

ANÁLISIS DE LA TENDENCIA RELATIVA DEL NIVEL MEDIO DEL RÍO DE LA PLATA ENTRE 1905 Y 2020

María Florencia de Azkue y Mónica María Elisa Fiore
Servicio de Hidrografía Naval. Av. Montes de Oca 2124
CABA - Argentina
maria.azkue@mindef.gov.ar

Fecha de recepción: Junio 2021

Fecha aceptación: Julio 2021

RESUMEN

El calentamiento global ya ha alcanzado 1°C por encima del nivel pre-industrial, debido a emisiones de gases de origen principalmente antropogénico pasadas y futuras. Si bien, la respuesta del océano es lenta, el derretimiento de los hielos continentales y la expansión térmica por calentamiento están causando el aumento del nivel del mar global. La vulnerabilidad a las inundaciones es un problema mundial que requiere estudios locales detallados y sistemas de alerta basados en investigaciones científicas. La ribera del Río de la Plata es un área que sufre de dicha vulnerabilidad, por lo que conocer la evolución de los fenómenos que causan las inundaciones se vuelve fundamental. En este trabajo se calcula la tendencia relativa del nivel medio del Río de la Plata durante el período 1905-2020, a partir de observaciones horarias *in situ* y se obtiene un aumento de 1,55mm/año. Por otro lado, se estima que dicho valor aumenta a 1,85mm/año si se considera el período 1951-2020.

Palabras clave: nivel medio, cambio climático, Río de la Plata, inundaciones.

ABSTRACT

Global warming has already reached 1°C above the pre-industrial level, due to past and future gas emissions. Although the ocean's response is slow, melting of continental ice, and thermal expansion due to warming, are causing global sea level to rise. Vulnerability to flooding is a global problem that requires detailed local studies and alert systems based on scientific research. The coast of the Río de la Plata is an area that suffers from such vulnerability, so it is mandatory to know the evolution of the phenomena that cause floods. In this work, the relative trend of the mean Río de la Plata level within the period 1905-2020, based on hourly observations *in situ* is analyzed, and we obtain an increase of 1.50 mm per year. On the other hand, this value increases to 1.85mm/year if the period 1951-2020 is considered.

Key words: medium level, climate change, Río de la Plata, floods

RESUMO

O aquecimento global já atingiu 1°C acima do nível pré-industrial, devido às emissões de gases passadas e futuras (a principal forçagem antropogénica). Embora a resposta dos oceanos seja lenta, o derretimento do gelo continental e a expansão térmica devido ao aquecimento estão a provocar a subida do nível global do mar. A vulnerabilidade às inundações é um problema global que requer estudos locais detalhados e sistemas de alerta baseados na investigação científica. A costa do Rio da Prata é uma zona que sofre de tal vulnerabilidade, pelo que é essencial conhecer a evolução dos fenómenos que provocam inundações. Neste trabalho, a tendência relativa do nível médio do Rio de la Plata durante o período 1905-2020 é calculada a partir de observações horárias in situ e obtém-se um aumento de 1,55 mm/ano. Por outro lado, obtém-se que este valor aumenta para 1,85 mm/ano se for considerado o período 1951-2020.

Palavras chave: nível médio, mudanças climáticas, Rio de la Plata, inundações

INTRODUCCIÓN

Con más de 600 millones de personas que viven en zonas costeras de baja altitud (McGranahan et al., 2007), las inundaciones en esas áreas pueden tener efectos sociales devastadores. Se estima que, en promedio, entre 0,8 y 1,1 millones de personas al año se inundan en todo el mundo (Hinkel et al., 2014). En los últimos años, el riesgo de inundaciones costeras ha aumentado principalmente debido al crecimiento demográfico y económico (Jongman et al., 2012). Hasta ahora ha sido difícil atribuir el aumento del riesgo de inundaciones al cambio climático (Bouwer, 2011), pero los estudios indican que, la elevación del nivel del mar provocará un aumento de las inundaciones costeras en el futuro (Hallegatte et al., 2013; Hinkel et al., 2014).

Si bien la respuesta del océano es lenta, el derretimiento de los hielos continentales y la expansión térmica por calentamiento están causando el aumento del nivel del mar global. Se observa una retirada general de los glaciares en casi todo el planeta que afecta a la escorrentía y a los recursos hídricos (IPCC, 2014). El océano se calienta a un ritmo de $+0,8 \pm 0,1$ W/m² (von Schuckmann et al., 2018). La temperatura de la superficie del mar se calentó al menos en 0,6° C en los últimos 150 años (Barros, 2007). Este aumento abarcó prácticamente toda la capa de mezcla, cuyo espesor varía de 50 m o menos en las zonas tropicales hasta 700 m en las latitudes altas. La capacidad calorífica de esta capa del mar es al menos 35 veces superior a la de la atmósfera, lo que repercute en una formidable acumulación de calor en el planeta. También, hay una aceleración del ciclo hidrológico, consistente con el calentamiento global. Desde 1950, la temperatura nocturna aumentó más rápidamente que la diurna, lo que es indicativo que el aumento en la temperatura se debe al efecto invernadero. Los distintos modelos climáticos globales proyectan distintos valores de la temperatura global, aún bajo los mismos escenarios socioeconómicos. Sin embargo, todos dan la misma respuesta cualitativa, calentamientos apreciables a lo largo del siglo XXI para cualquiera de los escenarios socioeconómicos (Barros, 2007). Las proyecciones indican que el nivel del mar global seguirá ascendiendo y que aumentará 30-60cm en 2100, aún si las emisiones de

gases son ampliamente reducidas y cerca de 60-110 cm en el caso de continuar en aumento (IPCC, 2019a; IPCC, 2019b). Barros (2007) anticipó problemas severos en zonas costeras relativamente bajas como es el caso de los deltas y costas de estuarios con grandes pérdidas socioeconómicas y migraciones.

Algunas partes bajas de la costa de Argentina son vulnerables a las inundaciones, como el caso de la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores, ubicados en la margen derecha del Río de la Plata. La aparición de graves inundaciones en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires guarda estrecha relación con los cambios experimentados en el conurbano: el proceso de urbanización y la falta de una política de localización adecuada de población, sumado a la eliminación de superficie de absorción y a la impermeabilización de las zonas tributarias del Gran Buenos Aires (ocupación de espacios verdes, pavimentación de calles y aledaños de edificios). Todos estos factores contribuyen a que el área metropolitana en su conjunto constituya una zona vulnerable.

La evolución del nivel medio del mar ha sido estudiada en las últimas dos décadas del siglo XX a escala global y regional y se ha encontrado que no todas las regiones son afectadas de la misma forma. Estudios recientes han demostrado que, en el estuario del Río de la Plata, los valores de calentamiento se encuentran en un rango de 0,3-0,4°C /década y son máximos en el estuario interior (Risaro et al., 2018).

En las costas argentinas los cálculos realizados son en general para evaluar la tendencia relativa del nivel medio, es decir que no consideran el movimiento vertical de la corteza terrestre donde están posicionados los mareógrafos y los puntos fijos utilizados para el control del cero de medición. Así, para el Río de la Plata, Fiore et al. (2008) encontraron una tendencia relativa para el período comprendido entre 1905 y 2006 de 1,67mm/año.

Re y Menéndez (2006) coinciden en que, debido al cambio climático, el Río de la Plata está experimentando un incremento de su nivel medio debido tanto al aumento del nivel medio del mar como al cambio en la dirección de los vientos estacionales predominantes. Un estudio que realizaron los autores en base a modelado hidrodinámico en el estuario del Río de la Plata muestra que la principal componente de cambio de los niveles medios será el aumento del nivel medio del mar. Además, las áreas inundadas en forma permanente en la costa argentina del Río de la Plata por los efectos del cambio climático serán, según los resultados del modelo, de relativamente pequeña extensión. Esto significa que la amenaza de inundaciones seguirá siendo eventual y ligada a las sudestadas.

Por su parte, el aumento del nivel medio del mar tiene impacto directo también sobre los sistemas costeros debido a que son afectados por una mayor frecuencia de inundaciones, procesos erosivos, pérdida de humedales, cambios en el paisaje y uso del suelo.

Las medidas de mitigación del cambio climático, si tienen éxito, pueden retrasar muchos de los impactos costeros, postergándolos. Sin embargo, es inevitable que el nivel del mar aumente en este siglo debido a los cambios climáticos que ya son irreversibles. En ese sentido, Pugh y Woodworth (2014) destacan la necesidad de contemplar el ascenso del nivel en las planificaciones a corto y a largo.

El Río de la Plata es un estuario muy extenso con orientación general NNO-SSE, formado por la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay (Figura1). Tiene una longitud aproximada

de 290 km y su ancho varía desde 40 km en su parte más estrecha hasta 220 km en la desembocadura. Sus profundidades, referidas al cero del Riachuelo, varían desde los 5 m frente a la ciudad de Buenos Aires hasta los 10 o 20 m para la región exterior. Se caracteriza por poseer numerosos bancos de arena que afectan la propagación de la onda de marea. Debido a su forma y poca profundidad, es altamente afectado por los vientos del sudeste. La costa argentina del Río de la Plata alberga cerca de 14 millones de habitantes incluyendo la región Metropolitana de la ciudad de Buenos Aires. En esa región las zonas con altura debajo de 5 m sobre el nivel medio del mar pueden sufrir en este siglo inundaciones con diferente periodo de retorno dependiendo de su altura. En cada uno de estos lugares, las inundaciones se harán más frecuentes a medida que el nivel del mar se eleva como consecuencia del Cambio Climático (Barros, 2007).



Figura 1.- Estuario del Río de la Plata y ubicación de la estación mareográfica del Club de Pescadores

Hasta hace unas cuatro o cinco décadas, las zonas frecuentemente inundables de la costa del área metropolitana de Buenos Aires casi no estaban ocupadas por viviendas permanentes. La excepción eran La Boca y algunas barriadas en el partido de Avellaneda donde la proximidad al centro de la ciudad parecería que compensaba los trastornos que las sudestadas ocasionan recurrentemente. Después de la década del 50, algunas áreas expuestas a inundaciones frecuentes tanto en la costa del RP como en las de los afluentes Riachuelo-Matanza y Reconquista fueron ocupadas por asentamientos informales de sectores sociales carenciados. Las condiciones sociales de estos asentamientos ya comprometidas empeoran con cada inundación, por lo que el aumento lento, pero progresivo del nivel del río irá

agravando su situación en las próximas décadas. Otras dos áreas del Gran Buenos Aires con frecuentes inundaciones y poblaciones con condiciones sociales comprometidas son la costa sur del Río de la Plata, entre 20 y 50 km al sudeste de la ciudad de Buenos Aires y el partido de Tigre (Barros, 2007). En esta región ha crecido la construcción de barrios cerrados, modificando estos ambientes bajos y antes inundables y provocando una masiva transformación del terreno y de los cursos de drenaje, destruyendo y reemplazando el ecosistema original para obtener una altura de supuesta seguridad (Daniele y Paula, 2000). Teniendo en cuenta las implicancias que trae aparejadas el aumento del nivel del Río de la Plata, en este trabajo se propone calcular su tendencia en base a datos registrados en el período comprendido entre 1905 y 2020. Actualizar dicho valor con los últimos datos disponibles permitirá conocer mejor las posibilidades de inundaciones y ayudará a una mejor toma de decisiones.

La marea astronómica y el nivel medio del mar

Se define a la marea astronómica como los movimientos periódicos que se encuentran directamente relacionados en amplitud y fase principalmente con las fuerzas gravitatorias de la Luna y el Sol. El forzante geofísico dominante es la variación del campo gravitacional en la superficie de la Tierra, causada por los movimientos regulares de los sistemas Luna-Tierra y Tierra-Sol (Pugh y Woodworth 2014), entre otros).

La señal correspondiente a la onda de la marea astronómica constituye una de las contribuciones de mayor amplitud a la variación de la altura de la superficie del mar, siendo en general la responsable de gran parte de la varianza en muchas variables oceanográficas (D'Onofrio et al., 2015).

La singularidad del Río de la Plata se basa en su régimen astronómico micro mareal, con decenas de centímetros de amplitud, y en la alta relevancia de las componentes meteorológicas.

Las alturas del mar, una vez restadas las contribuciones de la marea astronómica, de las ondas de tormenta, de los meteotsunamis y de los tsunamis pueden ser promediadas en cajas de longitud-latitud para definir el nivel medio del mar. Las variaciones estacionales del nivel del mar son un componente que debe necesariamente considerarse a la hora de registrar el nivel medio del mar (Patullo et al., 1955), ya que en algunos lugares puede tener amplitudes comparables a la de la marea. También se encuentran presentes las contribuciones geológicas e hidrológicas, que incluyen el derretimiento de hielos en altas latitudes y la descarga de ríos, como ocurre por ejemplo en el Río de la Plata (Luz Clara et al., 2014). Así es que por los motivos anteriormente mencionados el nivel medio del mar puede considerarse como una función del tiempo.

La evolución del nivel medio ha sido estudiada en las últimas dos décadas del siglo XX a escala global y regional no siendo todas las regiones afectadas de la misma forma. Los modelos climáticos, los datos satelitales y las observaciones mareográficas muestran que el nivel del mar no sube uniformemente en todo el mundo, siendo en algunas regiones, las tasas muy superiores al promedio mundial, mientras que en otras regiones el nivel del mar disminuye, como lo manifiesta un informe del IPCC de 2014.

METODOLOGÍA

Para el cálculo de la tendencia relativa del nivel medio en el Río de la Plata se dispone de una serie de alturas horarias registradas entre 1905 y 2020. Desde 1905 a 1959 las mediciones fueron realizadas por el Ministerio de Obras y Servicios Públicos, en una estación mareográfica próxima al Antepuerto Sur en Dársena Este. A partir de 1959, las observaciones provienen de una estación perteneciente al Servicio de Hidrografía Naval (SHN) ubicada en el muelle del Club de Pescadores frente al Aeroparque Jorge Newbery de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. La distancia entre ambas estaciones es de 9 km a lo largo de la cual, la topografía y morfología costeras son homogéneas. Como ambas series de mediciones presentan las mismas características mareológicas pudieron ser unidas y referenciadas a un Datum de marea común, que es el cero del Riachuelo, logrando una única serie para el período 1905-2020. Las alturas de marea hasta 1972 fueron obtenidas con mareógrafos analógicos que fueron reemplazados luego por registradores digitales cuya información es enviada teleméricamente al SHN. En la estación mareológica actualmente están instalados tres sensores de presión con electricidad permanente.

A la serie de alturas medidas se le quita la contribución de la marea astronómica, restando la correspondiente predicción calculada mediante análisis armónico, para cada hora de altura observada. Para dicho cálculo se utiliza la Ecuación 1:

$$h(t) = \sum_{j=1}^n H_j \cdot f_j \cdot \cos((V + u)_j - g_j) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde $h(t)$ es la altura de marea observada al tiempo t , t es el tiempo de observación, H_j es la constante armónica amplitud de la componente j , f_j es el factor nodal de la componente j al tiempo t , $(V + u)_j$ es el argumento de equilibrio de la componente j al tiempo t , g_j es la época modificada de la componente j y n es el número de ondas componentes de marea utilizadas. Esta metodología propuesta por Oreiro et al. (2014) tiene la ventaja que no utiliza la velocidad angular (σ) de cada componente. Los argumentos de equilibrio y los factores nodales se calculan considerando las nuevas escalas de tiempo presentadas por Cartwright (1985).

Para las predicciones se emplean las constantes armónicas provistas por el SHN pertenecientes a 62 componentes de marea entre las que se identifican componentes diurnas, semidiurnas, de corto y largo período (Tabla 1).

| Componentes utilizadas | | | |
|------------------------|-------------|---------------|---------------|
| Diurnas | Semidiurnas | Corto período | Largo período |

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <p>2Q₁, Q₁, R₀₁, O₁, MP₁, M₁, Pi₁, P₁, K₁, Psi₁, S₁ J₁, SO₁, OO₁</p> | <p>OQ₂, MNS₂, 2N₂, Mu₂, N₂, Nu₂, M₂, La₂, L₂, T₂, S₂, R₂, K₂, MSN₂, 2SM₂</p> | <p>NO₃, MO₃, M₃, SO₃, MK₃, SK₃, N₄, 3MS₄, MN₄, M₄, MS₄, MK₄, SL₄, S₄, SK₄, MNO₅, 2MO₅, MNK₅, 2MP₅, 2MK₅, 2MN₆, 2NM₆, M₆, 2MS₆, 2MK₆, 3MO₇, 2MSO₇, M₈</p> | <p>Sa, Ssa,, Mm, MSf, Mf,</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|

Tabla 1- Componentes de marea utilizadas en las predicciones

Los niveles medios anuales se obtienen calculando la media aritmética de las alturas horarias correspondientes a cada año, obtenidas luego de filtrar la marea, siguiendo las recomendaciones del Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (PSMSL) (Pugh and Woodworth, 2014). Mediante este procedimiento se pretende atenuar el efecto del forzante atmosférico, generador de las ondas de tormenta, que afectan significativamente al Río de la Plata.

Finalmente se calcula la tendencia para tres períodos distintos, ajustando la serie de niveles medios anuales a una recta, por el método de cuadrados mínimos. La primera serie abarca desde 1905 hasta 2020, la segunda serie comprende el período 1905-1950, mientras que la tercera el período 1951-2020. La idea de tomar los dos últimos períodos es para poder hacer una comparación con las emisiones globales de CO₂ de origen antrópico.

RESULTADOS

En la Figura 2 se graficó la serie de niveles medios anuales y el correspondiente ajuste a una recta por cuadrados mínimos. La tendencia resultante es de 1,55mm/año para el período correspondiente entre 1905 y 2020.

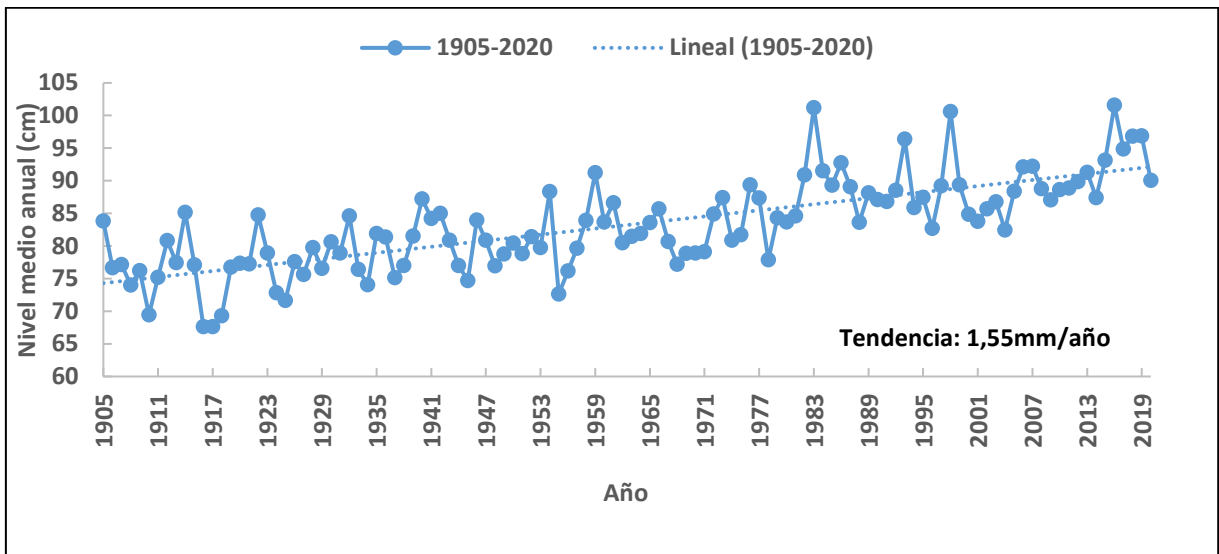


Figura 2. Tendencia del nivel medio del Río de la Plata para el período 1905-2020.

Por otro lado, en la Figura 3 se grafican las tendencias entre 1905 y 1950 y entre 1951 y 2020 de los correspondientes niveles medios anuales.

Se encuentra que la tendencia ha aumentado de 1,21mm/año en el primer período, a 1,85mm/año en el período de 1950 a 2020, coincidente con el rápido aumento de las emisiones antropogénicas registradas después de la finalización de la Segunda Guerra Mundial, como se puede observar en la Figura 4 donde se han representado las emisiones históricas de CO₂ globales entre 1751 y 2018.

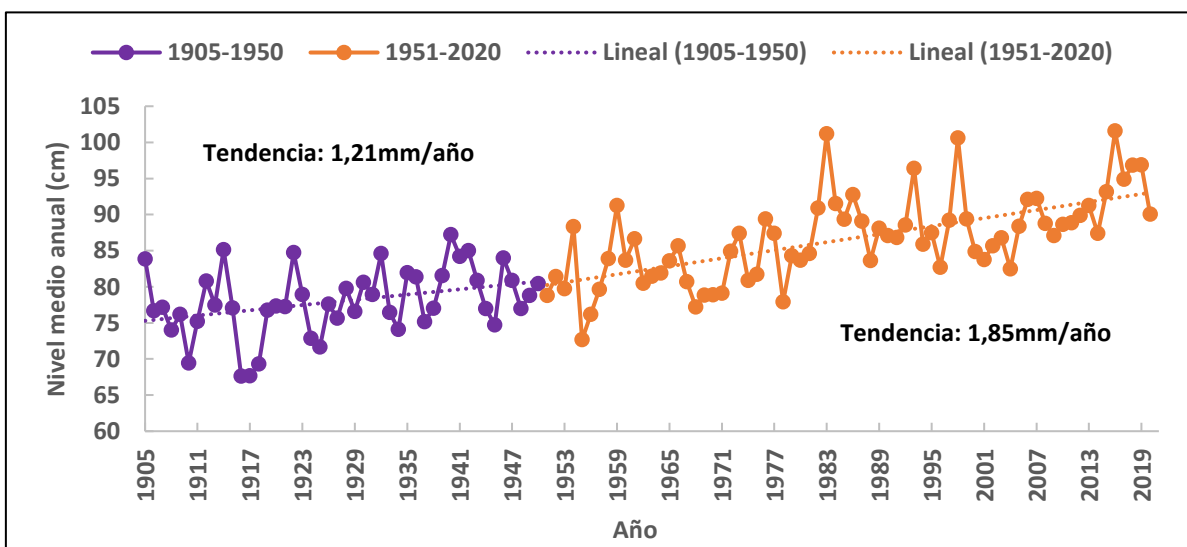


Figura 3. Tendencia del nivel medio del Río de la Plata para el período 1905-1950 y para el período 1951-2020.

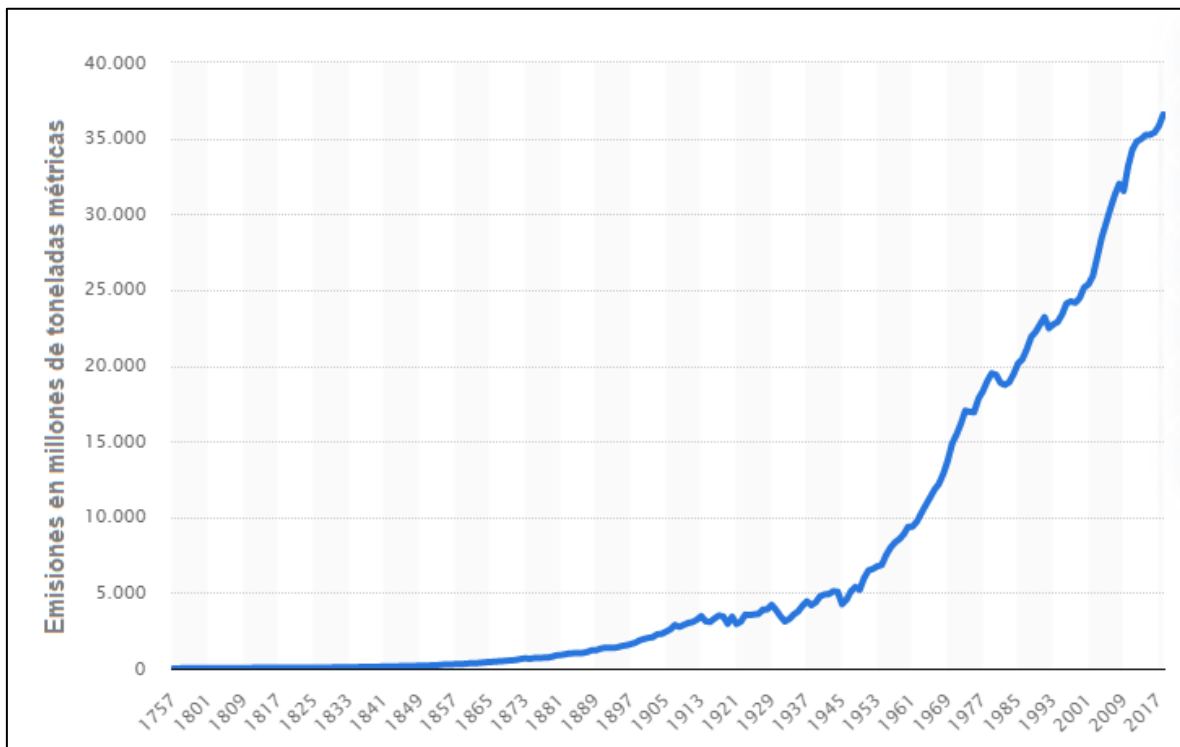


Figura 4.- Emisiones históricas de CO₂ globales entre 1751 y 2018. Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/635382/emisiones-historicas-de-co2-globales/>

Es importante mencionar que el nivel medio del Río de la Plata no es afectado significativamente por la descarga de los ríos Paraná y Uruguay, excepto en ocasiones de aportes extremos como los ocurridos en 1983, 1998 y 2016 coincidentes con eventos El Niño, fácilmente visibles en los gráficos de las Figuras 1 y 2. La razón por la cual el nivel medio no se ve afectado habitualmente por dichas descargas es que el Río de la Plata va incrementando su ancho a medida que se acerca al Océano Atlántico, permitiendo de esta manera que el agua proveniente principalmente del Paraná y del Uruguay se descargue y distribuya sobre una gran superficie sin producir cambios significativos en el nivel medio (Fiore et al., 2008). Asimismo, y en sentido contrario, salvo en presencia de sequías extremas que modifican significativamente el caudal del río Paraná, el nivel medio del Río de la Plata no se ve afectado. Sequías de magnitudes significativas ocurrieron durante 1978 y son fácilmente detectadas en la Figura 1 y en la Figura 2.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una de las principales prioridades es comprender y anticipar de forma fiable cambios en el nivel medio del mar y los riesgos de inundaciones, especialmente las que pueden deberse al cambio climático global. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran una tendencia relativa de ascenso del nivel medio del Río de la Plata del orden de 1,50mm/año, para el período comprendido entre 1950 y 2020 y de 1,21mm/año para el período 1905-1950,

mientras que entre 1951 y 2020 dicha tendencia alcanza 1,85mm/año. De la tendencia obtenida para este último período se deduce, que para el año 2100 el nivel medio del Río de la Plata habrá aumentado 14,6 cm de mantenerse las condiciones actuales de emisiones. Estos resultados no hacen más que evidenciar el impacto global que representan las emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales se siguen produciendo principalmente en los países más industrializados del hemisferio norte y sin embargo sus consecuencias se hacen sentir mundialmente. La necesidad de seguir tomando conciencia de la implicancia de las tele conexiones con diferentes procesos y fenómenos. Para el caso del área de estudio hay que tener en cuenta que la vulnerabilidad al cambio climático en la costa del área Metropolitana de Buenos Aires será fundamentalmente la que aparecerá por el mayor alcance territorial de las inundaciones recurrentes (Sudestadas) como resultado del aumento del nivel medio del Río de la Plata (Barros, 2007).

Un aspecto importante para considerar como consecuencia del aumento del nivel del Río de la Plata es el de planificar y mantener actualizados los sistemas de alerta temprana para aquellas áreas donde mitigar los efectos de las inundaciones hace una gran diferencia al momento del evento. Si bien el estudio de la tendencia del nivel medio se realizó para una sola estación del Río de la Plata, por la calidad y homogeneidad de sus datos los resultados son contundentes, sería fundamental lograr obtener series de alturas de una amplia red mareográfica a lo largo de la costa argentina. De esta forma, se podrían estudiar las variaciones espaciales de las tendencias como la respuesta que cada sitio ofrece de acuerdo a sus propias características y dinámica.

La información presentada podrá ser de utilidad para la elaboración de normas y planes de urbanización para la Ciudad de Buenos Aires, ya sea para la realización de obras hidráulicas o para la relocalización de personas que habitan áreas que pueden resultar críticas con los nuevos niveles de altura del río. Además se podrían combinar los resultados aquí obtenidos con estudios de vulnerabilidad y de impactos económicos para obtener una visión integradora del fenómeno. Cabe mencionar que para poder desarrollar y aplicar cualquier medida de manera exitosa es fundamental el trabajo conjunto y mancomunado del sector académico-científico, del sector gubernamental y de la sociedad civil en general, lo cual representa un desafío y un cambio de enfoque en el tratamiento de las soluciones a problemas que por la diferencia de la naturaleza de las variables que abarcan son muy complejos.

BIBLIOGRAFIA

- Balay, M. A. (1961). El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar, *Publicación H 621*, Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires.
- Barros, V. (2007). El cambio climático en el Río de la Plata. Reporte técnico de los proyectos Impactos del Cambio Global en las áreas costeras del Río de la Plata y Variabilidad hidroclimática del estuario del Río de la Plata: Influencia humana, ENSO y estado trófico. *START-TWAS-UNEP*. Cap I: Cambio Climático, Cap V: Inundación y cambio climático en la costa argentina del Río de la Plata.

- Bouwer, L. M. (2011). Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? *Bull. Am. Meteorol. Soc.* (6), 791–793.
- Cartwright D.E. (1985). Tidal prediction and modern time scales. *International Hydrographic Review*. LXII(1):127-138.
- Daniele C., de Paula, M. (2000). Ocupación residencial en los valles de inundación: ¿Conflicto u oportunidad? *Revista Construir*, 18-19.
- D'Onofrio, E. E., Fiore, M., Romero, S. (1999). Return periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires, *Continental Shelf Research*, 19, 1681-1693.
- D' Onofrio E. E., Oreiro F.A., Grismeyer W.H. y Fiore M.M. E. (2016). Predicciones precisas de marea astronómica calculadas a partir de altimetría satelital y observaciones costeras para la zona de Isla Grande de Tierra del Fuego, Islas de los Estados y Canal de Beagle. *GEOACTA* 40(2): 60-75.
- Fiore, M.M.E., D'Onofrio, E.E., Grismeyer, W.H., Mediavilla, D. G. (2008). El ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia Hoy* 18(105), 51- 57.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nat. Clim. Chang.* (3), 802–806.
- Hinkel, J. (2014). Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* (111), 3292–3297.
- IPCC, (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- IPCC, (2019a). Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer N. (eds.)]. In press.
- IPCC, (2019b). Technical Summary [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M.,(eds.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner, H.- O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, E., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M. (eds.)]. In press.

- Jongman, B., Ward, P. J., Aerts, J. C. J. H. (2012). Global exposure to river and coastal flooding: long term trends and changes. *Glob. Environ. Chang.* (22), 823–835.
- McGranahan, G., Balk, D. L., Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environ. Urban* (19), 17–37.
- Oreiro F.A., D'Onofrio E.E., Grismeyer W.H., Fiore M.M.E. y Saraceno M. (2014). Tide model output comparison in the Northern region of the Antarctic Peninsula using satellite altimeters and tide gauges data. *Polar Science*, 8(1): 10-23.
- Pattullo J. G., Munk W. H., Revelle R., Strong E. (1955). The seasonal oscillation in sea level. *Journal of Marine Research*, 14, 88–155.
- Pugh, D., Woodworth, P., (2014). *Sea-Level Science Understanding Tides, Surges, Tsunamis and Mean Sea-Level Changes*. New York. Cambridge University Press. 409p.
- Re, M., Menéndez, A.N. (2006). Impacto del cambio climático en las costas del Río de la Plata. *Rev. Int. De Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. 7(1) 25.
- Risaro, D.B. (2015). Estudio de tendencias de la Temperatura Superficial del Mar en la Plataforma Patagónica. Tesis de Licenciatura en Oceanografía. DCAO-FCEN, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Tejedor M.L.C, Simionato C.G y D'Onofrio E.E. (2014). Cambios en la propagación de la onda de marea en la Plataforma Continental y el Río de la Plata, asociados a cambios en el nivel medio del mar y los ciclos de la descarga continental. Tesis Doctoral en Oceanografía. UBA.
- Von Schuckmann, K., Le Traon, P. Y., Smith (Chair), N., Pascual, A., Brasseur, P., Fennel, K., Djavidnia, S. (2018). Copernicus Marine Service Ocean State Report, *Journal of Operational Oceanography*, 11:sup1, S1-S142, DOI: 10.1080/1755876X.2018.1489208.