anna Sant'Anna por sus comentarios constructivos durante el Foro Urbano Mundial 6. Servirán para mejorar y ampliar nuestras investigaciones futuras en la materia.

## Índice

Introducción .....	1
Metodología .....	4
Impacto del aumento en el nivel del mar en Mar del Plata.....	8
Aumento en el nivel del mar .....	8
Daños causados por oleadas de tormenta.....	8
Salinización del acuífero.....	9
Estructura socioeconómica de Mar del Plata .....	9
Erosión de la costa .....	10
Consideraciones finales .....	12
Referencias.....	14
Apéndice .....	16

## Figuras

Figura 1. Ciudades de América Latina y el Caribe que corren riesgo debido al aumento del nivel del mar .....	3
Figura 2. DEM preliminar de Mar del Plata, 3D .....	5
Figura 3. DEM del área de estudio, 2D .....	5
Figura 4. Delimitación del área de estudio .....	6
Figura 5. Detalles de las áreas expuestas a ANM (recuadro rojo de la imagen anterior).....	7
Figura 6. Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas en Mar del Plata .....	10
Figura 7. Imagen de rompeolas en la costa norte de Mar del Plata .....	11
Figura 8. Ejemplo de actualización y validación de modelos.....	16

## Tablas

Tabla 1. Área de Mar del Plata afectada por el ANM .....	8
--	---

## **Escenarios de aumento futuro en el nivel del mar y la costa de Mar del Plata, Argentina: Evaluación del impacto socioeconómico y medidas de protección**

### **Introducción**

En gran parte del continente americano la costa está amenazada por el aumento en el nivel del mar (ANM), problema que atrae la atención de investigadores de todo el mundo (Feagin et al. 2005). Para poder evaluar estos riesgos en forma efectiva, las ciudades costeras están usando modelos para simular los escenarios propuestos por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, o IPCC). Se estima que 1,200 millones de personas, o aproximadamente el 23 por ciento de la población mundial, vive a menos de 100 metros de altura sobre el nivel del mar y a 100 Km. de una costa, y por lo tanto son vulnerables al aumento en el nivel del mar (Cooper et al. 2005). Un análisis global de la población y los asentamientos urbanos en Zonas Costeras de Baja Elevación (*Low Elevation Coastal Zones*, o LECZ), es decir el área contigua a la costa que se encuentra a menos de 10 metros sobre el nivel del mar, encontró que cubre el 2 por ciento del terreno del mundo pero contiene el 10 por ciento de la población mundial y el 13 por ciento de la población urbana (McCranahan et al. 2007).

El IPCC sugirió que se produciría un aumento de 0,09 a 0,88 metros en el nivel del mar para el año 2100 a menos que se reduzcan sustancialmente las emisiones de gases de invernadero (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2001). Estudios más recientes indican que el derretimiento de las capas de hielo podría ser más rápido que lo previsto y por lo tanto presentar un mayor desafío para la sociedad (Overpeck et al. 2006). Los datos de descarga de hielo actuales demuestran que el derretimiento del hielo puede provocar un aumento en el nivel del mar de 1 a 3 metros para el año 2100. Nuevos datos sobre las tasas de desglaciación en Groenlandia y Antártida sugieren un mayor impacto del derretimiento glacial, y posiblemente se tengan que revisar las estimaciones superiores de ANM para este siglo. Un documento de trabajo sobre investigaciones del Banco Mundial (Dasgupta et al. 2007) cita numerosos autores, como Ringot y Kanagaratnam (2006), Hanna et al. (2005) y Krabill et al. (2004) que llegan a la conclusión de que la contribución de la capa de hielo de Groenlandia al ANM es aproximadamente el doble de la tasa supuesta por el informe del IPCC. Otras investigaciones indican que un colapso en la capa de hielo de Antártida Occidental elevaría el nivel del mar en promedio unos 5 a 6 metros aproximadamente (Dasgupta et al. 2007, citando a Tol et al. 2006). En forma similar, Velicogna y Wahr (2006) señalan que la capa de hielo en la Antártida se está reduciendo más rápido de lo que sugiere el IPCC.

Dasgupta et al. (2007) aporta una perspectiva más amplia sobre el problema del ANM al modelar nuevos datos. Sus investigaciones sobre planificación precautoria sugieren una gama realista de 1 a 3 metros de ANM. Sus modelos fueron calculados usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) e imágenes de satélite (SRTM 90 m) para escenarios de ANM que oscilan entre 1 y 5 metros.

La distribución espacial del impacto del cambio climático no será uniforme. Se espera que algunos cambios climáticos regionales sean mucho más pronunciados que los cambios en el promedio global, y otros menos (CBO 2005). Además del ANM, se sabe que los riesgos

inducidos por el cambio climático afectarán la salud humana de varias maneras, y por lo menos se duplicarán para el año 2030 (Patz et al. 2005).

Si bien no existen modelos capaces de capturar la gama completa del impacto del ANM, pueden proporcionar los primeros pasos básicos para mitigar dichos impactos. Por ejemplo, el riesgo de inundación se puede mitigar a bajo costo con planes de desarrollo inmobiliario. Las iniciativas usan nuevos mapas de riesgo de inundaciones y modificaciones al código de edificación para tener en cuenta el cambio climático. El costo futuro de reducir el impacto del cambio climático también se puede moderar tomando medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero, y esto tiene que seguir siendo una parte principal del enfoque global. La reducción de gases de invernadero, sin embargo, simplemente retardará los efectos del cambio climático en el próximo siglo, pero no los prevendrá ni revertirá. Pero permitirá ganar tiempo para poder implementar las adaptaciones necesarias para proteger a la sociedad de los efectos del cambio climático (Herweijer et al. 2008).

Las compañías de seguro pueden jugar un papel importante, junto con los dirigentes políticos, al generar información sobre los riesgos, particularmente en ciudades costeras de rápido crecimiento. Las ciudades que realizan esfuerzos de gestión de la costa deberían tener en cuenta estrategias no estructurales, tales como sustentación de playas, construcción y estabilización de dunas, como también iniciativas estructurales (Herweijer et al. 2008). Sin embargo, todavía hay una gran cantidad de información confusa. Al hacer distintas interpretaciones de la misma base de conocimientos, hay “optimistas” que opinan que la adaptación humana reducirá la magnitud del impacto a un nivel tal que el ANM se convertirá en un problema trivial. Este argumento parece una versión modificada de la idea de que la contaminación no es un problema importante porque en algún momento en el futuro la humanidad tendrá los recursos para eliminarla. Por el otro lado, los “pesimistas” opinan que el ANM y el cambio climático en general son una amenaza crítica en el siglo XXI (Nicholls y Toll 2006).

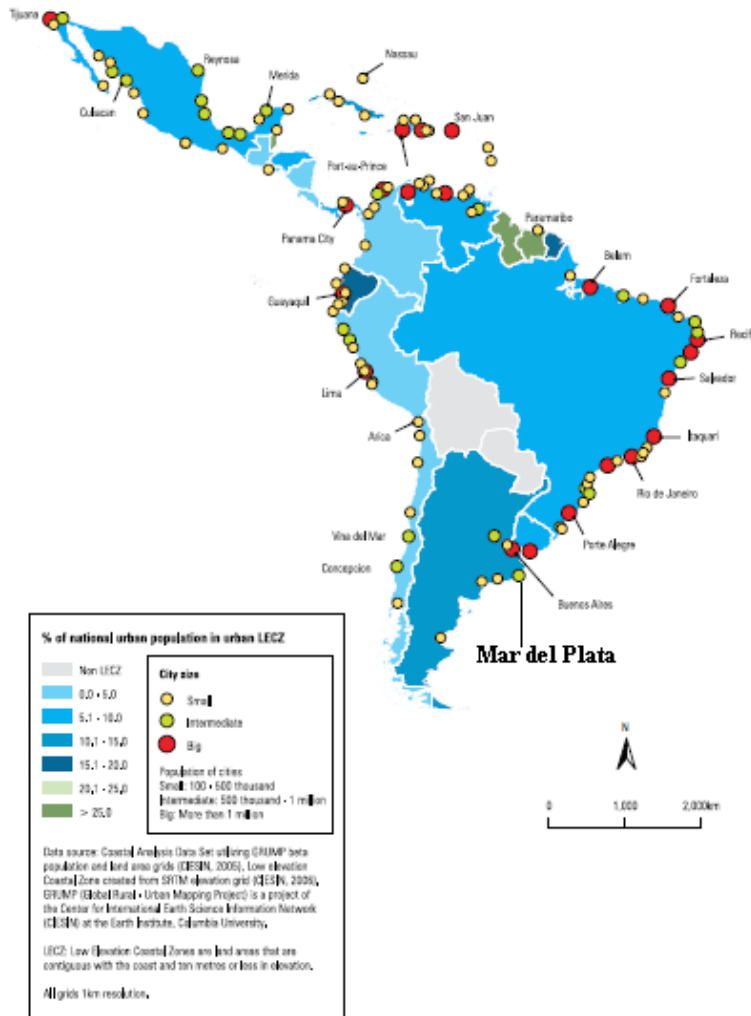
Al tratar de atacar el problema del cambio climático, los investigadores y dirigentes políticos tienen que lidiar con varias fuentes de incertidumbre. Todavía hay barreras que superar antes de poder realizar un análisis integral de impacto y respuesta: el conocimiento incompleto de los procesos relevantes afectados por el ANM y sus interacciones; datos insuficientes sobre las condiciones existentes; dificultad para elaborar escenarios locales y regionales de cambios futuros; y una falta de metodologías analíticas apropiadas para evaluar algunos de los impactos (Nicholls y Nimura 1998). Si bien la consecuencia más traumática del ANM es la inundación permanente, hay otros procesos visibles que se deben considerar, como la erosión de la costa, las inundaciones episódicas debido a oleadas de tormentas y la salinización de acuíferos, los cuales, en algunos casos, requieren una atención más urgente.

La erosión causada por el cambio climático afectará dos de las funciones centrales de las playas: el turismo y la defensa costera. El riesgo de que el ANM afecte negativamente la industria turística es alto en el este y el sur del Mar Caribe y a lo largo de la costa este de Brasil, pero también en algunas zonas de Argentina, Chile, Ecuador, México y Perú (CEPAL 2010).

La incertidumbre y complejidad asociadas con el cambio climático tienden a producir información contradictoria, y la Argentina no es excepción. Vafeidis et al. (2011) señala que la

superficie del suelo en áreas costeras bajas abarca 3.463 kilómetros cuadrados y albergaba a 3,8 millones de habitantes en el año 2000; se proyecta un aumento de dicha población a 5,1 millones para el 2030 y a 5,8 millones para el 2060. La misma investigación calcula que la cantidad de personas expuestas al ANM en la Argentina es de 725.000 en el 2000, con una proyección de 763.000 en 2030 (escenario de 10 cm de ANM) y 804.000 para el 2060 (escenario de 21 cm de ANM). Este estudio usa distintos tipos de imágenes de satélite para establecer distintas proyecciones de ANM. En forma similar, el Observatorio Urbano Global de ONU-Habitat identifica a Mar del Plata como una de las ciudades de la costa de Argentina, entre otras, que corre riesgo debido al ANM (figura 1). En contraste, Dasgupta et al. (2007) sugieren que el suelo, la población y el Producto Interno Bruto (PIB) de la Argentina no sufrirán un impacto significativo debido al ANM.

**Figura 1. Ciudades de América Latina y el Caribe que corren riesgo debido al aumento del nivel del mar**



Fuente: Modificado del Observatorio Urbano Global de ONU-Habitat, 2008

Una investigación europea señala que en las regiones costeras bajas y los estuarios de la Argentina y Uruguay, un aumento en el nivel del mar podría reducir la diversidad biológica y la superficie de la costa, dañando infraestructura y causando intrusión de agua salada en los acuíferos, estuarios y humedales (Europe Aid 2009). El mismo estudio indica que si el ANM llegase a bloquear el flujo de los ríos en las llanuras que dan al océano, el riesgo de inundación en estas cuencas podría aumentar.

Mar del Plata, con 616.142 habitantes, es la séptima ciudad más grande de la República Argentina, y cabecera de la Municipalidad de General Pueyrredón. La ciudad está ubicada a 400 Km al sur de Buenos Aires, sobre el Océano Atlántico, cumpliendo un papel importante en la industria turística argentina. Mar del Plata recibe a millones de turistas en la temporada de verano, y también cuenta con el puerto de pesca más activo del país. El turismo y la recreación siguen creciendo a un gran ritmo, alentando el desarrollo de asentamientos humanos a lo largo de la costa. Como tal Mar del Plata confronta varios problemas asociados con el ANM, y se han realizado algunas investigaciones sobre la erosión de su costa. Álvarez y Ferrante (2000) cuantificaron la erosión de la costa en Mar del Plata entre 1970 y 1998 y concluyeron que la costa retrocedió significativamente en dicho período. Se encontraron resultados similares en otras ciudades más pequeñas de la provincia de Buenos Aires, como Quequén y Necochea; no obstante, a nuestro entender, no se han realizado investigaciones a la fecha para simular los escenarios descritos por el IPCC o por Dasgupta et al. (2007) para Mar del Plata.

Este estudio propone desarrollar modelos que consideren distintos aumentos en el nivel del mar en la costa de Mar del Plata, siguiendo los escenarios sugeridos por el IPCC: Un escenario de aumento bajo (0,09 m para el 2100); un escenario de aumento moderado (0,48 m para el 2100); y un escenario de aumento alto (0,88 m para el 2100). También nos basamos en otras hipótesis que anticipan un aumento más drástico de 1 m, 2 m y 3 m para el año 2100, siguiendo el escenario del documento de trabajo sobre investigaciones del Banco Mundial (Dasgupta et al. 2007). Si se superponen los mapas resultantes con datos socioeconómicos, se podría responder a las preguntas centrales del estudio, a saber: ¿Dónde se producirá el daño en la costa y en qué medida variarán espacialmente sus efectos? ¿Cuál es el contexto socioeconómico actual de los sectores de la ciudad vulnerables a los escenarios de aumento en el nivel del mar? ¿Qué medidas de protección se pueden implementar en el corto y largo plazo?

## Metodología

El instrumento principal para modelar el ANM es el modelo de elevación digital (*Digital Evaluation Model*, o DEM). En la actualidad hay dos modelos de terrenos digitales a escala global de acceso gratuito: la Misión Topográfica de Radar del Transbordador (*Shuttle Radar Topography Mission*, o SRTM, con una resolución de 90 m) y el Modelo de Elevación Digital Global (*Global Digital Evaluation Model*, o GDEM) del Radiómetro Avanzado Espacial de Emisión y Reflexión Térmica (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, o ASTER)<sup>1</sup> (30 m de resolución). En este estudio se usó la versión 2 (GDEM V2),

---

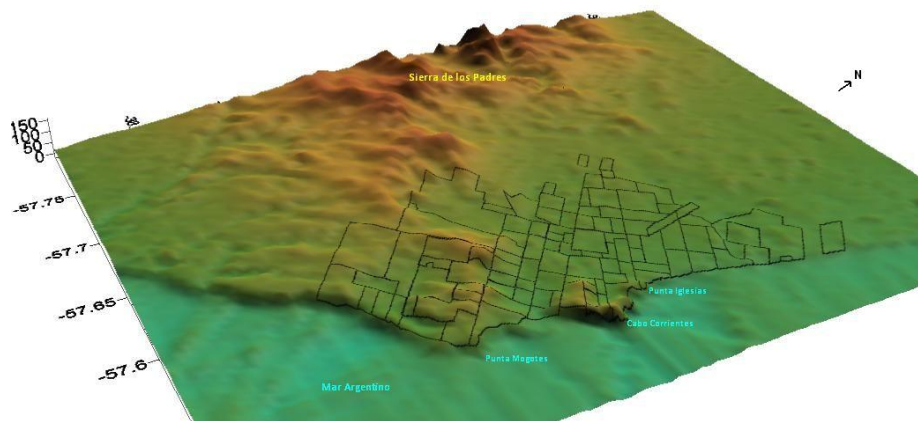
<sup>1</sup> GDEM es un producto del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Administración Nacional Aeronáutica y Espacial (NASA) de los Estados Unidos.



publicada el 17 de octubre de 2011. Se descargó de NASA Reverb ECHO, una herramienta gratuita para explorar y descargar bases de datos de ciencias terrestres.<sup>2</sup> También recurrimos a software SIG gratis para el procesamiento de imágenes (gvSIG) desarrollado en España<sup>3</sup> que permite la integración de datos climatológicos y socioeconómicos (Gornitz 1990).

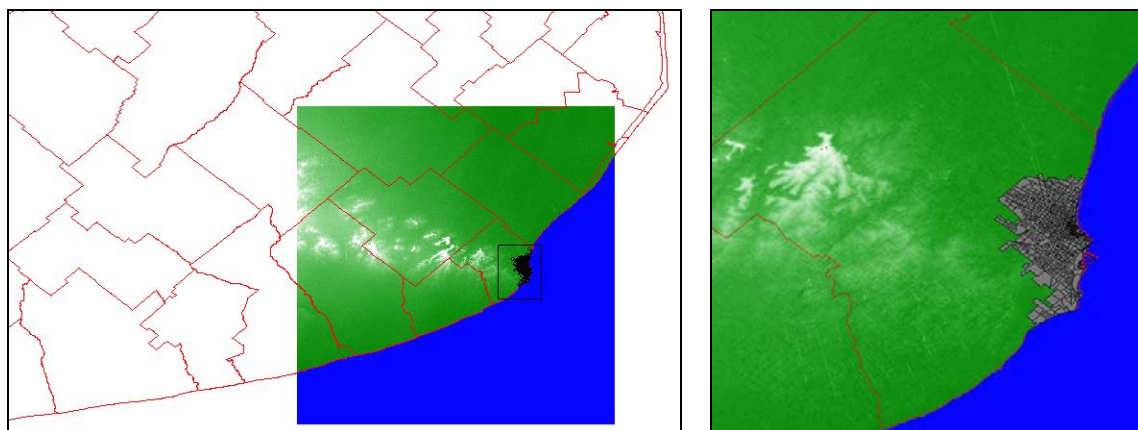
Ya se presentó un modelo DEM preliminar para Mar del Plata (Celemín, 2011) elaborado a partir imágenes de SRTM (figura 2). Dicha imagen muestra la geomorfología de la ciudad y la elevación diferencial de la costa, pero no el nivel del mar. Se superponen sobre el DEM los límites de los barrios de la ciudad.

**Figura 2. DEM preliminar de Mar del Plata, 3D**



Fuente: Celemín en Atlas Socioterritorial de Mar del Plata (Lucero 2011)

**Figura 3. DEM del área de estudio, 2D**



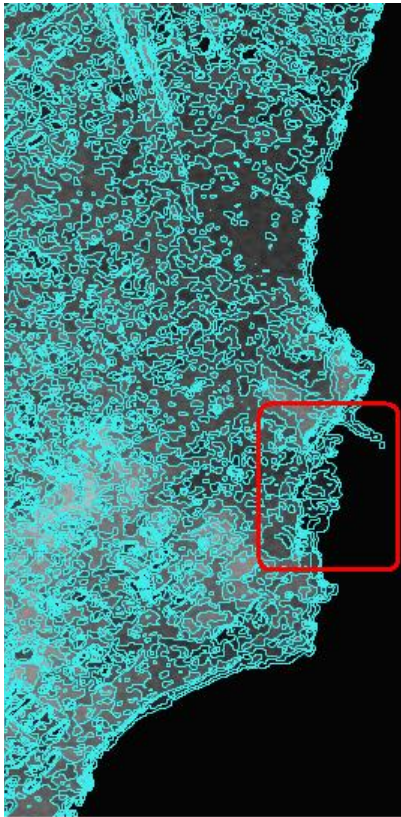
<sup>2</sup> <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>

<sup>3</sup> Nuestra intención es usar bases de datos gratuitas y software gratuito que puedan ser accesibles a cualquier persona interesada en la investigación del cambio climático, en especial a científicos de países en vías de desarrollo.

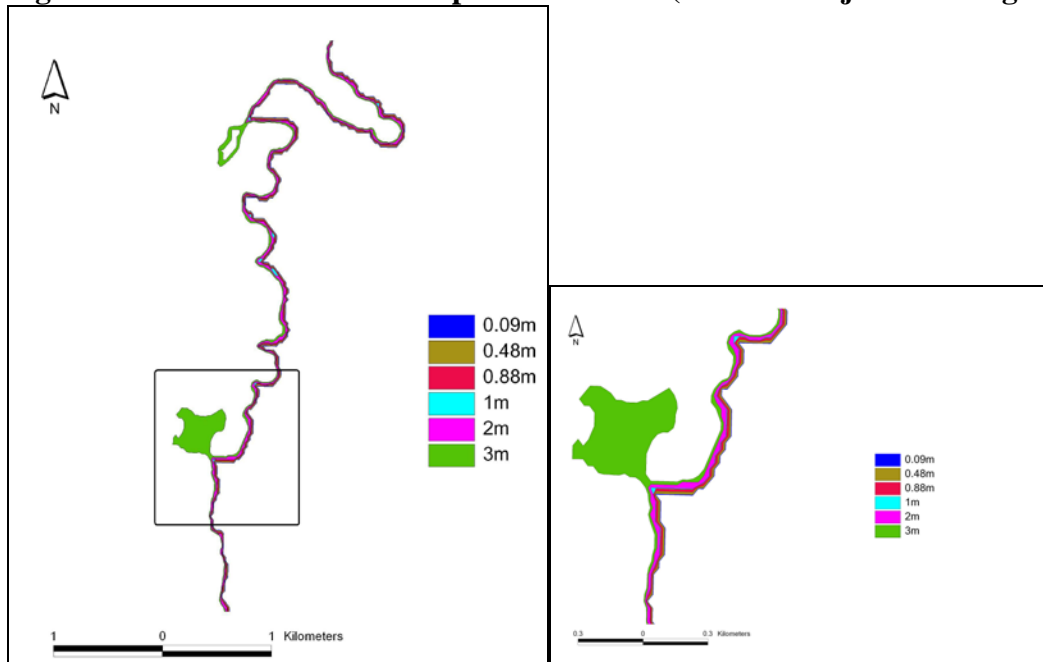
Para obtener los distintos escenarios de ANM, realizamos los siguientes pasos:

- a) Elaboración de un mosaico de imágenes de GDEM del sudeste de la provincia de Buenos Aires (figura 3).
- b) Demarcación de las líneas de contorno para el área de estudio (figura 4).
- c) Detección de áreas expuestas a un ANM de 0,09 m, 0,48 m, 0,88 m, 1 m, 2 m y 3 m (figura 5).

**Figura 4. Delimitación del área de estudio**



**Figura 5. Detalles de las áreas expuestas a ANM (recuadro rojo de la imagen anterior)**



Para identificar la estructura socioeconómica de la ciudad, aplicamos un índice llamado de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) construido con datos del censo. Este índice es proporcionado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos<sup>4</sup> y cubre un grupo de variables dicotómicas para identificar áreas pobres. Se considera que una persona es pobre si vive en una unidad familiar que tiene una o más de las siguientes características (Hick 1998, 105).<sup>5</sup>

- Más de tres personas por habitación (hacinamiento).
- Vive en una vivienda construida con materiales deficientes o en una vivienda alquilada (vivienda).
- No tiene inodoro interior con descarga a red (servicios sanitarios).
- Tiene un hijo entre 6 y 12 años de edad que no asiste a la escuela (asistencia escolar).
- Hay cuatro o más personas que trabajan y un jefe de familia con dos años o menos de educación primaria (capacidad de subsistencia).

<sup>4</sup> Este índice fue obtenido del censo del año 2001. El último censo fue realizado en 2010, y se espera que los datos desagregados a escala de ciudad se publiquen más adelante este año. No obstante, los resultados preliminares indican que la configuración espacial ha cambiado muy poco en el último período intercensal.

<sup>5</sup> Técnicamente se considera un índice de pobreza, a pesar de tener variables relacionadas con la educación y la vivienda. Se puede obtener más información sobre este índice en Abaleron (1995) y Hicks (1998).

La combinación de esta información con el DEM ayuda a seleccionar las medidas de protección apropiadas al contexto socioeconómico en los distintos escenarios de aumento del nivel del mar.

### **Impacto del aumento en el nivel del mar en Mar del Plata**

#### **Aumento en el nivel del mar**

Usando las estimaciones del IPCC, el ANM más conservador cubre menos de una hectárea de la ciudad de Mar del Plata, mientras que el escenario más drástico afecta a casi seis hectáreas. El documento de trabajo sobre investigaciones del Banco Mundial (Dasgupta et al. 2007) toma en cuenta un ANM mayor, con un mínimo y máximo de 10.403 y casi 15.000 hectáreas, respectivamente, para Mar del Plata. La ciudad tiene un LECZ de 40.460 hectáreas (tabla 1).

**Tabla 1. Área de Mar del Plata afectada por el ANM**

<i>Aumento en el nivel del mar</i>	<i>Área afectada (hectáreas)<sup>6</sup></i>
0,09m	0,604
0,48m	3.266
0,88m	5.722
1m	6.401
2m	10.403
3m	14.970
LECZ	40.460

Estos valores no son suficientemente grandes como para tener un impacto significativo en el área interior de Mar del Plata. En otras palabras, el escenario más pesimista relacionado con el cambio climático para una ciudad costera (inundación permanente) no parece ser una preocupación importante para el área de estudio; no obstante, la mayor parte del área que puede ser afectada por inundación permanente es la arena de la playa. Si esto llegara a ocurrir, la economía de Mar del Plata se vería seriamente afectada, ya que para la ciudad balnearia el turismo es una actividad de gran importancia.

#### **Daños causados por oleadas de tormenta**

Las inundaciones episódicas se deben a oleadas de tormenta, que son mareas altas anormales producidas por una combinación de baja presión atmosférica y olas impulsadas por el viento (Gornitz 1990). Se pronostica que las oleadas de tormenta serán más frecuentes debido al cambio climático. Como la altura de las olas cerca de la costa varía en forma directa con la profundidad del agua, y la energía de la ola varía en función del cuadrado de la altura de la ola, el incremento

---

<sup>6</sup> 1 hectárea = 10.000 metros cuadrados

aumento en el nivel del mar acrecentará significativamente la fuerza de la rompiente de las olas en las aguas más profundas cerca de la costa, exacerbando aún más las pérdidas por erosión (Caldwell y Segall 2007, 538). En Mar del Plata se ha visto un aumento en la cantidad promedio de eventos de oleadas de tormentas por década.<sup>7</sup> Una explicación posible de los cambios en la frecuencia, altura y duración de oleadas positivas de tormenta en Mar del Plata podría ser el ANM medio relativo (Fiore et al. 2009).

El área de estudio también experimenta un fenómeno climatológico llamado “sudestada”, que son vientos muy fuertes que provienen del sudeste y que ocurren con más frecuencia entre julio y octubre. Las “sudestadas” provocan pleamares más altas con daño consiguiente a la costa. La marca histórica de marea alta se produjo en 1911, con 3,25 m.

### **Salinización del acuífero**

Los acuíferos de la costa son muy sensibles al aumento en el nivel del mar. Como se observó en la figura 2, la costa noreste de la ciudad es vulnerable porque la capa subterránea impermeable es demasiado profunda, y no presenta una barrera física para contener la intrusión marina. Una medida de protección apropiada sería la implementación de una barrera hidráulica<sup>8</sup> para prevenir la intrusión marina. No obstante, el conocimiento de los pronósticos de cambios climáticos y la intrusión salina en Mar del Plata es limitado; por lo tanto, es necesario tener una actitud conservadora sobre la proyección futura del nivel del mar. La entidad local a cargo del suministro de agua está considerando un escenario de 38 cm. de ANM para el año 2020 (Mérida 2002).

### **Estructura socioeconómica de Mar del Plata**

La configuración espacial del índice de Necesidades Básicas Insatisfechas muestra un gradiente descendiente de la periferia al centro de la ciudad (figura 6). Esta distribución refleja la estructura socioeconómica tradicional de ciudades latinoamericanas de tamaño medio, donde la población más necesitada reside en las afueras de la ciudad.

Desde el puerto hacia el norte, los radios costeros del censo muestran valores muy bajos para este índice. La mayor parte de esta área es muy atractiva, combinando la relativa armonía de los edificios urbanos y la costa. De todas maneras, esta parte de la costa es potencialmente la más afectada por el cambio climático, donde se produciría la mayor pérdida de playa debido a erosión, y donde el ANM podría cambiar drásticamente la estructura e identidad de Mar del Plata, causando un impacto social, económico y ambiental significativo.

---

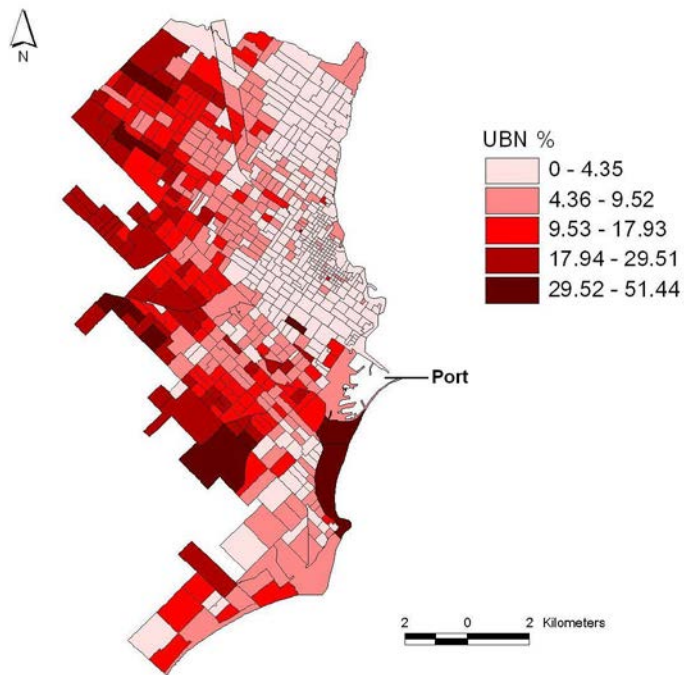
<sup>7</sup> El siguiente sitio web contiene fotografías con el daño causado por una oleada de tormenta en Mar del Plata: [http://www.erosioncoasterapba.com.ar/general\\_pueyrredon.html](http://www.erosioncoasterapba.com.ar/general_pueyrredon.html)

<sup>8</sup> Un término general que se refiere a modificaciones de un sistema de flujo de aguas subterráneas para restringir o impedir el movimiento de contaminantes u otros fluidos.

## Erosión de la costa

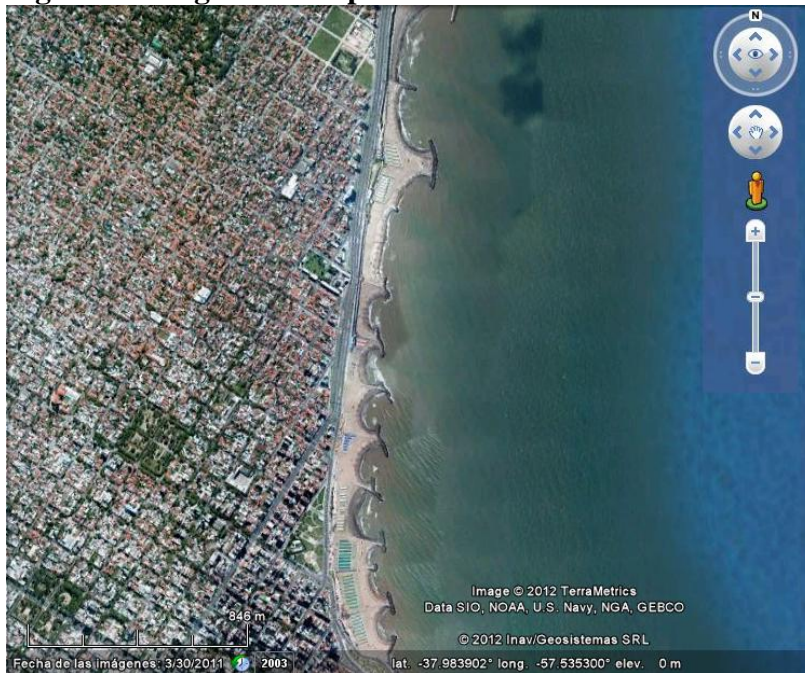
En Mar del Plata, la erosión de la costa no es un evento nuevo, sino más bien un problema que ha afectado a la ciudad por más de un siglo, y a pesar de los esfuerzos realizados para contener la erosión, no hay una solución definitiva a la vista. La construcción del puerto causó un bloqueo de la deriva litoral que todavía afecta las playas del norte. Durante años, la solución permanente y final pareció ser la construcción de rompeolas (técnica estructural). Hoy podemos observar, sin embargo, los efectos dañinos de esta solución, ya que los rompeolas aumentan la superficie de las playas capturando la deriva litoral, y por lo tanto limitando su trayectoria. En consecuencia, las defensas para obstruir la deriva litoral pudieron recuperar algunas playas pero causaron la erosión de otras (Isla et al. 2001; Isla 2006), y por lo tanto hizo necesario construir una serie sucesiva de rompeolas (figura 7).

**Figura 6. Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas en Mar del Plata**





**Figura 7. Imagen de rompeolas en la costa norte de Mar del Plata**



Fuente: Google Earth

Si bien la extracción de arena de la playa para construcción fue prohibida en 1985, la erosión costera sigue progresando a un ritmo de alrededor de medio metro por año en la costa norte de Mar del Plata.<sup>9</sup> La erosión se hizo crítica en la década de 1990, a punto tal que en 1998 se implementó un plan de reabastecimiento de playas (técnica no estructural) usando la arena atrapada en la entrada del puerto—que también limita la deriva litoral. Si bien los resultados fueron muy satisfactorios, este tipo de práctica no es permanente y requiere ser repetida, ya que no elimina las causas físicas de la erosión, sino que solamente modera su impacto.

Los problemas de erosión costera motivaron el desarrollo de un plan de ordenamiento territorial implementado por la Municipalidad de General Pueyrredón en 2005. Se espera que el problema se torne más complejo con el tiempo, ya que la tasa y alcance de la erosión costera se intensificará como consecuencia del ANM. No obstante, la tendencia de la erosión no es fácil de predecir debido a la interacción de numerosos factores, incluyendo las variables de sedimento y de clima oceanográfico (Gornitz 1990, 396). A la fecha, el efecto más visible del plan es la construcción de nuevos rompeolas, que se están implementando actualmente en áreas vulnerables.

---

<sup>9</sup> Diario el Atlántico. <http://www.diarioelatlantico.com/diario/2011/08/30/32558-aseguran-que-la-falta-de-arena-en-playas-fue-provocada-por-la-accion-del-hombre.html>

## Consideraciones finales

El efecto del aumento del nivel del mar se manifiesta en varios aspectos geomorfológicos, ecológicos y socioeconómicos. Los impactos físicos más importante de este evento son la inundación permanente, la erosión costera, un aumento de inundaciones causadas por oleadas de tormenta en la costa y salinización. Las catástrofes naturales causadas o facilitadas por el cambio climático, socavan o destruyen los logros del desarrollo urbano. Las ciudades de la costa son particularmente vulnerables a catástrofes naturales, como por ejemplo inundaciones debidas al ANM o eventos climáticos extremos (He et al. 2010).

En Mar del Plata, las inundaciones permanentes causadas por el ANM no parecen ser la amenaza más importante del cambio climático. Nuestros modelos muestran que el impacto interior será mínimo, ya que el mismo afectará principalmente a las playas de la ciudad. Mar del Plata ha tomado medidas estructurales y no estructurales en su larga lucha contra la erosión costera, con resultados mixtos. El aumento en la erosión costera exacerba la presión para proteger nuevos tramos de costa y robustecer los blindajes existentes (Caldwell y Segall 2007). La construcción de rompeolas redujo significativamente la erosión de la costa en ciertos lugares específicos, pero aumentó el problema en otros, ya que interfieren con la deriva litoral. Un programa de reposición no estructural de la playa fue una medida exitosa, si bien cara, y exige intervenciones repetidas ya que no es una solución definitiva y los efectos positivos tienden a desaparecer con el tiempo.

Durante las tormentas, el nivel del mar se eleva por encima de las normas históricas; la fuerza y energía de las olas también aumentan marcadamente, amplificando la fuerza de la erosión (Caldwell y Segall 2007). Puesto que estos fenómenos episódicos han causado daños repetidos a la infraestructura de Mar del Plata, los paseos de la costa se clausuran cuando ocurren estos eventos. Aunque este problema es conocido para la población local, no lo asocian con el ANM. Existe una ignorancia preocupante entre los residentes sobre el impacto potencial del cambio climático; por lo tanto este problema debe ser gestionado por las autoridades locales por medio de programas educativos diseñados principalmente para los niños. En última instancia, serán ellos quienes sufrirán las consecuencias más negativas del cambio climático.

Uno de los desafíos para el diseño e implementación de medidas de protección es la cantidad de actores involucrados en el proceso: el gobierno nacional, provincial y local, las empresas privadas y las comunidades. Entre estos actores hay diferencias en las preferencias por las distintas medidas (Meffert 2008). Por ejemplo, en el área de estudio las playas se encuentran bajo jurisdicción provincial, y por lo tanto la implementación de cualquier medida de mitigación requiere un acuerdo entre el gobierno local y provincial. Estas autoridades deberían diseñar un plan que defina el enfoque a adoptar para los distintos escenarios de ANM. Dicho plan debería contemplar la utilidad, duración en el tiempo y viabilidad económica de cada medida propuesta. Por ejemplo, ¿a qué tasa de ANM dejarían de ser una opción las medidas no estructurales?

El gobierno local tiene que anticipar escenarios en que el turismo se vería seriamente afectado por el ANM, y hacerse preguntas tales como: ¿Qué cantidad de superficie de playa se perdería? ¿Qué impacto tendría sobre la economía local? ¿Qué otras ventajas económicas puede promover la municipalidad? Si bien el turismo tiene una gran importancia para la ciudad, Mar del Plata tiene una base económica relativamente diversa. Las actividades industriales (sobre todo la



pesca), la educación y los servicios de salud son sectores que pueden aumentar su tasa de crecimiento. Mar del Plata tiene dos universidades nacionales (una con énfasis técnico) que están promoviendo lazos más cercanos con la comunidad productiva. Además, dada la presencia importante de una población de mayor edad, Mar del Plata se caracteriza por brindar servicios para los ancianos.

El Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas de Mar del Plata indica que las personas que viven en áreas de la costa tienen un buen nivel socioeconómico. En general, este grupo tiene los recursos necesarios para lidiar con algunos de los efectos del ANM. Por ejemplo, podrían comprar un seguro o recibir deducciones fiscales para compensar la pérdida del valor de su propiedad si el paisaje vecino es alterado por el ANM, sobre todo en el área de las playas. No obstante, el impacto potencial de la pérdida de actividad turística en la ciudad por el cambio climático dista mucho de ser un tema tratado en la actualidad.

La creciente disponibilidad de imágenes de satélite con mejor resolución espacial, y plataformas de software accesibles sin cargo, permiten desarrollar y aplicar metodologías relativamente simples para modelar el impacto de un aumento en el nivel del mar, sobre todo en lo referente a inundaciones permanentes. Los mapas de riesgo resultantes constituyen el arma fundamental para una planificación apropiada del uso del suelo en la costa. Sin investigaciones e intervenciones para asegurar un desarrollo sostenible, el crecimiento económico por sí solo puede llegar a agravar el impacto del cambio climático, sobre áreas costeras (Herweijer et al. 2008).

Una actividad necesaria para las investigaciones científicas basadas en modelos es actualizar, adaptar y validar dichos modelos (Dickey y Watts 1978). Debemos tener cuidado con algunos de los modelos globales y regionales existentes. Si bien una perspectiva regional brinda un nexo útil entre investigación y política a escala nacional y global, estos modelos regionales exigen una evaluación adicional a nivel nacional con fines de validación (ver el Apéndice). En particular, existe la necesidad de evaluar más el impacto del aumento en el nivel del mar, incluyendo una mejor integración de las ciencias naturales y sociales para poder comprender más acabadamente el papel relativo del cambio climático sobre los factores independientes del cambio climático, llevando a una evaluación más realista de la gama de estrategias de respuesta posibles (Nicholls y Nimura 1998). Al extrapolar los modelos globales a escala local, se debe realizar un análisis minucioso; si no se realiza apropiadamente, la incertidumbre asociada con el cambio climático puede aumentar.

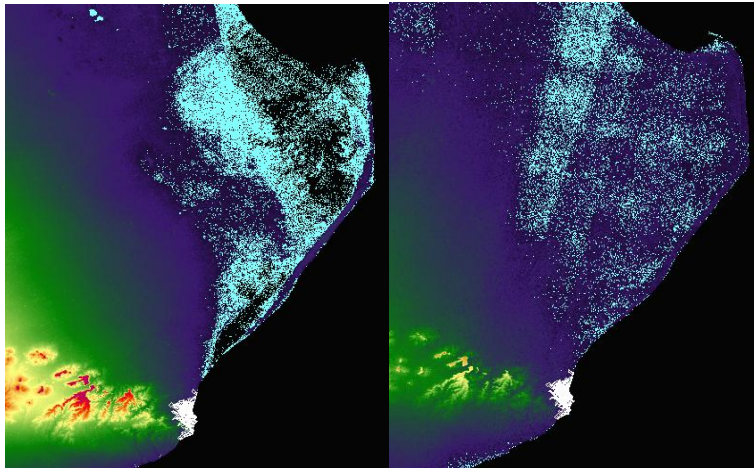
## Referencias

- Abalerón, Carlos. 1995. Marginal urban space and unsatisfied basic needs: the case of San Carlos de Bariloche, Argentina. *Environment and Urbanization* 7(1): 97–116.
- Álvarez, Jorge and Ángel Ferrante. 2000. Cuantificación, mediante fotointerpretación de la acción erosiva del mar, entre los años 1970–1998, sobre las costas del Partido de General Pueyrredon, Provincia de Buenos Aires. In *Resúmenes IV Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar*. Puerto Madryn: Centro Nacional Patagónico.
- Caldwell, Meg and Craig Holt Segall. 2007. No Day at the Beach: Sea Level Rise, Ecosystem Loss, and Public Access Along the California Coast. *Ecology Law Quarterly* 34:533–578.
- CBO (Congressional Budget Office). 2005. *Uncertainty in Analyzing Climate Change: Policy Implications*. Washington, DC: Congressional Budget Office.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 2010. *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL-Naciones Unidas.
- Cooper, Matthew J.P., Michael D. Beevers and Michael Oppenheimer. 2005. *Future sea level rise and the New Jersey coast. Assessing Potential Impacts and Opportunities*. Princeton, New Jersey: Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University.
- Dasgupta, Susmita, Benoit Laplante, Craig Meisner, David Wheeler and Yan Jianping. 2007. *The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis*. Washington, DC: World Bank Policy Research Working Paper 4136.
- Dickey, John W., and Thomas M. Watts. 1978. *Analytic Techniques in Urban and Regional Planning*. New York: McGraw-Hill.
- Europe Aid. 2009. *Climate Change in Latin America*. Belgium: Agrifor Consult.
- Feagin, Rusty A., Douglas J. Sherman and William E. Grant, W. 2005. Coastal Erosion, Global Sea-Level Rise, and the Loss of Sand Dune Plant Habitats. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(7): 359–364.
- Fiore, Mónica, Enrique D’Onofrio, Jorge L. Pousa, Enrique J. Schnack and Germán Bértola. 2009. Storm surges and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research*. 29 (14): 1643–1649.
- Gornitz, Vivien. 1990. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)* 89 (1991): 379–398.
- He, Canfei, Lei Yang, and Guicai Li. 2010. Urban Development and Climate Change in the Pearl River Delta. Working Paper. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Herweijer, Celine, Robert Nicholls, Susan Hanson, Nicola Patmore, Stéphane Hallegatte, Jan Corfee-Morlot, Jean Chateau and Robert Muir-Wood. 2008. How Do Our Coastal Cities Fare under Rising Flood Risk? *Catastrophe risk Management* 12–13.

- Hicks, Norman. 1998. *An Analysis of the Index of Unsatisfied Basic Needs (NBI) of Argentina with Suggestions for Improvement*. Washington, DC: World Bank, Latin America and the Caribbean Region, Poverty Sector Unit.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Summary of Policymakers, A report of Working Group 1 of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Climate Change 2001, the Scientific Basis*. Cambridge Cambridge: University Press.
- Isla, Federico. 1997. Seasonal behaviour of Mar Chiquita tidal inlet in relation to adjacent beaches, Argentina. *Journal of Coastal Research* 13 (4): 1221–1232.
- Isla, Federico, Germán Bértola, Marcelo Farenga and Luis Cortizo. 2001. Variaciones antropogénicas de las playas del sudeste de Buenos Aires, Argentina. *Revista Pesquisas en Geociências* 28 (1): 27–35.
- Isla, Federico. 2006. Erosión y defensa costera. In *Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires*, eds. Federico Isla and Carlos Lasta. Mar del Plata: Eudem.
- Lucero, Patricia. 2011. *Atlas Socioeconómico de la ciudad de Mar del Plata*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Meffret, Douglas. 2008. The Resilience of New Orleans: Urban and Coastal Adaptation to Disasters and Climate Change. Working Paper. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Mérida, Luis. 2002. La evolución de la intrusión salina en el acuífero marplatense ejemplo de una gestión sustentable. In *Groundwater and Human Development*, eds. Emilia Bocanegra, Daniel Martínez and Héctor Massone. London: Taylor & Francis, London.
- McGranahan, Gordon, Deborah Balk and Bridget Anderson, B. 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment & Urbanization* 19 (1): 17–37.
- Nicholls, Robert and Nobuo Mimura. 1998. Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications. *Climate Research* 11: 5–18.
- Nicholls, Robert and Richard Toll. 2006. Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Phil. Trans. R. Soc. A* 364: 1073–1095.
- Overpeck, Jonathan, Bette L. Otto-Bliesner, Gifford H. Miller, Daniel R. Muhs, Richard B. Alley and Jeffrey T. Kiehl. 2006. Paleoclimatic Evidence for future ice-sheet instability and rapid sea-level rise. *Science* 311: 1747–1750.
- Patz, Jonathan A., Diarmid Campbell-Lendrum, Tracey Holloway, and Jonathan A. Foley. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438 (17): 310–317.
- Vafeidis, Athanasios, Barbara Neumann, Juliane Zimmerman and Robert Nicholls. 2011. *MR9: Analysis of land area and population in the low-elevation coastal zone (LECZ)*. London, GB: Foresight, Government Office for Science.
- Velicogna, Isabella and John Wahr. 2006. Measurements of time-variable gravity show mass loss in Antarctica. *Science* 311: 1754–1756.

## Apéndice

**Figura 8. Ejemplo de actualización y validación de modelos**



SRTM Año 2000

GDEM Año 2011

En ambas imágenes (figura 8), el color azul claro indica áreas con una altitud de 1 a 3 m en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Las imágenes GDEM con 30 m de resolución se pusieron a disposición del público el año pasado, mientras que la SRTM de 90 m es del año 2000. Numerosos estudios usaron las imágenes SRTM para modelar el ANM después de la publicación del informe del IPCC. Como se puede ver, hay diferencias entre los dos tipos de datos, y es necesario validar los modelos previos una vez que se tenga acceso a nuevos datos.

No obstante, se puede acceder a imágenes SRTM con 30 m de resolución para los Estados Unidos, pero estas imágenes han sido intencionalmente degradadas para el resto del mundo, y la resolución espacial es de sólo 90 m. A diferencia de las imágenes ópticas que se pueden descargar de varios sitios web, las DEM no se pueden obtener fácilmente. Hay algunas restricciones de acceso debido a razones de seguridad, y sólo pueden ser distribuidas por agencias nacionales. Por ejemplo, el Centro Aeroespacial Alemán distribuye imágenes SRTM con un sensor llamado X-SRTM de muy alta resolución. Desafortunadamente, estos datos cubren la mayoría de la provincia de Buenos Aires, pero no Mar del Plata.