

Original: Noviembre 2010

**ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS DEL NIVEL DEL MAR A NIVEL LOCAL Y SU
RELACIÓN CON LAS TENDENCIAS MOSTRADAS POR LOS MODELOS
INTERNACIONALES**

Ígor Málikov

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM
SUBDIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA
Bogotá, D. C., Noviembre 2010

CONTENIDO

RESUMEN.....	3
TENDENCIAS DEL NIVEL DEL MAR	3
1. FACTORES MODIFICADORES DEL NIVEL DEL MAR.....	3
2. ESTADO ACTUAL DEL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR	6
3. INCERTIDUMBRES Y CRÍTICAS SOBRE LOS RESULTADOS DEL IPCC.....	11
4. CONTRIBUCIÓN DE GLACIARES.....	13
5. ESTIMACIONES Y FUTURO ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR.....	14
6. EFECTOS DEL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR.....	17
7. FUENTES INTERNACIONALES DE INFORMACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR.	21
8. NIVEL DEL MAR ACTUAL EN LAS COSTAS COLOMBIANAS	21
9. PROYECCIÓN DEL NIVEL DEL MAR POR MEDIO DE MODELOS DE SIMULACIÓN	27
10. CONCLUSIONES.....	36
11. BIBLIOGRAFÍA	37

RESUMEN

Se hace una reseña de las diferentes investigaciones realizadas a nivel global sobre el ascenso del nivel del mar y los factores que pueden modificarlo. Se muestran las tendencias actuales de ascenso a partir de diferentes fuentes de observación, datos observados y altimetría satelital y se relacionan las proyecciones estimadas para el siglo XXI a nivel global y sus posibles efectos sobre las comunidades que ocupan la zona continental, se analizan las tendencias locales en las estaciones de Buenaventura, Tumaco y Cartagena (Colombia).

Palabras Clave: Tendencias Nivel del mar, Proyecciones, Cambio Climático.

ABSTRACT

This document presents a reference of different investigations, done about the sea level rise and the factors that can modify it. It shows the current trends of sea level rise from different sources of data, observations data and satellite altimeter data, and the projections expected for the 21st century at global and regional levels and its possible effects on the communities that are living in the continental zone. Finally, it is analyzed the local sea level trends in the stations of Buenaventura, Tumaco and Cartagena (Colombia).

Key words: Sea level trends, Current sea level rise.

TENDENCIAS DEL NIVEL DEL MAR

1. FACTORES MODIFICADORES DEL NIVEL DEL MAR

El nivel del mar en la línea costera está determinado por varios factores que ocurren en diferentes escalas de tiempo, desde horas (las mareas) hasta millones de años (los cambios en las cuencas oceánicas debidas a la tectónica y a la sedimentación). La escala temporal varía desde decenios hasta siglos y algunas de las mayores influencias sobre los niveles medios se vinculan con el clima y los procesos de cambio climático.

A partir de observaciones de las temperaturas oceánicas y resultados modelados, se cree que la **expansión térmica** (cambio de volumen como resultado del cambio de temperatura), es uno de los principales factores que contribuyen a los cambios

históricos en el nivel del mar y se prevé que este componente constituirá el mayor aporte al aumento de esta variable en los próximos cien años. Las temperaturas de las profundidades de los océanos cambian muy lentamente; por lo tanto, la expansión térmica continuaría por muchos siglos, aunque se estabilizasen las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera.

La magnitud del calentamiento y la profundidad del agua afectada varían según el lugar. La distribución geográfica del cambio en el nivel del mar es resultado de la variación geográfica de la expansión térmica, los cambios en la salinidad, los vientos y la circulación de los océanos. La gama de variación regional es considerable, comparada con el aumento medio del nivel del mar en el mundo.

Otra causa importante del cambio en el nivel del mar lo constituye el intercambio de agua oceánica con el agua acumulada en la tierra. El mayor acopio en tierra es producto del agua congelada en los glaciares o en las capas de hielo. El descenso del nivel del mar durante el último período glacial, fue originado por la gran cantidad de agua acumulada en extensas capas de hielo sobre los continentes del hemisferio norte.

Después de la expansión térmica, se prevé que la **fusión de los glaciares de montaña y de los casquetes de hielo** constituirá el principal aporte al aumento del nivel del mar en los próximos cien años. Esos glaciares y casquetes de hielo representan un escaso porcentaje de la superficie de hielos continentales en el mundo, pero son más sensibles al cambio climático que las capas de hielo más vastas de Groenlandia y la Antártida, porque estas últimas están localizadas en regiones con climas más fríos, con menores precipitaciones y bajos índices de fusión. En conclusión, se prevé que las grandes capas de hielo, sólo harán un reducido aporte al cambio de nivel del mar en los próximos decenios.

El nivel del mar también recibe la influencia de procesos que no están explícitamente relacionados con el cambio climático y que modifican el almacenamiento de agua terrestre (y por ende, el nivel del mar). Entre ellos se encuentran, **la extracción de**

agua subterránea, la construcción de embalses, cambios en la escorrentía superficial, infiltración hacia acuíferos más profundos desde los embalses y la irrigación. Quizás estos factores compensen una fracción importante de la aceleración prevista en el aumento del nivel del mar por la expansión térmica y la fusión de los glaciares. La **subsistencia de la costa en las regiones con deltas fluviales**, también puede influir sobre el nivel del mar a nivel local. **Los movimientos verticales en tierra firme provocados por procesos geológicos naturales**, como los lentos movimientos del manto terrestre y los desplazamientos tectónicos de la corteza, pueden tener efectos sobre el nivel local del mar, comparables con los impactos vinculados con el clima.

Por último, **en las escalas temporales estacional, interanual y decenal**, el nivel del mar responde a cambios en la dinámica de la atmósfera y el océano (Fig. 1), de los cuales el ejemplo más notable es el que se produce durante los episodios **El Niño-Oscilación Sur** (ENOS) (<http://www.dsostenible.com.ar>).

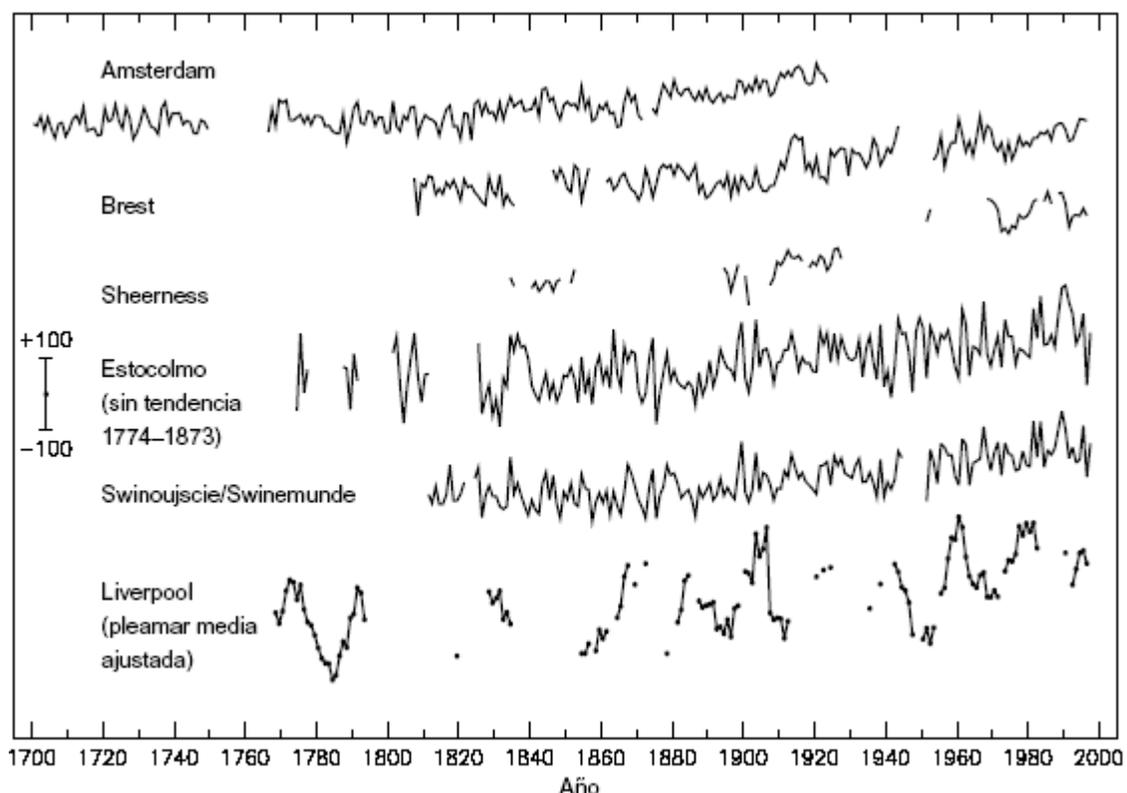


Figura 1. Serie temporal del nivel relativo del mar en los últimos 300 años en Europa septentrional: Amsterdam, Países Bajos; Brest, Francia; Sheerness, Reino Unido; Estocolmo, Suecia (sin tendencia en el período 1774-1873 para eliminar hasta el primer orden la contribución del levantamiento isostático postglacial); Swinoujscie, Polonia (antes Swinemunde, Alemania) y Liverpool, Reino Unido. Los datos de esta última son de la "pleamar media ajustada" en vez del nivel medio del mar e incluyen un término nodal (18,6 años). La barra de escala indica ± 100 mm.

2. ESTADO ACTUAL DEL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

El actual ascenso de nivel del mar ha ocurrido a una tasa media de 1,8 mm/año desde el último siglo, y recientemente, (1993-2003) a tasas estimadas entre $2,8 \pm 0,43$ y $3,1 \pm 0,74$ mm/año (Fig. 2), que serían parcialmente consecuencia del calentamiento global antropogénico (http://es.wikipedia.org/wiki/Subida_del_nivel_del_mar)

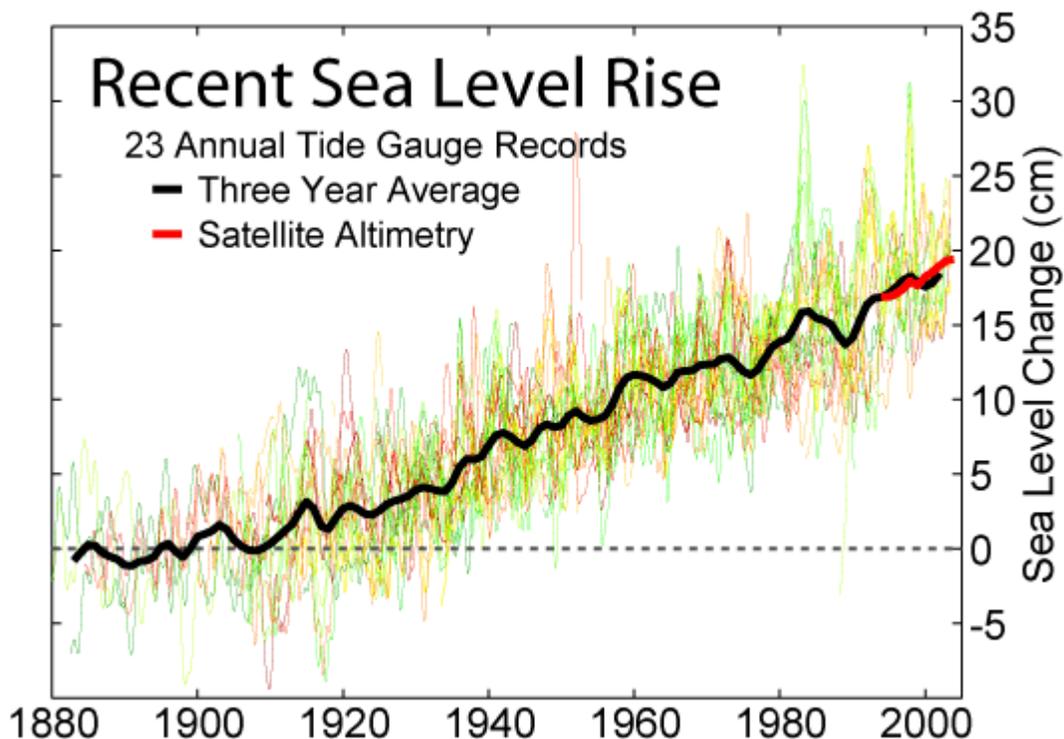


Figura 2. Mediciones del nivel a partir de 23 registros extensos de mareómetros en ambientes geológicamente estables mostrando un ascenso de alrededor 2 mm/año.

El mapa de la figura 3 muestra las tendencias regionales en el nivel del mar, con flechas que representan la dirección y magnitud del cambio. El Centro Operativo de productos y servicios oceanográficos de Estados Unidos (NOAA), ha hecho mediciones del nivel del mar en sus costas durante más de 150 años, con estaciones mareográficas que integran su red Nacional de Observación (<http://tidesandcurrents.noaa.gov>).

A partir de estas observaciones, se han calculado cambios en el Nivel Medio del Mar (NMM), ya sea aumento o disminución, en 128 estaciones a largo plazo con una duración mínima de 30 años de observaciones en cada lugar. Estas medidas han sido promediadas por mes para eliminar el efecto de los fenómenos de alta frecuencia, como las olas y las mareas, para calcular una tendencia lineal exacta del nivel del mar.

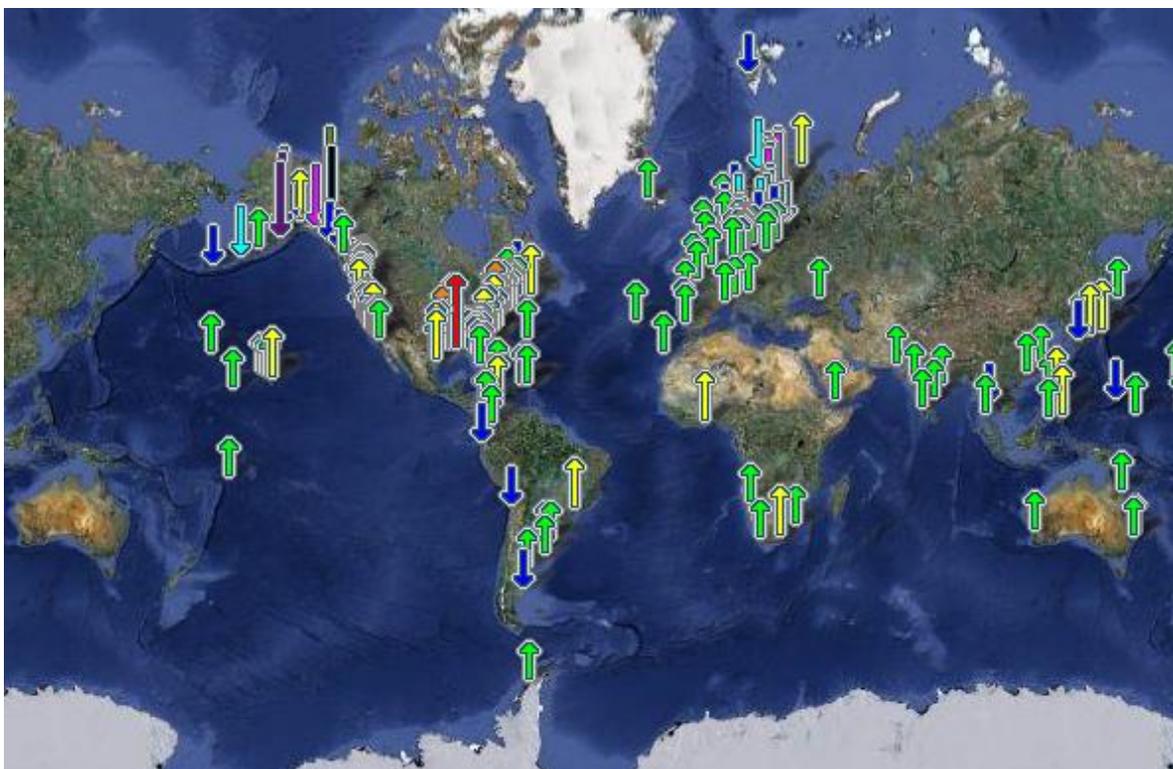
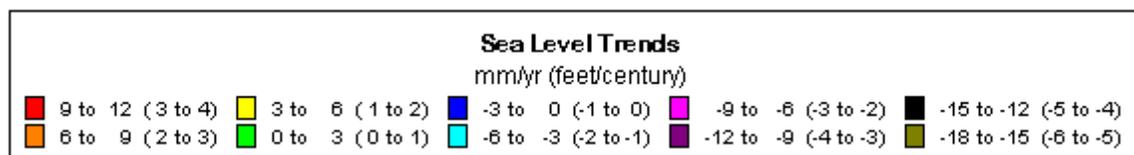


Figura 3. Tendencias del NMM durante más de 150 años con estaciones de mareas

<http://tidesandcurrents.noaa.gov>



El análisis de tendencia también se ha extendido a una red de estaciones de mareas globales, incluyendo 114 estaciones adicionales no relacionados con la NOAA.

En la Figura 4 se muestran observaciones recientes del nivel del mar registradas por mareógrafos (azul) y satélites (rojo) que realiza el IPCC para el seguimiento del límite (línea de negro) de las proyecciones del NMM desde el inicio de 1990. Este límite superior conduce a un aumento global promedio del nivel del mar para el año 2100 de 88 cm en comparación con valores de 1990.

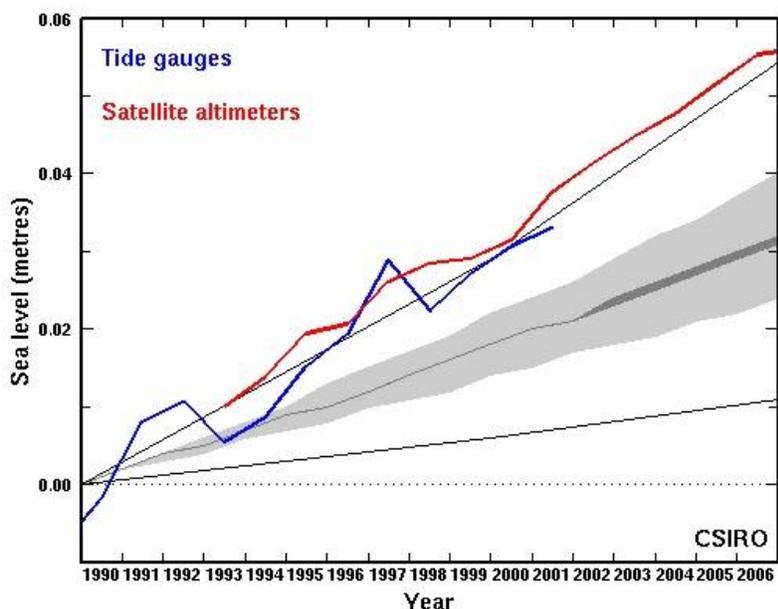


Figura 4. Registros instrumentales del nivel del mar

Fuente: <http://www.cmar.csiro.au>

Estas observaciones no indican necesariamente que el nivel del mar seguirá el comportamiento de ese límite superior, ya que puede estar por encima o por debajo de él. Sin embargo, el derretimiento de la capa de hielo podría conducir a un aumento significativamente mayor del nivel del mar respecto a las proyecciones actuales, y es menos probable llegar a un aumento significativamente menor. También se debe considerar, que las emisiones de GEI podrían proyectar un NMM por encima del valor de los escenarios previstos (<http://www.cmar.csiro.au>).

Como resultado de la combinación de datos históricos de mareógrafos y datos de altimetría por satélite se estimó el promedio del cambio global del NMM desde 1870 a 2004 (Fig. 5). Durante este período, el promedio global del NMM subió casi 20 cm, con una tasa media de aumento aproximado de 1,7 mm/año durante el transcurso del siglo XX. El registro del NMM indica un incremento estadísticamente significativo en la tasa de aumento del nivel entre 1870 y 2004 (<http://www.cmar.csiro.au>)

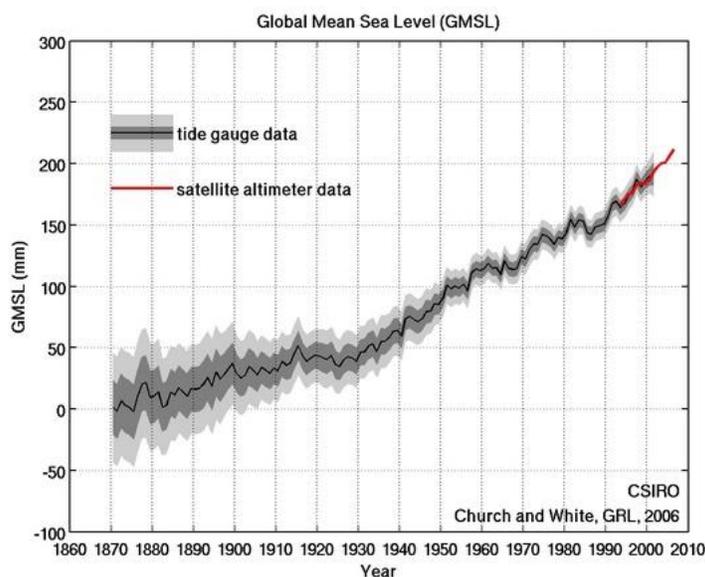


Figura 5. El nivel global del mar

Fuente: <http://www.cmar.csiro.au>

Desde finales de 1992, se ha logrado obtener mayor precisión en las mediciones, a partir de datos del NMM tomados por altímetros satelitales, en particular, del TOPEX/Poseidón (lanzado en agosto, 1992), Jason-1 (lanzado en diciembre de 2001) y Jason-2 (lanzado en junio, 2008). Estos datos han mostrado un aumento más o menos estable en el NMM de aproximadamente $3,2 \pm 0,4$ mm/año durante el periodo registrado. Este dato equivale a más de un 50% del valor promedio registrado durante el siglo XX. Las dos figuras a continuación muestran el NMM medido a partir de TOPEX/Poseidon, Jason-1 y Jason-2 (Fig. 6 y 7).

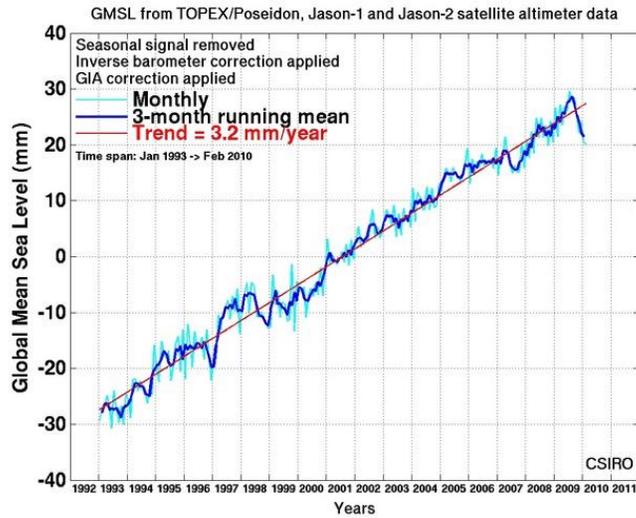


Figura 6. Nivel del mar a partir de datos de TOPEX/Poseidon, Jason-1 y Jason-2

El calentamiento del agua y del hielo terrestre ha elevado el nivel medio global del mar 4,5 centímetros desde 1993 hasta 2008, aunque el ascenso no es uniforme. La Figura 7, ilustra los datos de altura de la superficie del mar tomados por los satélites Topex / Poseidon y Jason-1, allí se aprecia cuanto ha cambiado el nivel del mar durante este tiempo y la rapidez con que estos cambios se han producido.

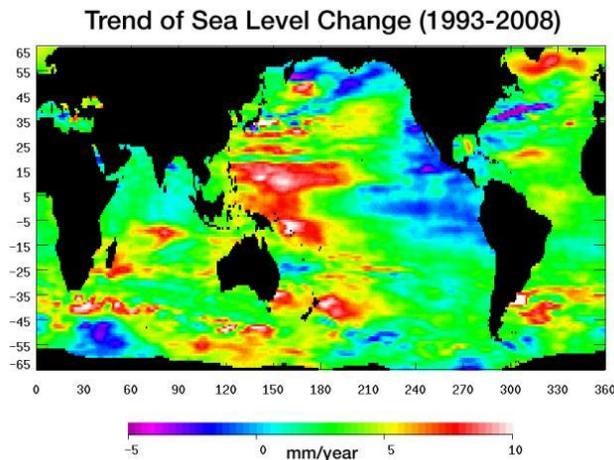


Figura 7. Cambios del Nivel del mar desde 1993 hasta 2003 según los datos de TOPEX/Poseidon, Jason-1 y Jason-2. Rojo y blanco donde sube el nivel del mar más rápidamente. Púrpura y azul donde hay descenso. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11002>

A pesar de la incertidumbre sobre la existencia del calentamiento global, es notorio un ascenso del nivel de las aguas oceánicas. Al incrementarse las temperaturas asciende el nivel del mar por el agua proveniente de la fusión de hielos continentales. Esa expansión, bien cuantificada, es actualmente la causa primaria de tal ascenso y se espera que lo siga siendo hasta final de siglo. Las contribuciones glaciares al ascenso son menos importantes, y más difíciles de predecir y cuantificar.

Los valores predictivos de ascenso en el siguiente siglo típicamente oscilan entre 9 y 88 cm, con un valor central de 48 cm. Por analogía con la deglaciación de Norteamérica en los últimos 9 milenios, algunos científicos predicen un ascenso de 13 dm en el siglo XXI. Sin embargo, los modelos de flujo glacial en las más pequeñas indlandsis (territorios cubiertos de hielo de dimensiones continentales), muestran que el valor máximo probable de ascenso del nivel en este siglo es de 8 dm.

3. INCERTIDUMBRES Y CRÍTICAS SOBRE LOS RESULTADOS DEL IPCC

Los registros de mareas tienen una tasa de crecimiento de 180 mm por siglo, que se remonta al siglo XIX y no muestra una aceleración fuerte en los últimos años del siglo XIX y en la primera mitad del siglo XX.

El IPCC afirma, que cerca de 60 mm/siglo, son consecuencia de la fusión y otros procesos eustáticos, dejando un residual de 120 mm de aumento para el siglo XX, aún sin explicar, que deben ser tenidos en cuenta. Las temperaturas globales oceánicas, observadas por Levitus, están de acuerdo con los modelos acoplados océano/atmósfera de calentamiento por efecto invernadero, con cambios relacionados con el calor de 30 mm/siglo.

La fusión de indlandsis en el límite superior de las estimaciones del IPCC podría cerrar la brecha, pero dentro de estrictos límites impuestos por las perturbaciones observadas en la rotación de la Tierra (Munk, 2002).

Según el IPCC, hay una gran diferencia, aún sin explicar, entre las estimaciones directas e indirectas del ascenso del nivel del mar. La mayoría de estimaciones directas obtenidas de mareógrafo, muestran un valor entre 1,5 y 2 mm/año, mientras las estimaciones indirectas, basadas en los dos procesos responsables del ascenso del nivel del mar, a saber, masa y cambio de volumen, son significativamente inferiores a este rango.

Las estimaciones de volumen se incrementan debido al calentamiento oceánico, con una tasa cercana a 0,5 mm/año mientras la tasa debida al incremento de masa, proveniente en principio de la fusión de hielo continental, se cree, sería inferior. Un estudio confirmó que los datos de mareógrafo son correctos, concluyendo que habría una fuente continental de 1,4 mm/año de agua dulce (Miller and Douglas, 2004).

Según Douglas y Peltier (2002) "En los últimos doce años, los valores publicados del siglo XX del Global Sea Level (GSL) han oscilado entre 1 y 2,4 mm/año. En su Tercer Informe de Ajuste, el IPCC discute esta pérdida de consenso por su magnitud, y no presenta una buena estimación del ascenso del GSL en el siglo XX. Por su diseño, el IPCC, presenta una reseña del análisis publicado en el último decenio, e interpreta la amplia gama de estimaciones, que reflejan la incertidumbre de conocimiento sobre el aumento de nivel del mar global. Douglas, está en desacuerdo con la interpretación del IPCC y considera que valores muy por debajo de 2 mm/año son inconsistentes con las observaciones regionales de la elevación del nivel del mar y con la respuesta física continua de la Tierra al más reciente episodio de deshielo."

El fuerte episodio del fenómeno "El Niño 1997-1998" causó variaciones regionales y globales del nivel del mar, incluyendo un incremento temporal global de aproximadamente 20 mm. El análisis de las tendencias satelitales del IPCC, concluyó que el fuerte evento ENOS 1997/98 pudo sesgar las estimaciones de arriba del ascenso del nivel del mar e indicar la dificultad de tendencias separadas de largo término de la variabilidad climática.

4. CONTRIBUCIÓN DE GLACIARES

Es bien sabido que los glaciares están sujetos a aumentos repentinos en su tasa de movimiento con la consiguiente fusión cuando llegan a latitudes más bajas y/o en el mar. Los colaboradores de "Annals of Glaciology", volumen 36 (2003) discutieron este fenómeno extensamente y al parecer, el avance lento y el retroceso rápido, ha sido un comportamiento persistente durante la segunda mitad del Holoceno tardío, en casi todos los glaciares de Alaska.

Informes históricos de los sucesivos aumentos en los glaciares de Islandia se remontan a varios siglos. Así, la retirada rápida puede tener varias causas distintas al aumento de CO₂ en la atmósfera (http://nsidc.org/sotc/sea_level.html)

Los resultados de Dyurgerov (2002) muestran un fuerte aumento de la contribución de las montañas y los glaciares subpolares al ascenso del nivel del mar desde 1996 (0,5 mm/año) a 1998 (2 mm/año) y un promedio de aprox. 0,35 mm/año desde 1960 (Fig. 8).

También de interés es Arendt et al. (2002), quienes estimaron la contribución de los glaciares de Alaska de 0,14 ±0,04 mm/año entre la mitad de la década de 1950 a mediados de la década de 1990 incrementando en 0,27 mm/año a mediados y fines de la década de 1990.

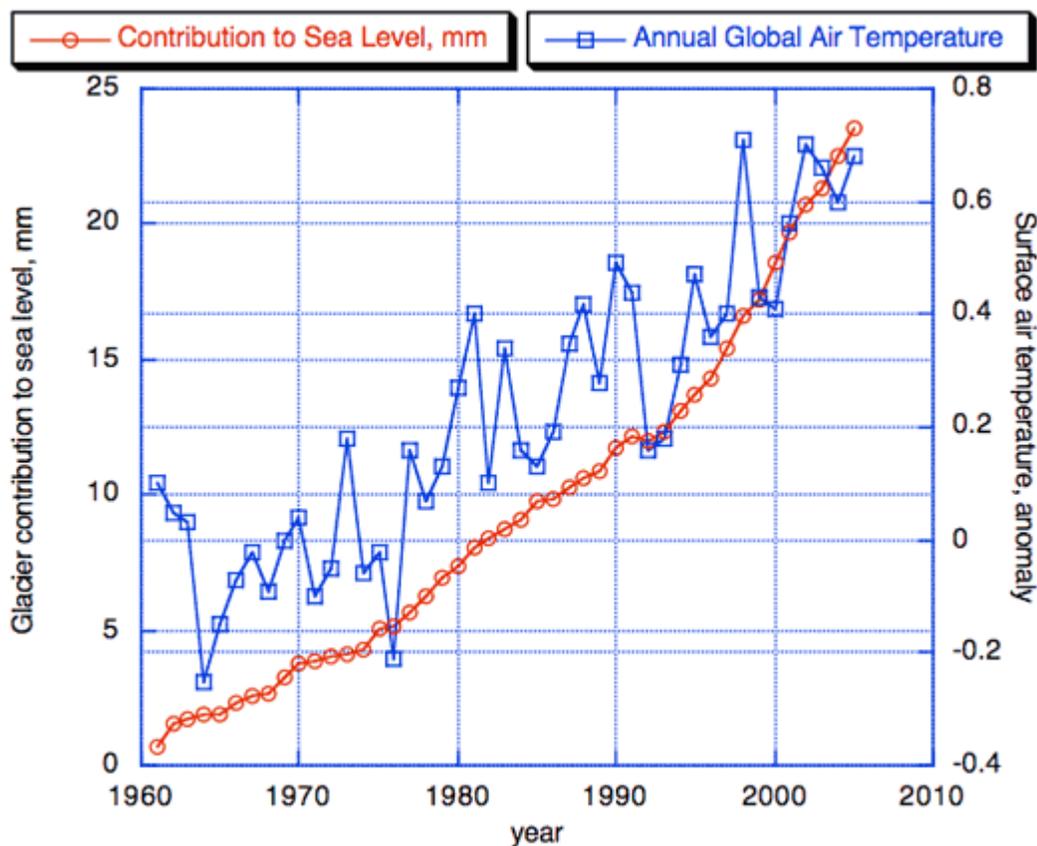


Figura 8. Contribución de pequeña capa de glaciar/hielo: La contribución acumulativa a nivel del mar de los pequeños glaciares y casquetes de hielo (rojo) en función de la anomalía de temperatura superficial del aire mundial anual (azul). Imagen cortesía de Mark Dyurgerov, Instituto de Investigación Ártica y Alpina de la Universidad de Colorado, Boulder.

5. ESTIMACIONES Y FUTURO ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

En 2007, el Informe del IPCC sugiere que los niveles del mar podrían ascender entre 19 y 59 cm hacia finales de este siglo.

Las estimaciones de aumento del nivel del mar por altimetría satelital desde 1992 (cerca de 2,8 mm/año) son superiores a las provenientes de mareógrafos. No está claro si las cifras realmente representan un aumento en las últimas décadas, o se deben a la variabilidad o a problemas con la calibración de los satélites.

Church y White (2006) informan una aceleración del aumento del nivel del mar desde 1870. En una revisión desde 2001 y las mediciones no detectan significativa aceleración de la tasa reciente de ascenso del nivel del mar.

Con base en datos de mareómetros, la tasa de aumento medio global del nivel del mar durante el siglo XX se encuentra en el rango de 0,8 a 3,3 mm/año, con una tasa promedio de 1,8 mm/año.

Recientes estudios en pozos de la Antigua Roma en Caesarea y de piscinas romanas en Italia indican que sus niveles del mar permanecieron relativamente constantes de unos pocos cientos de años después de Cristo a unos pocos cientos de años atrás.

Sobre la base de datos geológicos, el nivel medio del mar puede haber subido a una tasa promedio de alrededor de 0,5 mm/año durante los últimos 6 milenios y a una tasa promedio de 0,1 a 0,2 mm/año durante los últimos 3 milenios.

Desde el último Máximo Glacial hace unos 20 milenios, el nivel del mar ha subido más de 120 m (con un promedio de 6 mm/año) como resultado de la fusión de las capas de hielo. El rápido aumento tuvo lugar entre 6 y 15 milenios atrás a una tasa promedio de 10 mm/año para el cual representó un ascenso de 90 m; así, en el período transcurrido desde 20 milenios atrás (excluyendo el rápido aumento de 15-6 milenios) la tasa promedio fue de 3 mm/año.

Un evento significativo fue el Pulso de Fusión, cuando el nivel del mar subió unos 20 m en un período de 500 años aproximadamente 14.200 años atrás, esto representa una tasa de 40 mm/año. Estudios recientes sugieren que la fuente principal fue el agua de deshielo de la Antártida, quizás causando el pulso de enfriamiento sur a norte en el Hemisferio Sur (enfriamiento Huelmo-Mascardi, que precedió al Dryas Reciente del Hemisferio Norte).

El aumento relativo del nivel del mar en lugares específicos a menudo es de 1-2 mm/año, mayor o menor que el promedio mundial. A lo largo del Atlántico medio de EE.UU. y las costas del Golfo, por ejemplo, el nivel del mar es de aproximadamente 3 mm/año.

Teniendo en cuenta las mediciones mareométricas de EE.UU, los mareógrafos muestran considerable variación debido a que algunas porciones de tierra se levantan mientras otras se hunden. En los pasados 100 años, la tasa de ascenso del nivel del mar varió desde un incremento de 9,1 mm/año a lo largo de la costa de Louisiana (debido a un hundimiento de tierras), hasta un descenso de unos pocos centímetros por década en algunas partes de Alaska (debido a una recuperación post-glacial).

La tasa de elevación del nivel del mar aumentó durante el período 1993-2003 en comparación con el promedio a largo plazo (1961-2003), aunque no está claro si el ritmo más rápido refleja una variación a corto plazo o un aumento en la tendencia a largo plazo.

Según mediciones del nivel del mar en Ámsterdam, que son las series más extensas registradas en regiones holandesas, la mayoría de los datos se encuentran por debajo del nivel del mar. Registros desde 1700 pueden hallarse en <http://www.pol.ac.uk/pmsl/longrecords/longrecords.html>, donde se comprueba que desde 1850, hay un ascenso de aproximadamente 1,5 mm/año. La Royal Society de Londres calcula un aumento neto del nivel del mar en Australia de 1 mm/año, un resultado importante para el hemisferio sur.

En 2007, el IPCC en su Cuarto Informe de Avance, predijo que hacia 2100, el calentamiento global dará lugar a un ascenso del nivel del mar entre 19 y 58 cm, dependiendo de cuál de los seis posibles escenarios de emisión ocurran en el futuro. (<http://www.epa.gov/climatechange/science/recentssc.html>).

Ese ascenso del nivel del mar podría causar dificultades para las comunidades que ocupan la zona continental en los siglos siguientes, en grandes ciudades como Londres o Nueva Orleans, donde el aumento en la frecuencia de las tormentas, hizo necesario el desarrollo de mayores estructuras de defensa, que serían insuficientes si el nivel del mar se elevase.

La elevación del nivel del mar podría desplazar de la costa muchas poblaciones. Se estima que un aumento de apenas 2 dm dejaría sin hogar a 740.000 personas en Nigeria, Maldivas, Tuvalu, y otros países que se encuentran en áreas bajas y que están en más alto nivel de riesgo. El panel de Ambiente de la ONU ha advertido que, al ritmo actual, el nivel del mar sería lo suficientemente alto como para hacer inhabitables las Islas Maldivas en 2100.

Se espera que futuros aumentos en el nivel del mar, no sean uniformes a nivel global, como el aumento reciente. Algunas regiones muestran un aumento muy por encima de la media mundial (en muchos casos, más del doble de la media), mientras en otros sitios se observa descenso. Sin embargo, los modelos están en desacuerdo en cuanto a la distribución probable de los cambios en el nivel.

6. EFECTOS DEL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

Con base en los incrementos proyectados en los informes del IPCC TAR WG II, se espera la ocurrencia de un sin número de impactos debidos al actual y futuro Cambio Climático, en particular sobre los sistemas costeros. Tales impactos incluirían incrementos en la erosión del litoral, inundaciones, afectación de la producción primaria, cambios en la calidad del agua superficial y sus características en profundidad, incremento en las pérdidas de propiedades de los hábitats litorales, incremento de riesgo por inundación y potenciales pérdidas humanas, pérdida de recursos monetarios y valores culturales, impactos en la agricultura y la acuicultura a través de la disminución de la calidad de suelos y del agua, pérdida del turismo, recreación y funciones del transporte.

Eso implicará que muchos de estos impactos sean perjudiciales, especialmente para las tres cuartas partes de la población pobre del mundo que depende de los sistemas agrícolas. El informe, sin embargo, tiene en cuenta que, debido a la gran diversidad de ambientes costeros, habrá diferencias regionales y locales en el proyectado nivel relativo del mar y los cambios climáticos, y diferencias en la resistencia y la capacidad de adaptación de ecosistemas, sectores y países, por lo tanto el impacto será muy variable en el tiempo y el espacio.

Los datos estadísticos sobre los impactos en la población son escasos. Un estudio en abril de 2007 del Ambiente y Urbanización reportó que 634 millones de habitantes viven en áreas litorales dentro de los 9 m por debajo de nivel del mar. Ese estudio también reportó que cerca de dos terceras partes de las ciudades del mundo con más de cinco millones de habitantes se localizan en esas áreas litorales bajas.

El Informe IPCC de 2007 estimó que la fusión acelerada de los campos de Hielo del Himalaya, y el ascenso resultante en los niveles del mar, probablemente aumentarían la gravedad de las inundaciones en el corto plazo durante la temporada de lluvias y acrecentarán el impacto de las mareas de tormenta o mareajadas que se presentan durante la temporada de ciclones. Un ascenso del nivel del mar de 4 dm en la Bahía de Bengala inundaría un 11 % de las tierras litorales de Bangladesh, generando entre 7 y 10 millones de refugiados climáticos.

Se requieren escenarios futuros de aumento del nivel del mar para evaluar diversas clases de amenazas a los asentamientos humanos, los ecosistemas naturales y el paisaje en las zonas costeras.

Los escenarios de nivel del mar relativos (es decir, la subida del nivel del mar con referencia a los movimientos de la superficie terrestre local) son los de mayor interés para las evaluaciones del impacto y la adaptación. Para ello es necesario contar con series de datos **de 50 años o más de los mareómetros y la altura de las olas**, junto

con **información sobre procesos climáticos y costeros severos**, para establecer niveles o tendencias de referencia.

Las técnicas más modernas de altimetría y nivelación geodésica por satélite han mejorado y normalizado las determinaciones del nivel del mar relativo en grandes zonas costeras alrededor del planeta.

http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/vol4/spanish/124.htm).

Aunque algunos componentes del posible aumento del nivel del mar en el futuro pueden ser modelados a escala regional, utilizando **modelos acoplados océano-atmósfera**, el método más común para obtener estos escenarios, es aplicando estimaciones medias mundiales de modelos sencillos.

Los cambios en la frecuencia de sucesos extremos, como las mareas de tormenta y la sobre elevación causada por las ondas de viento, que pueden tener importantes impactos en las costas, se investigan comparando sucesos históricos extremos con el promedio del nivel del mar. Recientemente, algunos estudios han comenzado a expresar el futuro aumento del nivel del mar en términos probabilísticos, facilitando así, la evaluación de la subida del nivel en términos del riesgo de exceder un umbral crítico de impacto. El aumento del nivel se manifestará tanto en cambios en el nivel medio, como en la ocurrencia de fenómenos extremos del nivel del mar.

Incluso si no hay cambios en las condiciones climáticas extremas (por ejemplo, aumento de la frecuencia o intensidad de los ciclones tropicales), la subida del nivel del mar como resultado de la superación de un valor determinado, se presentará con mayor frecuencia. Este cambio en la frecuencia de eventos extremos ya se ha observado en muchos lugares.

El aumento en la frecuencia de eventos extremos dependerá de las condiciones locales, pero los acontecimientos que actualmente ocurren una vez cada 100 años pueden ocurrir con una frecuencia inferior, para el año 2100 (<http://www.cmar.csiro.au>).

El efecto de la subida del NMM se manifestará con mayor intensidad, en condiciones de tormenta extrema, cuando los vientos fuertes y el descenso de la presión provoquen un aumento temporal y localizado en el nivel del mar (marejada).

La ocurrencia de marejadas incrementará las inundaciones, la erosión y los subsecuentes impactos perjudiciales sobre la infraestructura construida y los ecosistemas naturales.

El Nivel medio global del mar aumentó en 195 mm entre 1870 y 2004, y continúa aumentando a un ritmo sostenido de aproximadamente 3 mm/año. Esta tasa de incremento, generará mayores problemas de inundación de tierras bajas y zonas insulares.

Esto se ve agravado en algunas zonas como Gippsland y Victoria, en Australia o en la costa del Golfo de los EE.UU., donde el hundimiento de tierras a gran escala, resulta incluso superior a la tasa de aumento del nivel del mar. En consecuencia, algunas zonas se ven menos afectadas, ya que este fenómeno va en aumento.

Incluso sin el aumento en la frecuencia de eventos extremos, millones de personas serán afectadas por los efectos directos de la subida del nivel del mar durante el próximo siglo. El IPCC estima que el aumento del nivel del mar para el 2090, será de 0.54 a 0.75 metros, lo que debe tomarse en cuenta, en la estimación de poblaciones inundadas de las zonas costeras como consecuencia de la subida del nivel, en el establecimiento de escenarios socio-económicos y en las medidas de protección.

En ocasiones, los grandes cambios en el nivel del mar ocurridos durante las últimas glaciaciones, se utilizan como argumento para disminuir la importancia de los cambios

actuales relativamente pequeños, basándose en el supuesto, de que la humanidad se adaptó a estas condiciones en el pasado, por lo que debería ser capaz de adaptarse nuevamente.

Con la enorme infraestructura que tienen en el momento algunas ciudades como Londres o Nueva York y los millones de personas que viven en regiones amenazadas como Bangla Desh o el sur de Vietnam, con un aumento significativo del nivel del mar, la propuesta de reubicar las poblaciones no es una solución viable.

7. FUENTES INTERNACIONALES DE INFORMACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR

http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl_data_cmar.html

<http://www.gloss-sealevel.org>

<http://sealevel.colorado.edu/results.php>

<http://www.psmsl.org/data/obtaining>

<http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhs/c/html/0265B.html>

8. NIVEL DEL MAR ACTUAL EN LAS COSTAS COLOMBIANAS

En los 57 años de registro de la serie del nivel del mar en el puerto de Tumaco, se diferencian ciclos de 15 a 16 años aproximadamente, entre ascensos y descensos del nivel.

En los años 1957-58 el nivel del mar mantuvo registros máximos, luego empezó a descender, mostró valores mínimos en los años 1975-76 e inició un nuevo periodo ascendente, alcanzando niveles máximos en 1989-99. El último descenso ocurrió en los años 2004-2005 y en la actualidad se encuentra en una fase ascendente (Fig. 9).

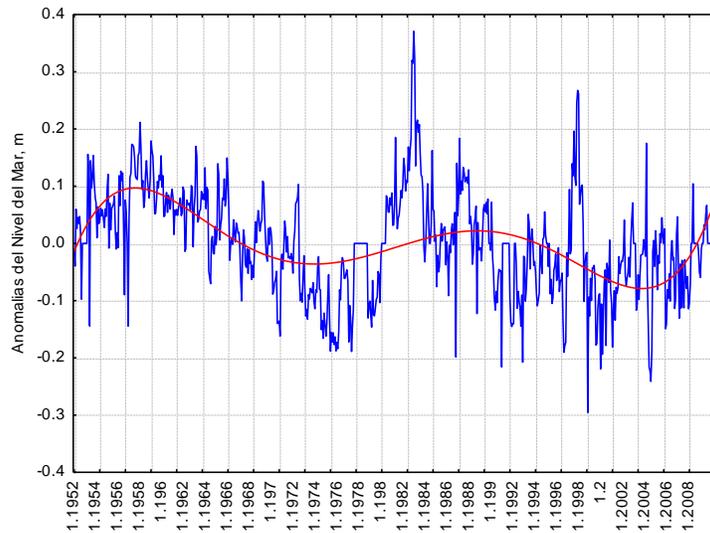


Figura 9. Cambio del nivel del mar en el puerto de Tumaco (1952-2009)

La tendencia general durante los últimos 57 años en Tumaco es de carácter descendente, con una tasa promedio de 2.4 mm/año. Durante el período de observación, desde el año 1952 hasta hoy, el nivel del mar en Tumaco ha bajado 139 mm (Fig. 10).

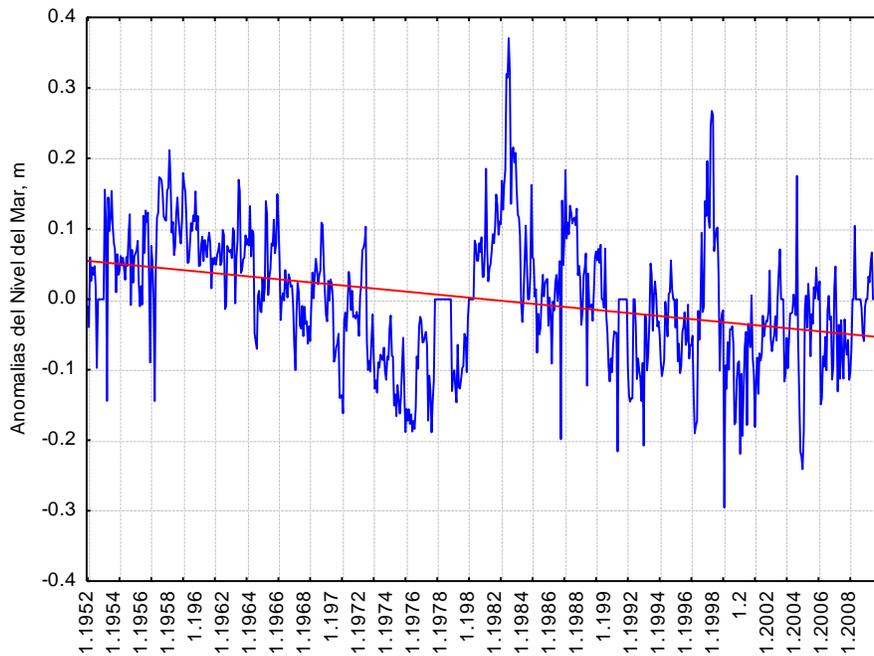


Figura 10. Tendencia general del nivel del mar en el puerto de Tumaco

Para hacer un análisis comparativo del descenso del nivel del mar en Tumaco, con relación al comportamiento global, se presentan los datos mundiales de observaciones publicados por la NOAA, con las tendencias generales del nivel del mar (Fig. 11).

Las tendencias del nivel del mar en el Océano Pacífico, muestran tres puntos donde se registra descenso del nivel sobre las costas Suramericanas. La flecha azul más al sur, representa el Puerto Deseado en Argentina (con registros de nivel desde 1970); hacia el centro del continente, en Antofagasta Chile, se observa el mismo comportamiento (registros desde 1945) y la flecha al norte, corresponde al Puerto La Libertad en Ecuador (serie histórica desde 1948). El puerto de Tumaco no está representado en esta imagen pero está localizado muy cerca al Ecuador.

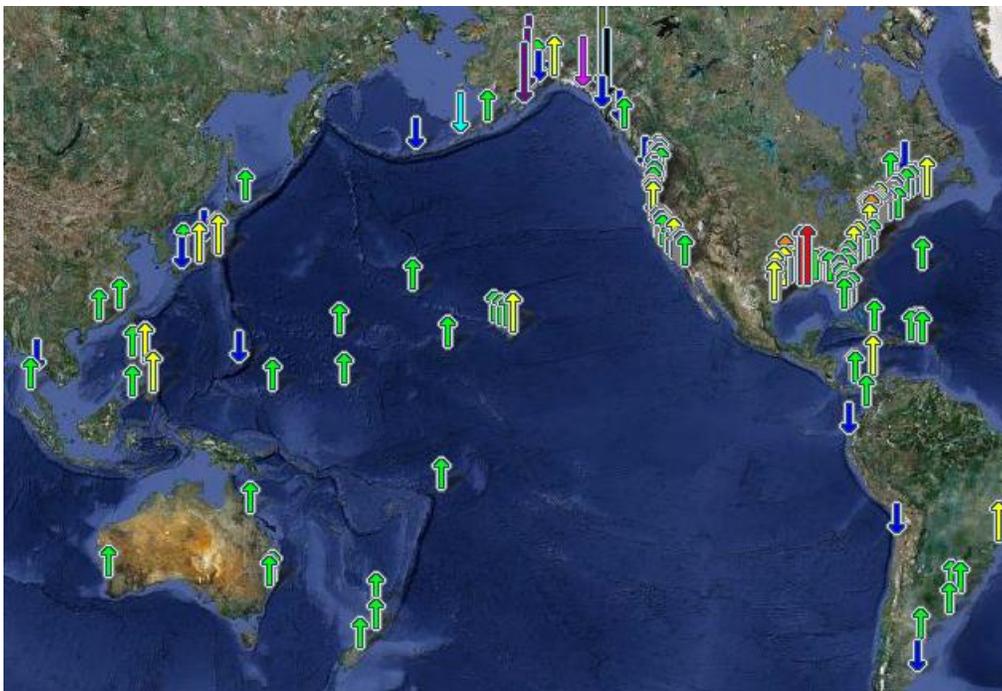
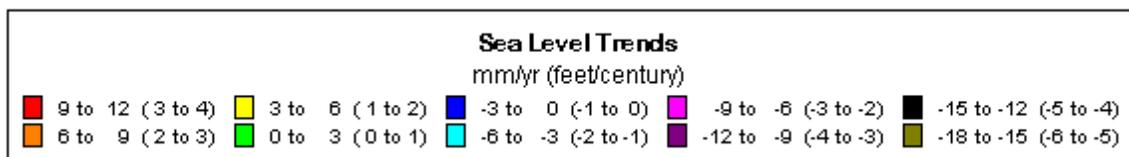


Figura 11. Tendencias del nivel del mar en el Océano Pacífico

<http://tidesandcurrents.noaa.gov>



La siguiente estación de registro sobre el Pacífico colombiano, corresponde al puerto de Buenaventura. De acuerdo con la figura anterior, a partir de este punto se observa la finalización de la tendencia descendente del nivel del mar en la costa occidental Suramericana y el inicio de una tendencia ascendente; por esta razón, el ascenso es relativamente muy pequeño en Buenaventura. Según los datos presentados por la NOAA, la tasa de crecimiento en Buenaventura es de 0.96 mm/año de acuerdo con registros del período 1941-1969.

En los últimos 57 años de registro del nivel del mar en el puerto de Buenaventura (Fig. 12), se observan igualmente, oscilaciones de ascenso y descenso, con periodos de 18 años. En los años 1960-61 el nivel del mar, en general, mantuvo valores mínimos, empezó a subir y obtuvo máximos niveles en los años 1978-79, luego bajó, registrando valores mínimos en los años 1996-97 y en la actualidad está subiendo (Fig. 12).

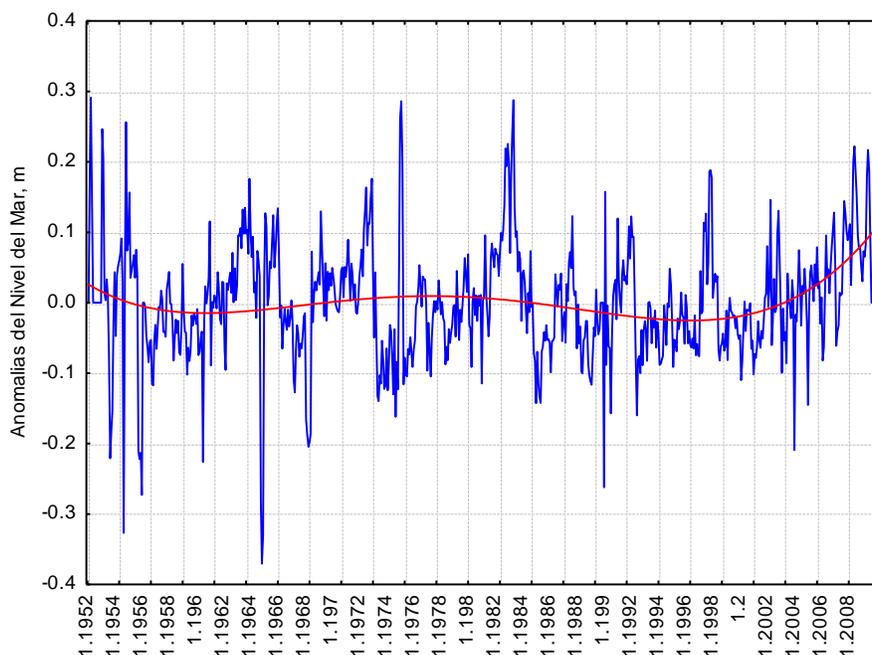


Figura 12. Cambios periódicos del nivel en el puerto de Buenaventura

La tendencia general durante los últimos 57 años en Buenaventura es de carácter ascendente, con una tasa promedio anual de 0.31 mm/año, durante todo el período de

observación desde el año 1952 hasta hoy, el nivel del mar en Buenaventura ha subido 17.7 mm (Fig. 13).

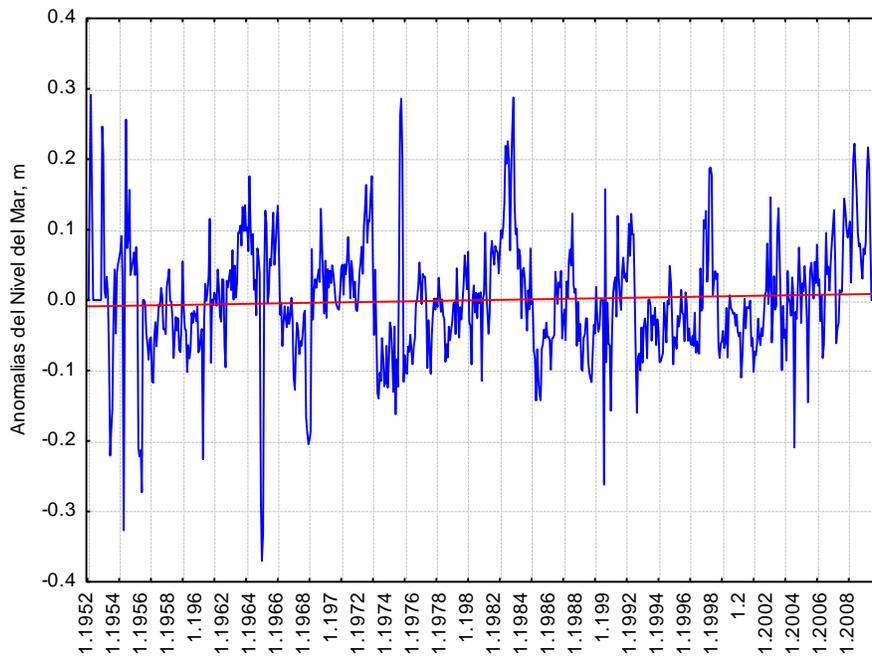


Figura 13. Tendencia general del nivel en el puerto de Buenaventura

En el periodo de registro del nivel del mar en el puerto de Cartagena (1952-1993), se observan oscilaciones de ascenso y descenso de largo periodo, con un ciclo de 18-19 años, similares a las registradas en Buenaventura y Tumaco. En los años 1960-61 el nivel del mar general mantuvo mínimos valores, empezó a subir y tuvo máximos niveles en 1978-79, luego descendió. La estación fue trasladada de su localización original a un sitio cercano a partir del año 1993, en la actualidad el nivel está ascendiendo (Fig. 14).

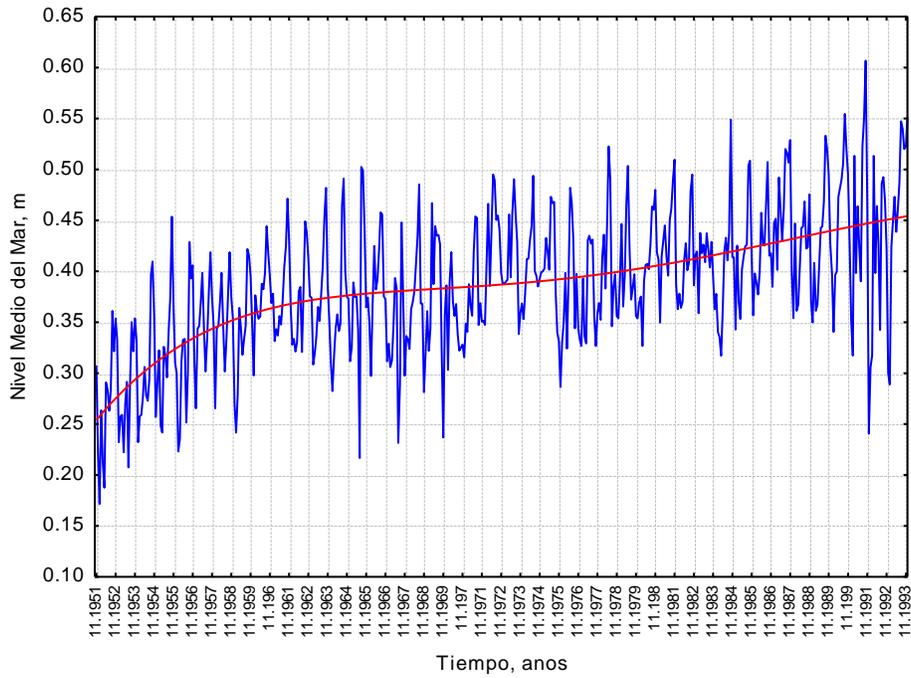


Figura 14. Cambios periódicos de nivel en el puerto de Cartagena

La tendencia general durante los 42 años analizados en Cartagena es ascendente, con una tasa promedio anual de 3.6 mm/año, durante el período de análisis (1952-1993), el nivel del mar en Cartagena ha subido 151.5 mm (Fig. 15).

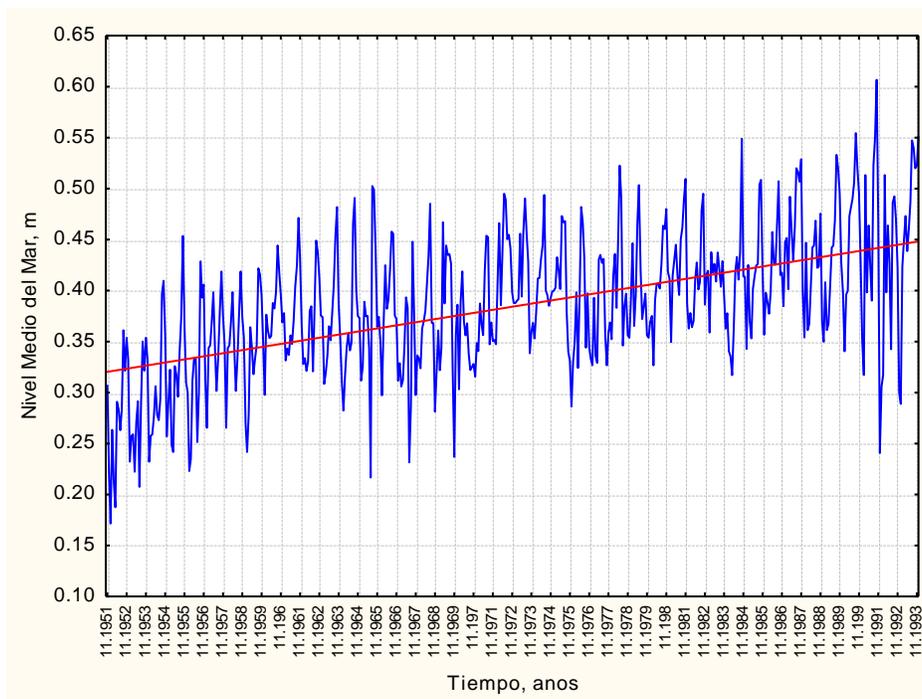


Figura 15. Tendencia general del nivel en el puerto de Cartagena

9. PROYECCIÓN DEL NIVEL DEL MAR POR MEDIO DE MODELOS DE SIMULACIÓN

El Centro Hadley de la agencia meteorológica británica, ha desarrollado el modelo climático HADGEM2-ES. Este modelo es un simulador de nueva generación que añade complejas variables para predecir las tendencias del clima a cien años (<http://rdipress.com/un-modelo-climatico-mejorado-para-hacer-predicciones>).

Como resume Climate Feedback, el blog sobre cambio climático de 'Nature', a diferencia de los modelos climáticos tradicionales, que sólo tienen en cuenta los elementos físicos del clima como el aire, la radiación solar y el agua, los nuevos modelos incluyen variables que hacen referencia a todo el sistema Tierra: la expansión o reducción de la masa forestal según las condiciones, la reacción de las cadenas alimentarias marinas ante la acidificación del agua del mar que determinan el grado de absorción de dióxido de carbono por parte del océano o las partículas de aerosoles que

interactúan en la atmósfera con los gases de efecto invernadero, potenciando o reduciendo su poder de calentar la Tierra.

Estas mejoras en la simulación permitirán, en teoría, hacer predicciones climáticas más rigurosas. Sin embargo, en la práctica puede ocurrir lo contrario, que aumente la incertidumbre respecto a un sistema caótico como el clima. Esto es consecuencia de la inclusión de fuentes de retroalimentación amplia, como bosques que pueden crecer o morir, o la tundra que puede liberar grandes cantidades de metano, añadiendo una nueva serie de factores a los que el clima puede responder”. Paralelamente, la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial de la ONU se ha reunido y ha pedido un plan de acción para mejorar los servicios meteorológicos y climáticos del mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo (<http://www.plataformasinc.es>).

En las Figuras 16-17 se presenta el cambio del nivel medio del mar entre el clima actual, definido convencionalmente como 1960-1990, y el clima de finales del siglo 21, proyectado a 2070-2100:

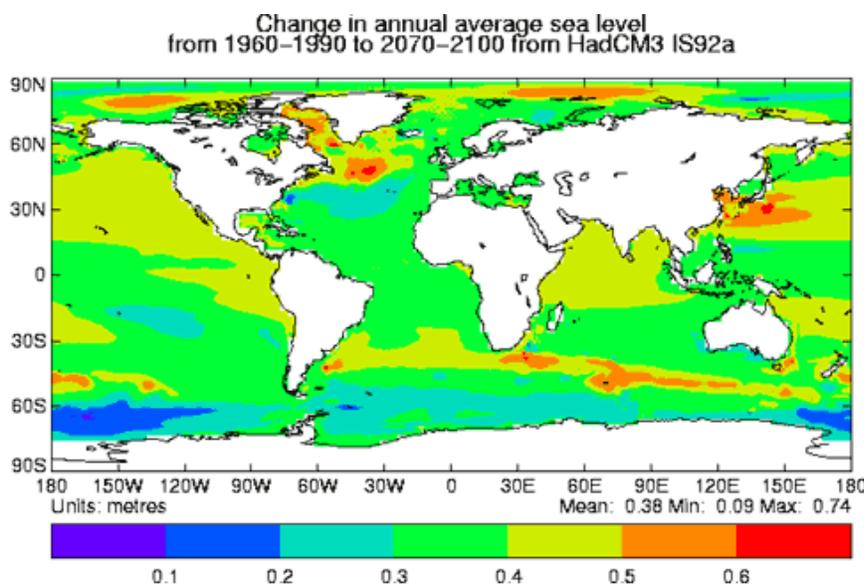


Figura 16 Predicciones del incremento del nivel del mar para el período 2070-2100 con base en datos 1960-1990 por medio del modelo HadCM3 IS92a.

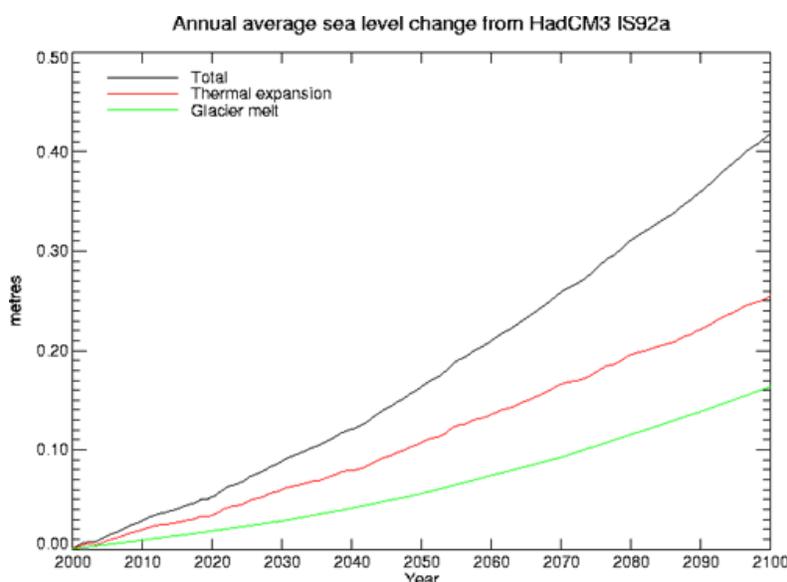


Figura 17. Predicciones del incremento del nivel del mar global según el modelo HadCM3 IS92a para el período 2000-2100. Incremento que puede dar la expansión térmica – línea roja; aporte de los glaciares – línea verde e incremento total, línea negra.

El Centro Canadiense de Modelamiento y Análisis del Clima (CCMAC) ha desarrollado una serie de modelos climáticos, utilizados para estudiar el cambio climático y la variabilidad y para entender los diferentes procesos que regulan el sistema climático.

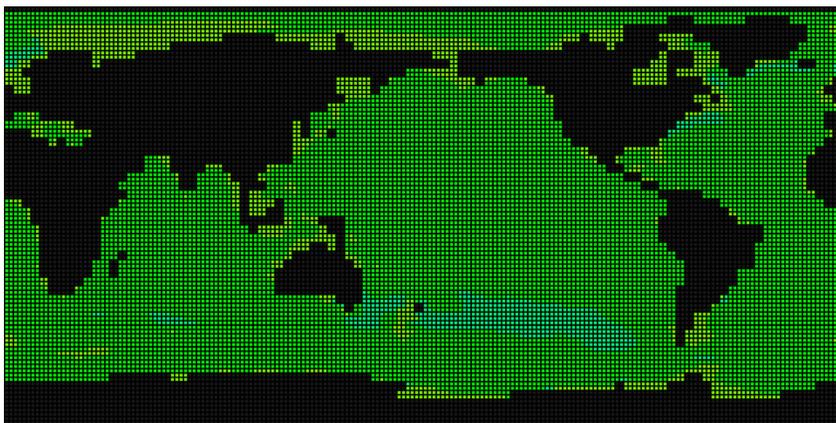
También se usan para hacer proyecciones cuantitativas del futuro cambio climático a largo plazo (teniendo en cuenta diversos gases de efecto invernadero y los escenarios de forzamiento de aerosoles), y cada vez más se generan predicciones, inicializado el clima en escalas de tiempo que van desde estaciones a décadas, (<http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma>).

El Modelo Climático Global Acoplado (MCGA2), se basa en los principios de la primera generación del modelo acoplado del calentamiento mundial, pero con algunas mejoras encaminadas a abordar las deficiencias detectadas en la primera versión.

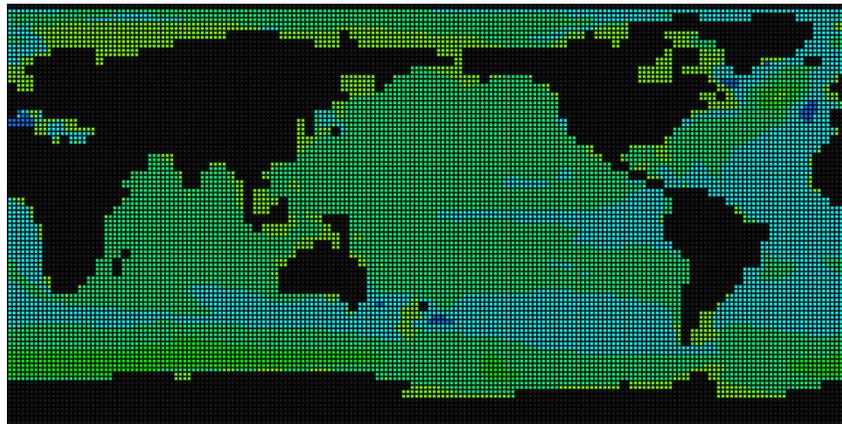
En particular, la parametrización de la mezcla del océano se ha cambiado desde el esquema de difusión horizontal/vertical hasta la resolución de la parametrización isopícnica/remolino; las variaciones de los modelos están relacionadas con nuevas formas de describir movimientos horizontales y verticales con sus respectivos intercambios de calor y sales así como las escalas de turbulencia de acuerdo con la densidad del agua del mar, además se ha incluido la dinámica del hielo marino. Algunas modificaciones técnicas se realizaron en el giro de inicio del océano y el procedimiento de ajuste de flujo. Las mejoras de los modelos también se dan con la entrada de datos del océano y con el acople de información de entrada y salida con la atmosfera (lluvia, evaporación vientos) y la litosfera (ríos, aguas subterráneas y etc).

Los resultados de MCGA2 se utilizaron en el reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Tercer Informe de Evaluación (2001) y en el curso de Evaluación del Impacto Climático Ártico. Los resultados de modelación se presentan en la figuras 18.

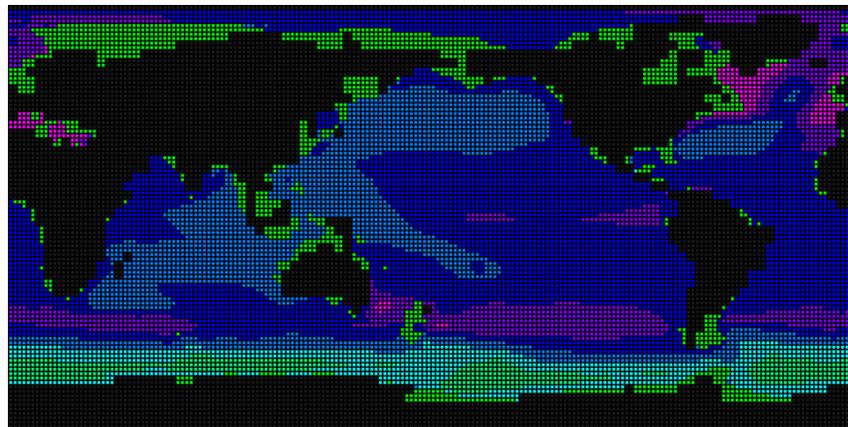
INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR – MODELO MCGA2 (mts.)



Periodo 1991-2000



Periodo 2041-2050



Periodo 2091-2100

■ 0.7; ■ 0.6; ■ 0.5; ■ 0.4; ■ 0.3; ■ 0.2; ■ 0.1; ■ 0; ■ -0.1; ■ -998

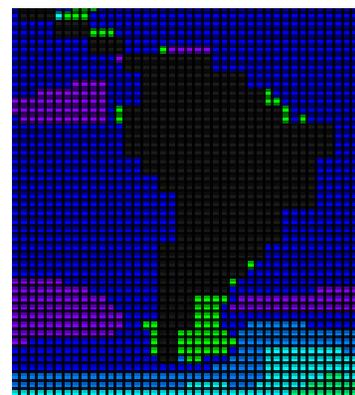


Figura 18. Incremento del Nivel del Mar a nivel global y sobre las Costas Suramericanas, en metros para el período 1991-2000 (Izquierda) y 2041-2050 (centro) y 2091-2100 (Derecha).

■ 0.7; ■ 0.6; ■ 0.5; ■ 0.4; ■ 0.3; ■ 0.2; ■ 0.1; ■ 0; ■ -0.1; ■ -998.

En el marco del informe especial del IPCC sobre Escenarios de Emisiones (IEEE, siglas en inglés SRES) en el escenario A1B para mediados de 2090, por ejemplo, el nivel del mar mundial habrá aumentado entre 0,22 y 0,44 m. con relación a los niveles de 1990, creciendo a una tasa de unos 4 mm/año.

Como ocurrió en el pasado, el cambio del nivel del mar en el futuro no será uniforme geográficamente. Dependiendo de la región, el cambio del nivel varía dentro de $\pm 0,15$ m. aproximadamente, respecto a la proyección del modelo típico.

La expansión térmica proyecta contribuir con más del 50% del incremento medio; por su parte, el hielo pierde masa cada vez más rápidamente, a medida que avanza el siglo. Una incertidumbre importante se atribuye a la descarga de hielo desde los casquetes polares, que seguirá aumentando como consecuencia de la aceleración del hielo que se desprende de los glaciales y va a la deriva, como se ha observado en los últimos años. Esto se suma al ascenso del nivel del mar, pero las proyecciones cuantitativas de la cantidad que se añade, no puede hacerse con exactitud, debido a la limitada comprensión de los procesos involucrados.

La figura 19 muestra la evolución del nivel medio del mar global en el pasado y las proyecciones para el siglo 21, bajo el escenario IEEA A1B (Bindoff et. al, 2007).

Para el período anterior a 1870, no existe información disponible. El sombreado gris muestra la incertidumbre en la tasa estimada a largo plazo del cambio del nivel del mar. La línea roja es una reconstrucción del nivel medio del mar global, a partir de registros de mareógrafos y el sombreado rojo indica la gama de variaciones de una curva suave. La línea verde muestra el nivel medio global del mar observado por altimetría satelital. El sombreado de color azul representa el rango de proyecciones basadas en simulaciones para el escenario A1B del IEEA para el siglo 21, con relación a la media (1980-1999) y ha sido calculado independientemente de las observaciones. Más allá de

2100, las proyecciones dependen cada vez más de los escenarios de emisiones. Durante muchos siglos o milenios, el nivel del mar podría aumentar en varios metros.

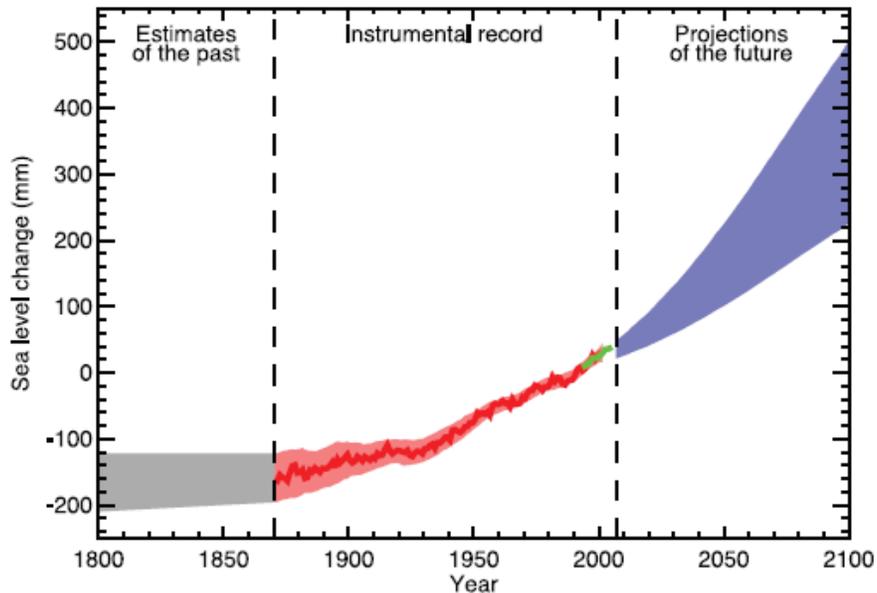


Figura 19. Series temporales de nivel medio del mar global (desviación respecto a la media (1980-1999) en el pasado y su proyección para el futuro.

El agua de mar se calienta y se expande, aumentando el volumen del océano mundial. La expansión térmica mundial promedio, puede ser calculada directamente de los cambios simulados en la temperatura del océano.

Las proyecciones obtenidos para el siglo XXI, están disponibles, para los escenarios A1B, A2 y B1 (Figura 20), a partir de 17 Modelos Océano-Atmosféricos de Circulación General (MOACG) (Fig. 20).

Se utilizó un conjunto de factores para cada modelo y escenario. Las series temporales son más bien suaves en comparación con el promedio mundial de series de temperatura y el tiempo, porque refleja la expansión térmica de almacenamiento de calor en todo el océano, siendo aproximadamente proporcional a la integral de tiempo de cambio de temperatura. (Meehl et al., 2007), es decir, que la proporción de acumulación del calor en el océano es casi similar al lapso de variación de temperatura.

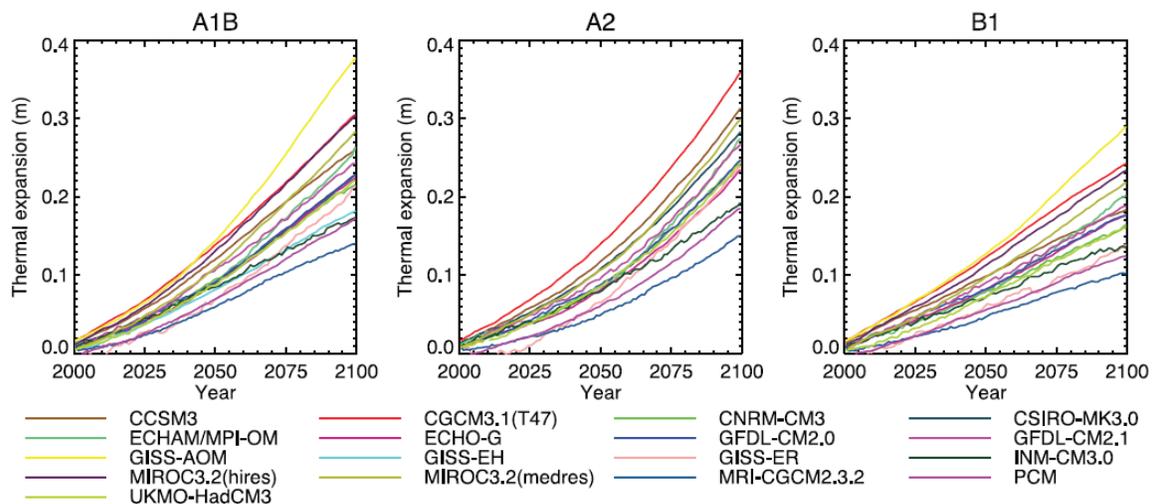


Figura 20. Proyección de aumento promedio mundial del nivel del mar (m) debido a la expansión térmica durante el siglo 21 con relación al promedio (1980-1999), bajo los escenarios A1B, A2 y B1. Ver la Tabla 24 para las descripciones de los modelos.

Según los 17 modelos utilizados para la simulación del nivel del mar para el período 2000-2100, el nivel del mar para el año 2100 debe aumentar entre 0.1 y 0.38 metros dependiendo de los diferentes escenarios de emisión. Algunas de las características de los modelos utilizados, aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Características del modelo

Model ID, Vintage	Sponsor(s), Country	Atmosphere Top Resolution ^a References	Ocean Resolution ^b Z Coord., Top BC References	Sea Ice Dynamics, Leads References	Coupling Flux Adjustments References	Land Soil, Plants, Routing References
1: BCC-CM1, 2005	Beijing Climate Center, China	top = 25 hPa T63 (1.9° x 1.9°) L16 Dong et al., 2000; CSMD, 2005; Xu et al., 2005	1.9° x 1.9° L30 depth, free surface Jin et al., 1999	no rheology or leads Xu et al., 2005	heat, momentum Yu and Zhang, 2000; CSMD, 2005	layers, canopy, routing CSMD, 2005
2: BCCR-BCM2.0, 2005	Bjerknes Centre for Climate Research, Norway	top = 10 hPa T63 (1.9° x 1.9°) L31 Déqué et al., 1994	0.5°-1.5° x 1.5° L35 density, free surface Bleck et al., 1992	rheology, leads Hibler, 1979; Harder, 1996	no adjustments Furevik et al., 2003	Layers, canopy, routing Mahfouf et al., 1995; Doville et al., 1995; Oki and Sud, 1998
3: CCSM3, 2005	National Center for Atmospheric Research, USA	top = 2.2 hPa T85 (1.4° x 1.4°) L26 Collins et al., 2004	0.3°-1° x 1° L40 depth, free surface Smith and Gent, 2002	rheology, leads Briegleb et al., 2004	no adjustments Collins et al., 2006	layers, canopy, routing Oleson et al., 2004; Branstetter, 2001
4: CGCM3.1(T47), 2005	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada	top = 1 hPa T47 (-2.8° x 2.8°) L31 McFarlane et al., 1992; Flato, 2005	1.9° x 1.9° L29 depth, rigid lid Pacanowski et al., 1993	rheology, leads Hibler, 1979; Flato and Hibler, 1992	heat, freshwater Flato, 2005	layers, canopy, routing Verseghy et al., 1993
5: CGCM3.1(T63), 2005		top = 1 hPa T63 (-1.9° x 1.9°) L31 McFarlane et al., 1992; Flato 2005	0.9° x 1.4° L29 depth, rigid lid Flato and Boer, 2001; Kim et al., 2002	rheology, leads Hibler, 1979; Flato and Hibler, 1992	heat, freshwater Flato, 2005	layers, canopy, routing Verseghy et al., 1993
6: CNRM-CM3, 2004	Météo-France/Centre National de Recherches Météorologiques, France	top = 0.05 hPa T63 (-1.9° x 1.9°) L45 Déqué et al., 1994	0.5°-2° x 2° L31 depth, rigid lid Madedec et al., 1998	rheology, leads Hunke-Dukowicz, 1997; Salas-Méila, 2002	no adjustments Terray et al., 1998	layers, canopy, routing Mahfouf et al., 1995; Doville et al., 1995; Oki and Sud, 1998
7: CSIRO-MK3.0, 2001	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Atmospheric Research, Australia	top = 4.5 hPa T63 (-1.9° x 1.9°) L18 Gordon et al., 2002	0.8° x 1.9° L31 depth, rigid lid Gordon et al., 2002	rheology, leads O'Farrell, 1998	no adjustments Gordon et al., 2002	layers, canopy Gordon et al., 2002
8: ECHAM5/MPI-OM, 2005	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	top = 10 hPa T63 (-1.9° x 1.9°) L31 Roeckner et al., 2003	1.5° x 1.5° L40 depth, free surface Marstrand et al., 2003	rheology, leads Hibler, 1979; Semtner, 1976	no adjustments Jungclaus et al., 2005	bucket, canopy, routing Hagemann, 2002; Hagemann and Dumenil-Gates, 2001
9: ECHO-G, 1999	Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of the Korea Meteorological Administration (KMA), and Model and Data Group, Germany/Korea	top = 10 hPa T30 (-3.9° x 3.9°) L19 Roeckner et al., 1996	0.5°-2.8° x 2.8° L20 depth, free surface Wolff et al., 1997	rheology, leads Wolff et al., 1997	heat, freshwater Min et al., 2005	bucket, canopy, routing Roeckner et al., 1996; Dumenil and Todini, 1992
10: FGOALS-g1.0, 2004	National Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG)/Institute of Atmospheric Physics, China	top = 2.2 hPa T42 (-2.8° x 2.8°) L26 Wang et al., 2004	1.0° x 1.0° L16 eta, free surface Jin et al., 1999; Liu et al., 2004	rheology, leads Briegleb et al., 2004	no adjustments Yu et al., 2002, 2004	layers, canopy, routing Bonan et al., 2002
11: GFDL-CM2.0, 2005	U.S. Department of Commerce/ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), USA	top = 3 hPa 2.0° x 2.5° L24 GFDL GAMDT, 2004	0.3°-1.0° x 1.0° depth, free surface Gnanadesikan et al., 2004	rheology, leads Winton, 2000; Delworth et al., 2006	no adjustments Delworth et al., 2006	bucket, canopy, routing Milly and Shmakin, 2002; GFDL GAMDT, 2004
12: GFDL-CM2.1, 2005		top = 3 hPa 2.0° x 2.5° L24 GFDL GAMDT, 2004 with semi-Lagrangian transports	0.3°-1.0° x 1.0° depth, free surface Gnanadesikan et al., 2004	rheology, leads Winton, 2000; Delworth et al., 2006	no adjustments Delworth et al., 2006	bucket, canopy, routing Milly and Shmakin, 2002; GFDL GAMDT, 2004
13: GISS-AOM, 2004	National Aeronautics and Space Administration (NASA)/Goddard Institute for Space Studies (GISS), USA	top = 10 hPa 3° x 4° L12 Russell et al., 1995; Russell, 2005	3° x 4° L16 mass/area, free surface Russell et al., 1995; Russell, 2005	rheology, leads Flato and Hibler, 1992; Russell, 2005	no adjustments Russell, 2005	layers, canopy, routing Abramopoulos et al., 1988; Miller et al., 1994
14: GISS-EH, 2004		top = 0.1 hPa 4° x 5° L20 Schmidt et al., 2006	2° x 2° L16 density, free surface Bleck, 2002	rheology, leads Liu et al., 2003; Schmidt et al., 2004	no adjustments Schmidt et al., 2006	layers, canopy, routing Friend and Kiang, 2005
15: GISS-ER, 2004	NASA/GISS, USA	top = 0.1 hPa 4° x 5° L20 Schmidt et al., 2006	4° x 5° L13 mass/area, free surface Russell et al., 1995	rheology, leads Liu et al., 2003; Schmidt et al., 2004	no adjustments Schmidt et al., 2006	layers, canopy, routing Friend and Kiang, 2005
16: INM-CM3.0, 2004	Institute for Numerical Mathematics, Russia	top = 10 hPa 4° x 5° L21 Aksekov et al., 1998; Galín et al., 2003	2° x 2.5° L33 sigma, rigid lid Diansky et al., 2002	no rheology or leads Diansky et al., 2002	regional freshwater Diansky and Volodin, 2002; Volodin and Diansky, 2004	layers, canopy, no routing Aksekov et al., 1996; Volodin and Lykosoff, 1998
17: IPSL-CM4, 2005	Institut Pierre Simon Laplace, France	top = 4 hPa 2.5° x 3.75° L19 Houadin et al., 2005	2° x 2° L31 depth, free surface Madedec et al., 1998	rheology, leads Fichefet and Morales Maqueda, 1997; Goussé and Fichefet, 1999	no adjustments Marfí et al., 2005	layers, canopy, routing Kjinner et al., 2005
18: MIROC3.2(hires), 2004	Center for Climate System Research (University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), Japan	top = 40 km T106 (-1.1° x 1.1°) L56 K-1 Developers, 2004	0.2° x 0.3° L47 sigma/depth, free surface K-1 Developers, 2004	rheology, leads K-1 Developers, 2004	no adjustments K-1 Developers, 2004	layers, canopy, routing K-1 Developers, 2004; Oki and Sud, 1998
19: MIROC3.2(medres), 2004		top = 30 km T42 (-2.8° x 2.8°) L20 K-1 Developers, 2004	0.5°-1.4° x 1.4° L43 sigma/depth, free surface K-1 Developers, 2004	rheology, leads K-1 Developers, 2004	no adjustments K-1 Developers, 2004	layers, canopy, routing K-1 Developers, 2004; Oki and Sud, 1998

Model ID, Vintage	Sponsor(s), Country	Atmosphere Top Resolution ^a References	Ocean Resolution ^b Z Coord., Top BC References	Sea Ice Dynamics, Leads References	Coupling Flux Adjustments References	Land Soil, Plants, Routing References
20: MRI-CGCM2.3.2, 2003	Meteorological Research Institute, Japan	top = 0.4 hPa T42 (-2.8° x 2.8°) L30 Shibata et al., 1999	0.5°-2.0° x 2.5° L23 depth, rigid lid Yukimoto et al., 2001	free drift, leads Mellor and Kantha, 1989	heat, freshwater, momentum (12°S-12°N) Yukimoto et al., 2001; Yukimoto and Noda, 2003	layers, canopy, routing Sellers et al., 1986; Sato et al., 1989
21: PCM, 1998	National Center for Atmospheric Research, USA	top = 2.2 hPa T42 (-2.8° x 2.8°) L26 Kiehl et al., 1998	0.5°-0.7° x 1.1° L40 depth, free surface Maltrud et al., 1998	rheology, leads Hunke and Dukowicz 1997, 2003; Zhang et al., 1999	no adjustments Washington et al., 2000	layers, canopy, no routing Bonan, 1998
22: UKMO-HadCM3, 1997	Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met Office, UK	top = 5 hPa 2.5° x 3.75° L19 Pope et al., 2000	1.25° x 1.25° L20 depth, rigid lid Gordon et al., 2000	free drift, leads Cattle and Crossley, 1995	no adjustments Gordon et al., 2000	layers, canopy, routing Cox et al., 1999
23: UKMO-HadGEM1, 2004	Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met Office, UK	top = 39.2 km -1.3° x 1.9° L38 Martin et al., 2004	0.3°-1.0° x 1.0° L40 depth, free surface Roberts, 2004	rheology, leads Hunke and Dukowicz, 1997; Semtner, 1976; Lipscomb, 2001	no adjustments Johns et al., 2006	layers, canopy, routing Essery et al., 2001; Oki and Sud, 1998

Fuente: Randall et al., 2007

10. CONCLUSIONES

El actual ascenso de nivel del mar ha ocurrido a una tasa media de 1,8 mm/año desde el último siglo y, recientemente durante 1993-2003, a tasas estimadas entre $2,8 \pm 0,43$ y $3,1 \pm 0,74$ mm/año, que serían parcialmente consecuencia del calentamiento global.

En el informe del IPCC de 2007, se sugiere que los niveles del mar podrían ascender entre 19 y 59 cm hacia finales de este siglo, dependiendo de los seis posibles escenarios de emisión que podrían ocurrir en el futuro.

En comparación con los valores que se tenían en 1990, las proyecciones del NMM hasta 2100 según el IPCC, con observaciones mareográficas y satelitales del nivel del mar desde 1990, oscilan entre 9 y 88 cm, con un promedio de 48 cm.

Según la información que tiene la NOAA de las estaciones de observación del nivel del mar en la costa occidental del sur América, se registra ascenso del nivel del mar.

La tendencia general en el puerto de Tumaco de acuerdo con las observaciones del IDEAM en los últimos 57 años es de carácter descendente con una tasa de 2.4 mm/año.

La tendencia general en el puerto de Buenaventura de acuerdo con las observaciones del IDEAM en los últimos 57 años es de carácter ascendente con una tasa de 0.3 mm/año.

La tendencia general en el puerto de Cartagena de acuerdo con las observaciones del IDEAM en los últimos 42 años es de carácter ascendente con una tasa de 3.6 mm/año.

Según los diferentes modelos acoplados globales con diferentes escenarios, el nivel del mar mundial habrá aumentado entre 0,1 y 0,4 m durante el siglo 21, con relación a los niveles de 1980-1999.

11. BIBLIOGRAFÍA

ANNALS OF GLACIOLOGY, Volume 36, Selected papers from the International Symposium on Fast Glacier Flow. held at Yakutat, Alaska, U.S.A. 10-14 June 2002.

ARENDRT, AA; et al. (July 2002). "Rapid Wastage of Alaska Glaciers and Their Contribution to Rising Sea Level". *Science* 297 (5580): 382–386. doi:10.1126/science.1072497. PMID 12130781

BINDOFF, N.L., J. WILLEBRAND, V. ARTALE, A. CAZENAVE, J. GREGORY, S. GULEV, K. HANAWA, C. LE QUÉRE, S. LEVITUS, Y. NOJIRI, C.K. SHUM, L.D. TALLEY AND A. UNNIKRISSHANN, 2007: Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

BOYER, T. and S. LEVITUS. 1994. Quality control and processing of historical oceanographic temperature, salinity, and oxygen data. NOAA Technical Report NESDIS 81. 64 p.

CHURCH, J. A. Y NEIL J. WHITE, 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 33, L01602, 4 PP., 2006

DOUGLAS, B.C. and W. R. PELTIER (2002). "The Puzzle of Global Sea-Level Rise" ([dead link] – Scholar search). *Physics Today* 55 (3): 35–41. doi:10.1063/1.1472392. Archived from the original on 13 February 2005. Retrieved 24 March 2005.

DYURGEROV, Mark. 2002. Glacier Mass Balance and Regime: Data of Measurements and Analysis. INSTAAR Occasional Paper No. 55, ed. M. Meier and R. Armstrong. Boulder, CO: Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado. Distributed by National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO. A shorter discussion is at.

MILLER L. and B.C. DOUGLAS (2004). "Mass and volume contributions to twentieth-century global sea level rise". *Nature* 428 (6981): 406–409. doi:10.1038/nature02309. PMID 15042085.

MEEHL, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper,, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate, Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S.,D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Projections of Global Average Sea Level Change for the 21st Century Chapter 10, p 820

MUNK W. (2002). "Twentieth century sea level: An enigma". Geophysics 99 (10): 6550–6555.

http://es.wikipedia.org/wiki/Subida_del_nivel_del_mar

http://nsidc.org/sotc/sea_level.html

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11002>

<http://rdipress.com/un-modelo-climatico-mejorado-para-hacer-predicciones/>

<http://tidesandcurrents.noaa.gov>

<http://www.cmar.csiro.au>

<http://www.dsostenible.com.ar>

<http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/>

<http://www.epa.gov/climatechange/science/recentstlc.html>

http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/vol4/spanish/075.htm

<http://www.plataformasinc.es/>

<http://www.pol.ac.uk/psmsl/longrecords/longrecords.html>