

Visión retrospectiva sobre el cambio climático: el alcantarillado de Barcelona

Revisiting climate change: the Barcelona drainage system

Ramón Vázquez García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Área de Consultoría y Desarrollo de AUDING. rvazquez@auding.com

Resumen: El año 1984, durante la redacción del Plan de Alcantarillado de Barcelona, el Ajuntament de Barcelona daba un salto cualitativo en materia de planificación de redes de alcantarillado, incorporando diferentes métodos que suponían una innovación en el ámbito del estado español, tales como el empleo sistemático de modelos matemáticos de simulación, la utilización de depósitos de retención de aguas pluviales, o el empleo de criterios de control en tiempo real para el diseño. El nivel y precisión de los trabajos suponía considerar con detalle los aspectos climatológicos, como las lluvias previsibles y, también, la evolución del nivel del mar. 25 años después podemos revisar cuales eran las previsiones entonces, y realizar un balance práctico.

Palabras Clave: Cambio climático; Alcantarillado; Nivel del mar; Barcelona

Abstract: During the preparation of the 1984 Barcelona Master Drainage Plan, the City's technical services incorporated several innovative methods with respect to those commonly employed around the country at the time. This entailed the systematic mathematical modelling of the drainage network, the use of stormwater collectors and real time control criteria. The accuracy and quality of the work required a detailed evaluation of climate aspects such as rain forecasting or sea level evolution. 25 years further on we are now in position to review these previsions and draw down some practical conclusions.

Keywords: Climate change; Drainage; Sea level; Barcelona

Introducción

Tratamos el asunto del diseño de la red de alcantarillado de Barcelona que, ya en 1984, preveía un gran desarrollo infraestructural de cara a la transformación urbana del frente marítimo de Barcelona, con ocasión de los Juegos Olímpicos del 92. Y, en concreto, de la incertidumbre derivada, no ya de la lluvia, sino de cuál debería ser el nivel del mar a tener en cuenta como cuota de entrega de los colectores, en previsión de sus posibles variaciones en los años futuros.

Hace 25 años ya existían estudios que, a su vez, citaban estudios aún más pretéritos, sobre la influencia que tenía, y seguiría teniendo, la emisión de ciertos gases a la atmósfera sobre la temperatura a nivel del suelo. Se denominaba "efecto invernadero" (*greenhouse effect*).

En la Unidad de Saneamiento del Ayuntamiento de Barcelona, encargada en el año 1984 de la planificación del alcantarillado de la ciudad, se recolectó en aquel entonces información sobre el estado de situación al respecto, tomando finalmente una deci-

Introduction

This article considers the design of the Barcelona drainage system prepared back in 1984 prior to the vast infrastructural development entailed in the urban transformation of the city's sea front in preparation for the 1992 Barcelona Olympic Games. The uncertainties involved in the design of the drainage system did not purely relate to rainwater, but also involved the sea level and possible variations over future years.

In 1984 there were already many studies that, in turn, referred to even earlier and more indicative studies regarding the present and ongoing effect of the emission of certain gases into the atmosphere on the Earth's surface temperature. The infamous greenhouse effect.

When the Barcelona City Council Drainage Department was entrusted with the planning of the city's drainage system in 1984, it gathered as much information as possible on the state-of-the-art at the time, before coming to a decision which, in hindsight and twenty-five years later, appears to have been

sión que, por el momento, parece que resultó afortunada, visto veinticinco años después: no considerar ningún cambio de nivel del mar en el diseño de la red. Hay que advertir que no tenemos aún la última palabra, ya que la vida útil de una infraestructura de este calibre puede ser superior a los 50 años (vida "fiscal" de la obra), y de hecho lo es en la mayoría de colectores de la ciudad de Barcelona, donde existen tramos pertenecientes a la época medieval, así como un conjunto considerable de tramos pertenecientes a finales del siglo XIX, casi todos ellos coetáneos del movimiento higienista que barría Europa, e impulsados por el ingeniero de caminos Pere García Faria.

Se describen en este artículo las valoraciones realizadas, así como las incertidumbres que existieron, y siguen existiendo, si bien algunos datos muestran tendencias distintas a las anunciadas. En el fondo, esta revisión sobre el caso concreto del diseño del alcantarillado nos lleva a un dilema clásico en ingeniería civil, así como en la administración de los recursos públicos, que es el de la asignación óptima de recursos en condiciones de incertidumbre. No resulta fácil substraerse a las corrientes de opinión que están ética, y teleológicamente, bien fundadas, pero que dan por ciertas hipótesis estadísticamente no contrastadas; pero hay que hacerlo cuando se trata de administrar correctamente los fondos públicos, y estar dispuesto a rendir cuentas por ello.

Datos sobre el efecto invernadero en 1984

En 1984 se solicitó información, desde la Unidad de Saneamiento del Ayuntamiento de Barcelona, a la *Environmental Protection Agency* de los Estados Unidos (la agencia de protección ambiental norteamericana, en adelante USEPA), información referida a la constancia de una variación al alza en los niveles del mar debida al efecto invernadero, así como referente a criterios de buena práctica para tenerla en cuenta en el diseño de sistemas de drenaje.

A través del profesor Chin Y. Kuo de Universidad Politécnica de Virginia, coordinador de la División de Hidrosistemas, a quien se le habían formulado algunas consultas en materia de drenaje, se entró directamente en contacto con quien entonces estaba a cargo, dentro de la USEPA, del llamado Proyecto Elevación del Mar (*Sea Level Rise Project*), James G. Titus. Amablemente, tanto Titus, como Kuo, aportaron infor-



correct. This decision being to ignore potential changes in sea level in the design of the system. However, we have not yet had the last word as the useful life of an infrastructure of this nature may be over 50 years (the serviceable life of the works) and this is amply demonstrated by the majority of sewers in the city of Barcelona and where there are still sections going back to the Middle Ages, as well as a considerable amount of sewers built at the end of the 19th century in the wake of the hygienist movement then sweeping Europe and championed by the civil engineer Pere Garcia Faria.

This article describes the appraisals made and the uncertainties that existed, and continue to exist, even though there are some signs of different trends to those originally established. This review, in the specific case of drainage design, reveals the classic dilemma in civil engineering and in the administration of public funds with regard to the optimum assignment of resources under uncertain conditions. It is difficult to resist currents of opinion that, while well founded in ethical and teleological terms, are based on statistically unverified hypotheses, when this is considered necessary for a correct administration of public funds and when it is necessary to account for ones actions.

Information on the greenhouse effect in 1984

In 1984 Barcelona City Council's Drainage Department requested information from the United States Environmental Protection Agency (EPA) regarding evidence of rising sea levels as a result of the greenhouse effect together with criteria of good practice in order to take this into account in the design of drainage systems.

Professor Chin Y. Kuo, professor and coordinator of Hydrosystems at the Virginia Polytechnic Institute and



mación, e incluso invitaron a una escueta participación en el desarrollo del proyecto de la USEPA, aportando la visión al respecto desde Barcelona, como parte de un muestreo a escala mundial.

La información recibida se fundamentaba en el trabajo de la Academia de Ciencias Nacional norteamericana, NAS, titulado *Changing Climate* (1), así como en un trabajo propio de la USEPA (2) dedicado al impacto climático del incremento atmosférico de dióxido de carbono sobre la hidrología y la disponibilidad de agua en los Estados Unidos.

Ya era sabido, desde finales del siglo XIX, que el dióxido de carbono y el vapor de agua en la atmósfera, que son los dos principales “gases invernadero”, contribuyen, afortunadamente, al calentamiento del planeta, absorbiendo la radiación infrarroja emitida por éste. De no ser así, la temperatura existente quizás no habría permitido las mismas formas de vida, pues sería, aproximadamente, 30°C más fría de lo que es ahora.

Para hacernos una idea de los órdenes de precisión manejados, se hablaba de que la concentración de gases invernadero se doblaría respecto a los valores de 1984, en algún instante temporal entre los años 2050 y 2100, lo que supondría un incremento de temperatura consecuente de entre 1,5°C y 4,5°C en la superficie terrestre. Con base en este aumento, se suponía que la dilatación del volumen de agua de mar, por aumento de temperatura, más la fusión de los glaciares en las montañas, los de Groenlandia, y el deshielo de la Antártica, supondrían una elevación del nivel del mar en todo el globo.

La tabla 1 muestra algunas de las previsiones existentes entonces en cuanto a la elevación del nivel del mar. Eran previsiones a escala global, dada la dificultad para realizar previsiones regionales o locales. En Barcelona se interpretó la previsión de Hoffman (USEPA) como la que representaba la tendencia central de las analizadas, es decir, entre 25 y 40 cm para

State University, who had been consulted on several occasions regarding drainage aspects, directly contacted James G. Titus, the then head of the Sea Level Rise Project at the EPA. Both Titus and Kuo kindly provided information and the department was invited to take a modest part in the development of the EPA project by providing a report from Barcelona, as part of a worldwide sample.

*The information received was based on work by the US National Academy of Sciences (NAS), titled *Changing Climate*(1), and on work by the EPA (2) dedicated to potential climatic impacts of increasing atmospheric CO2 on water availability and hydrology in the United States.*

Ever since the end of the nineteenth century it has been known that carbon dioxide and water vapour in the atmosphere, the two main greenhouse gases, are essential to the warming of the planet as these absorb and emit infrared radiation. Without these gases, the temperature of the Earth would probably not have allowed the development of the same life forms as it would be approximately 30°C colder than it is now.

To get some idea of the level of precision at the time, it was said that at some point between 2050 and 2100 the concentration of greenhouse gases would double with respect to the figures for 1984, which would lead to an ensuing rise in the surface temperature of between 1.5°C and 4.5°C. It was then taken that the volume of seawater would expand as a result of this rise in temperature and that this together with the melting of mountain glaciers and the Greenland and Antarctic ice sheets would cause a rise in sea levels throughout the world.

Table 1 shows some of the forecasts that were available at the time regarding the rise in sea level. These were global forecasts on account of the difficulty in making regional or local forecasts. In Barcelona, the Hoffman projection (EPA) was taken to represent the mean trend of all those analysed, that is to say between 25 and 40 cm for 2025, and this was taken as the hypothesis to be accepted or rejected.

In April 2009, and after various reports which estimated different fluctuation ranges, the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, a panel of experts reporting to the United Nations) maintained the forecast that, from now to the end of this century, the average rise in the Earth’s sea level would be between 28 to 43 cm, that is to say practically the same prediction as that made back in

Tabla 1. Previsiones de evolución del nivel del mar a nivel global/ Table 1: Projected sea level rises on a global scale

| Organismo/Organization | Científico/Scientist | Publicación/Publication | Año/Year Publ. | Incremento/Increase | Año prev./ Forecast year |
|------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------|---------------------|--------------------------|
| National Academy of Sciences | Revelle | Changing Climate | 1983 | 70 cm. | 2080 |
| USEPA/EPA | Hoffman, et al. | Projecting future sea level rise | 1983 | de 25 a 40 cm | 2025 |
| USEPA/EPA | Hoffman, et al. | Projecting future sea level rise | 1983 | de 91 a 136 cm* | 2075 |

* sin descartar la probabilidad de que el rango llegase a ser entre 38 y 211 cm/ * without discarding the possibility that the range be between 33 and 211 cm.

el año 2025, y se consideró como la hipótesis a aceptar o rechazar.

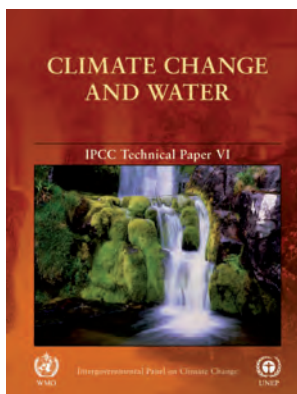
En abril de 2009, después de varios informes en los que se estiman diferentes rangos de oscilación, el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, panel de expertos liderado por la ONU) mantiene la previsión de que, de ahora al final del siglo XXI, es decir, el año 2100, el incremento promediado del nivel del mar en la Tierra estará en el rango de 28 a 43 cm, es decir, prácticamente la misma previsión que en 1983 se hacía sobre el 2025 por parte de la USEPA (3). La investigadora Svetlana Jevrejeva, del Laboratorio Oceanográfico Proudman (POL, Proudman Oceanographic Laboratory), cercano a Liverpool, mantiene que el rango de estimación para la misma fecha (2100) está entre 80 cm y 150 cm (4), en coincidencia con el investigador alemán Stefan Rahmstorf (5) que, usando una metodología diferente a la de Jevrejeva, establece un rango parecido: entre 50 cm y 140 cm. Ambos triplican, aproximadamente, las estimaciones del IPCC. Es decir, nos encontramos prácticamente en la misma situación de dispersión de estimaciones que hace 25 años, no habiéndose producido una mejora de precisión.

Enfoque de la decisión

La toma de decisión en cuanto a aceptar, o rechazar, la hipótesis de elevación de entre 25 y 40 cm, se debía fundar en la valoración de cuál era el coste de rechazarla, y cuál era el coste de aceptarla.

Para ello era necesario realizar las tareas expresadas en la tabla 2.

Yendo a las distintas tareas en detalle, y comenzando con la descripción de qué comportaba el he-



1983 for the year 2025 by the EPA (3). Svetlana Jevrejeva of the Proudman Oceanographic Laboratory (POL) near Liverpool, maintains that the forecast range for the same date (2100) is between 80 cm and 150 cm (4), which coincides with the figures given by the German researcher Stefan Rahmstorf (5) who, while employing a different methodology from that of Jevrejeva, establishes a similar range: between 50 cm and 140 cm. Both of these predictions are high on three times the

IPPC estimates. This then means that we are practically at the same rate of approximation as 25 years ago and there has not been any ensuing improvement in accuracy.

Basis for decision

The decision on whether to accept or reject the hypothesis of rise in sea level of between 25 and 40 cm has to be based on an evaluation of the cost implied in rejecting the hypothesis and that implied by accepting the same.

It was subsequently necessary to conduct the exercises indicated in table 2

When examining each of these exercises in detail and beginning with a description of that entailed by accepting the hypothesis concerning sea level rise, and where this be proved incorrect, we may state the following

A.1. Modelling of scenarios. The Barcelona drainage system was modelled by the Ottawa Hydrological Model (OTTHYMO) which was an adaptation for urban basins made by the University of Ottawa from the classic HYMO and

Tabla 2. Cómputos necesarios para cálculo de costes/*Table 2: Considerations for cost calculations*

Aceptar hipótesis de elevación/*Accepting sea level rise hypothesis*

- A.1. Modelar sensibilidad a distintas cotas de entrega de colectores y hietogramas mayorados
A.1 Model sensitivity to different levels of runoff to collectors and increased hietograms
- A.2. Redefinición de plantas y rasantes del sistema de drenaje en zona costera
A.2 Redefinition of plans and levels of the coastal drainage system
- A.3. Introducción de sistemas de bombeo de pluviales
A.3 Introduction of rainwater pumping systems
- A.4. Incorporación de automatismos, y sistemas telecomandados de control (compuertas, etc.)
A.4 Incorporation of automated and remote control systems (sluices, etc)
- A.5. Posible redefinición de rasantes, anchos, y bombeos de viales
A.5 Possible redefinition of levels, widths and pumping of roadways
- A.6. Presupuesto de adecuación del sistema de drenaje a distintos escenarios de subida de nivel
A.6 Cost of adapting the drainage system to different potential rises in level.

Rechazar hipótesis de elevación/*Rejection of sea level rise hypothesis*

- R.1. Modelar sistema ante distintos escenarios de subida de nivel; cálculo de zonas inundables
R.1. Modelling of system according to different rises in sea level; calculation of flood zones
- R.2. Estimación de daños directos incrementales
R.2 Evaluation of direct incremental damages
- R.3. Estimación del coste de adecuación posterior en distintos horizontes temporales
R.3 Estimate of subsequent cost of adaptation for time horizons

cho de aceptar la hipótesis de elevación, y que fuese falsa, podemos citar:

A.1 *Modelación de escenarios.* El sistema de alcantarillado de Barcelona se estaba modelando con el programa de simulación hidrológica OTTHYMO (Ottawa Hydrological Model), que era una adaptación a cuencas urbanas del clásico HYMO, realizado por la Universidad de Ottawa, y aplicado por entonces en distintas ciudades canadienses de Ontario (por ejemplo, en el entorno de Toronto), y también en algunas ciudades suizas, derivado de la colaboración de la Universidad de Ottawa con el Politécnico de Lausana. El modelo presentaba la ventaja de su versatilidad y rapidez de aplicación, característica de muchos modelos hidrológicos, y por ello se escogió como herramienta de planificación, donde es necesario investigar muchas alternativas. Pero no era adecuado para la simulación de efectos hidrodinámicos, o para la simulación de la respuesta ante operación de actuadores, como compuertas o sistemas de bombeo telecomandados. Por otra parte,

applied to different cities in Ontario (such as the Toronto area) and also to a number of Swiss cities, following collaboration between the University of Ottawa and the Lausanne Polytechnic. The model had the advantage of speed and versatility of application, characteristic of many hydrological models, and was subsequently selected as a planning tool in those cases where it was necessary to study many alternatives. However, it was not suitable for the simulation of hydrodynamic effects or for simulating response to actuators such as remote-controlled sluices or pumping systems. Furthermore, and with regard to the simulation method, the creation of synthetic hietograms referring to increase in gross rainfall, without knowing whether this implied the "peak" of the hietograms or a greater frequency of appearance, was by no means insignificant given the speed of response of the modelled basins with little capacity for lamination. The option to go for the "peak" of the hietograms could have serious consequences.

en cuanto a la metodología de simulación, la generación de hietogramas sintéticos que atendiesen a un incremento de precipitación bruta, sin saber si eso significaba "apuntamiento" de hietogramas, o mayor frecuencia de aparición, no era un problema menor, dada la velocidad de respuesta de las cuencas simuladas, con poca capacidad de laminación. Inclinar por un "apuntamiento" de hietogramas tenía graves consecuencias.

A.2. Redefinición de geometría de red. La parte de la red afectada de forma esencial por las posibles variaciones de las cotas de entrega a mar es el tercio inferior de las 10.000 ha que tiene la ciudad de Barcelona; obviamente el tercio próximo a línea de costa. En esa banda urbana, los gálibos disponibles para levantar la cota de cubeta de los colectores eran exiguos, y en algún caso la ampliación de las ya de por sí enormes secciones multicelulares en que consistían los colectores era inviable por insuficiencia de ancho bajo vial, excepción hecha de ir a soluciones bajo edificación.

A.3. Bombeos pluviales. La introducción de bombeos de aguas pluviales, para casos en los que fuese imposible encontrar soluciones de drenaje por gravedad, no era una decisión irrelevante. Estamos hablando de caudales que se situaban en torno a los 100 m³/s por cada eje drenante principal. Confiar la evacuación de un caudal de ese calibre a sistemas de bombeo significaba optar por soluciones costosas de implantación, de difícil ubicación por los condicionantes de espacio adecuado "ambientalmente", y de un cierto coste posterior de operación. Ya queda dicho, en A.1, que su estudio no resultaba fácil, dada la complejidad de simulaciones hidrodinámicas involucradas: el modelo empleado no permitía una "simulación segregada", sino una "simulación agregada" por subcuencas de todo el sistema de drenaje ante diferentes escenarios de tormenta.

A.4. Sistemas telecontrolados. En los trabajos de planificación se estaban poniendo las bases para soluciones que se fundamentasen en la llamada corriente RTCUDS (Real Time Control of Urban Drainage Systems), cuya culminación fue la creación de la empresa CLABSA (Clavegueram de Barcelona, S.A.), pionera en la implantación de ese tipo de soluciones en el país. De todos modos, la precisión exigida para definir, con cierta solvencia técnica, emplazamientos de sensores y actuadores,



A.2. Redefinition of the geometry of the network. The proportion of the network essentially affected by possible variations in sea levels is that of the lower third of the 10,000 ha area of the city of Barcelona; and obviously the third adjacent to the coast. In this urban strip, the clearances available for the raising of catch basins was very tight and in some cases the enlargement of multi-cell culverts that were already very large was unviable due to the lack of width below roadways, except in the case of under-building solutions.

A.3. Rainwater pumps. The introduction of rainwater pumping in those cases where it was impossible to employ gravity drainage solutions, was not a decision to be taken lightly. We are speaking of flows of around 100m³/s for each main drain axis. Any pumping system introduced to remove these types of flows would be both expensive and awkward to introduce on account of restricted space and entail certain running costs. Reference has already been made in A.1 to the difficulty entailed in the study on account of the complexity of the hydrodynamic simulations involved: the employed model did not allow a "segregated simulation" and only made it possible to conduct an "aggregate simulation" by sub-basins of the entire drainage system under different storm scenarios.

A.4. Remote controlled systems. The foundations were being laid in planning works for solutions based in what are commonly known as RTCUDS (Real Time Control of Urban Drainage Systems) and this led to the establishment of the CLABSA company (Clavegueram de Barcelona S.A), a pioneer in the introduction of this type of solutions in Spain. In all events, the precision required to define, with a certain technical accuracy, the positioning of sensors and actuators together with precise control algorithms was incompatible with the technical capacity available at the time and there was not

así como los algoritmos de control precisos, no era compatible no con la capacidad técnica de entonces, ni existía suficiente experiencia, como tampoco un conocimiento preciso del comportamiento de la red.

A.5. Redefinición de geometría en superficie. Se valoró la posibilidad de aplicar un enfoque diferente: si bien los colectores podían “quedarse bajos”, en su cota de entrega, quizás las calles no. Por ello se pensó en la utilización de una de las variantes de OTTHYMO, que es aquella que permitía la simulación de sistemas duales (DDS, o “Dual Drainage Systems”). La técnica consistía en definir un “sistema menor”, el propio alcantarillado, y un “sistema mayor”, la propia calle, de forma que la escorrentía fuese liberada por el concurso de ambos sistemas. Eso significaba re-proyectar los viales a modo de canales, con altos bordillos y *gradings* peculiares en los cruces de calzadas, para evitar encharcamientos. Compatibilizar diseños funcionales, con la entonces boyante euforia del “diseño arquitectónico formal”, aplicado a machamarillo al urbanismo, era completamente ilusorio.

A.6. Presupuestos. Casi huelga decir, tras los 5 puntos anteriores, que presupuestar las soluciones ante diferentes escenarios de elevación del mar, para luego ver cuánto se habría gastado de más, en caso de que la hipótesis fuese falsa, no ofrecía ninguna garantía de precisión, dado el insuficiente conocimiento de la red.

En cuanto al análisis de las consecuencias de rechazar la hipótesis de elevación, y que fuese válida, comportaba las siguientes tareas:

R.1. Modelación de escenarios. Valen las mismas observaciones realizadas en A.1., con un agravante. En A.1. bastaba con identificar la capacidad drenante suficiente para que no hubiese inundación, en cualquiera de las alternativas. En este caso, era imprescindible calcular, además, hasta dónde llegaba la inundación por desbordamiento, cosa harto difícil en un época donde los sistemas de información geográfica no presentaban la misma conectividad que hoy día con los paquetes de simulación hidrológica o hidrodinámica, ni tenían las mismas prestaciones.

R.2. Daños directos incrementales. El nivel del mar no subía de golpe, en esa hipótesis de elevación, de modo que había que ir simulando cómo, de forma progresiva, en diferentes horizontes temporales,

sufficient experience or a precise knowledge of the behaviour of the network.

A.5. Redefinition of surface geometry. Consideration was given to the possibility of applying a different focus where the stormwater drains could be set “lower”, but where this was probably not the case of the roadways. This considered the potential use of one of the variations of the OTTHYMO which allowed the simulation of dual drainage systems (DDS). The technique consisted of defining a “minor system” formed by the underground sewers themselves and a “major” system formed by the roads, and where the runoff would be transferred through the combination of both systems. This required the redesign of roads in the manner of channels, with high kerbs and particular grading at junctions to prevent ponding. However, the enthusiasm prevalent at the time for “formal architectural design” –relentlessly applied in all town planning – made this completely incompatible with any functional design.

A.6. Cost. After the five preceding points and in view of the insufficient knowledge of the network, it goes without saying that the costing of solutions for different rises in sea level to establish the largest cost incurred in the event of a false hypothesis, did not offer any degree of accuracy.

With regard to the analysis of the consequences of rejecting the hypotheses of sea level rises, and where this be proved correct, this entailed the following:

R.1. Modelling of scenarios. Here we may make the same observations as those recorded for A.1, though with one aggravating factor. While in A.1. it was sufficient to identify the necessary drainage capacity to prevent a flood under any of the alternatives, in this case it was essential to calculate the extent of the flood caused by overflow. This being an extremely difficult task at a time when geographical information systems were nowhere near as sophisticated as today’s hydrological or hydrodynamic simulation packages and did not offer the same functions.

R.2. Direct incremental damages. The sea level does not rise suddenly, in this elevation hypothesis, and it is then necessary to simulate a gradual rise according to different time horizons with different degrees of flooding according to the elevation at the end of the period and under different rain provisions. The

se alcanzaban distintos grados de inundación, bajo los distintos escenarios de elevación al final de período, y distintas hipótesis de lluvia. La definición de zonas inundadas era imprescindible para calcular, de forma aproximada, los posibles daños generados en inmuebles y negocios afectados, sin entrar ya en la valoración de daños indirectos por interrupciones de tráfico, servicios de emergencias, etc. De ese modo se podían ir simulando los daños directos incrementales que iría generando, año tras año, y de forma progresiva, el hecho del "gasto incremental" por haber rechazado la hipótesis de elevación, tal como se explica en el punto siguiente.

R.3. *Costes futuros de adecuación.* Como, obviamente, el no haber tomado al inicio la decisión de diseñar para la elevación, iría generando daños progresivos en el tiempo, sería necesario presupuestar el coste de adecuación del sistema que se diseñó sin tener presente la elevación, a la evidencia de la elevación de la cota del nivel medio del mar. Habría, además, que estipular distintos momentos previsibles de intervención, es decir, cuando se tomaría en el futuro la decisión de adecuar, en función de algún valor umbral límite. Como se puede comprender, este ejercicio no es algo improvisable.

La incapacidad técnica no es un eximente de responsabilidad, como no debe serlo la incapacidad científica. Pero valga decir que, dadas las limitaciones explicadas de capacidad, resultaba poco viable llegar a determinar un óptimo de decisión mediante las metodologías que se han comentado.

Así que el enfoque para fundamentar la decisión debía ser distinto al de plantear una estrategia óptima, que minorase el efecto negativo de la incertidumbre proveniente del ámbito científico. Y consistió en analizar la verosimilitud de la hipótesis de elevación del nivel del mar.

Verosimilitud de la hipótesis de elevación y decisión final

La verosimilitud de la hipótesis de elevación del nivel medio del mar se juzgó, en aquel momento, tomando como fundamento, prácticamente, el sentido común y un pequeño conocimiento de la dinámica atmosférica, así como en la práctica de estar trabajando continuamente con series temporales de precipitación, sometidas

definition of flood zones was essential in order to make an approximate calculation of the possible damage caused to affected property and business, without considering indirect damage caused by stoppages to traffic, emergency services, etc. In this way it was possible to simulate the incremental direct damage that was progressively caused year on year and the "incremental cost" incurred by rejecting the sea level rise hypothesis, as explained in the following point.

R.3. Future costs of adaptation. The failure to design the system according to the predicted sea level elevation would obviously lead to progressive damage over time and it would be necessary to budget for costs of adapting the system designed without considering such an elevation, in view of any evident rise in the mean sea level. It would also be necessary to establish the different foreseeable time of intervention, that is to say, the time that a decision could be made to adapt the system in the future, in accordance with a limit threshold period, as it is obvious that this is something that cannot just be improvised.

Lack of technical capacity does not serve as exemption from liability and the same applies to scientific incapacity. However, it should be said that, given the said restrictions in terms of capacity, it was unviable to come to an optimum decision by the methods indicated above.

As such, the decision could not be based on the consideration of an optimum strategy and had to be one that offset the negative effect of scientific uncertainty. This then consisted of analysing the likelihood of the hypothesis of rising sea levels.

Likelihood of sea elevation hypothesis and final decision

The likelihood of the hypothesis of rising mean sea levels was weighed, at the time, by using common sense and notions of atmospheric dynamics in association with the department's ongoing work experience of rain time series, subjected to statistical studies and, specifically, the analysis of external values.

1. Variation in range forecasts. The fact that specific forecasts, or foreseeable ranges of variation,

das a estudios estadísticos, en concreto, a análisis de valores extremos.

1. *Varianza de las estimaciones de rango.* El hecho de que las estimaciones concretas, o bien los rangos previsible de variación, oscilasen entre valores tan distantes entre estudios (entre 70 cm y 140 cm para el entorno del año 2075), era un inconveniente para la aceptación de la validez de cualquiera de las estimaciones. Ya entonces se sabía que cualquier pronóstico sobre el clima, a 2 o 3 días vista, era más o menos aceptable, pero a una semana, ya era completamente rechazable. También se conocía entonces el "efecto mariposa", tal como describió el matemático y meteorólogo estadounidense Edward Lorenz: alteraciones mínimas en los valores de las variables iniciales, en una simulación de la circulación atmosférica, resultaban en soluciones ampliamente divergentes. Probablemente estábamos ante ejemplos de esas características.

2. *Variabilidad espacial.* Ninguna de las estimaciones de evolución del nivel medio tenían validez concreta en ningún punto del globo. Eran estimaciones genéricas sobre valores promedio, y todas ellas precavían sobre la incapacidad de realizar precisiones concretas, ni siquiera a escala regional (como, por ejemplo, la región mediterránea). De modo que, tratándose de esa generalidad, bien podía suceder que en el Mediterráneo, no subiese, o incluso bajase, el nivel medio del mar, compensándose esa deriva a la baja con el alza en otras regiones tetráqueas. De hecho ya se presumía que, de existir un incremento de temperatura, algunas partes del globo podían sufrir variaciones contrapuestas en cuanto al régimen de precipitaciones, es decir, que no era que fuese a llover menos, o más, y por igual, en todo el planeta.

3. *Precisión de las estimaciones de deriva térmica.* Hasta 1850 no existe ningún registro de temperaturas; la dendrocronología (espesor de los anillos de los árboles) y la composición isotópica del hielo, son vías indirectas de estimación, con lo cual los datos térmicos asignados a años anteriores a 1850 arrastran un alto error de estimación, dada su génesis "indirecta" y dependiente de multitud de variables no explicitadas en las estimaciones. Cuando las líneas de tendencia se apoyan en datos con alto error, el error de las previsiones se multiplica. Esto es lo que ocurría cuando se intentaba prever intensidades de lluvia,



fluctuated between very different levels according to the study in question (between 70 cm and 140 cm for the 2075 horizon), made it difficult to accept the validity of any of the estimations. It was known at the time that any weather forecast for the following 2 or 3 days was more or less acceptable, but one for the week ahead was totally unacceptable. There was also knowledge of the "butterfly effect", as described by the American mathematician and meteorologist Edward Lorenz: small variations in the conditions of initial variables, in a simulation of atmospheric circulation, produce large variations in the results. The case in hand is probably an example of this.

2. *Spatial variability.* None of the forecasts for the development of the mean level would have specific validity at any single point in the globe. These were generic estimates based on average values and all of these referred to the incapacity to make specific forecasts, even on a regional scale (such as the Mediterranean, by way of example). As this was an overall forecast, it could well be the case that the mean sea level did not rise in the Mediterranean or that it even dropped and that this drop would then be offset by rises in other parts of the world. It was already held that, if there were a rise in temperature, some parts of the Earth would suffer contrasting variations in terms of rainfall and that it would not simply be a case of more or less rain, in a uniform manner, throughout the whole world.

3. *Accuracy of estimates of temperature drift.* No records were kept of temperatures until 1850: dendrochronology (tree dating from the thickness of tree rings) and the isotopic composition of ice, are indirect means of estimation, and the temperature data assigned to years before 1850 incorporate large errors in estimation on account of their "indirect" nature and their dependency on a multitude of variables that are not expressed in the

en las simulaciones de comportamiento del alcantarillado: siendo que no se disponía de pluviómetros de intensidad en Barcelona, excepción hecha de los registros de intensidad del pluviógrafo Jardí, que databan de 1927, resultaba muy difícil confiar en extrapolaciones con registros tan cortos como base de extrapolación.

4. *Exhaustividad de los razonamientos sobre los fenómenos*: la termodinámica atmosférica está representada por un conjunto bastante complejo de ecuaciones diferenciales, sensibles a las condiciones iniciales, las condiciones de contorno, y algunos parámetros constitutivos. El aire húmedo (con vapor de agua), menos pesado que el seco, tenderá a ascender, enfriándose en su ascenso, cosa que puede provocar condensaciones que, a su vez, alteran la temperatura circundante por transferencia de calores latentes.

Estos fenómenos dependen del perfil de temperaturas a través de la capa de 8 km de troposfera, que es la parte más baja de la atmósfera, perfil que muestra un descenso térmico a medida que se gana altitud, si bien existen irregularidades y comportamientos no bien conocidos, tal como describen las medidas realizadas con sondas atmosféricas, y no únicamente dependientes de la temperatura a ras de suelo. La presencia de aerosoles (micropartículas suspendidas en el aire) es esencial en la formación de gotas de agua, como lo es también en cuanto a la evolución térmica en la atmósfera, por no hablar de la formación y presencia de nubes. La mayor, o menor, influencia cuantitativa de estos factores no estaba ni siquiera comentada en las previsiones de efecto invernadero. No existían, a la fecha, descripciones irrefutables sobre los fenómenos que explicarían, debido a la variación térmica, tanto el incremento del nivel del mar, como la variación en el volumen y régimen de precipitaciones a futuro.

En esas circunstancias, se desconocía la probabilidad de error que los científicos asignaban a las previsiones de deriva térmica, los fenómenos explicativos de las consecuencias no estaban firmemente establecidos, y aún queriendo, no se podía asignar un valor de diseño a la elevación concreta del mar en el litoral barcelonés, porque todas las estimaciones eran estimaciones globales. Se decidió, pues, no aceptar la verosimilitud de la elevación del nivel del mar, debido a que la solidez, tanto de los datos esgrimidos, como de los argumentos

estimates. When trend lines are based on data with a high degree of error, the error in the forecast is then multiplied. This is what happened when attempts were made to predict rain intensities in simulations of drainage behaviour as no rainfall intensity gauge recordings were available in Barcelona, with the exception of the Jardí intensity pluviometer which dated back to 1927 and which made it very difficult to trust extrapolations on the basis of such short records.

4. *Thoroughness of reasoning on phenomena*: atmospheric thermodynamics is represented by a fairly complex series of differential equations, sensitive to the initial conditions, boundary conditions and certain constitutive parameters. Moist air (with water vapour) is lighter than dry air and tends to rise and cool during its ascent which may lead to condensation and an, ensuing, change in the surrounding air by the transfer of latent heat.

These phenomena depend on the temperature profile throughout the 8 km layer of the troposphere, the lowest portion of Earth's atmosphere, in a profile that decreases in temperature with altitude though one that also includes certain irregularities and ill-defined behaviour, as shown by the recordings made by atmospheric sensors, and which do not purely depend on the temperature at ground level. The presence of aerosols (microparticles suspended in the air) is essential for the formation of water drops and also for the evolution of the temperature in the atmosphere as well as for the formation and presence of clouds. The greater or lesser quantitative influence of the factors was not even commented upon in the forecasts of the greenhouse effect. At the time, there were no irrefutable descriptions of the phenomena which, as a result of temperature change, explained both the rise in sea level and the variations in the volume and form of rainfall in the future.

Under these circumstances, there was no knowledge of the probability of error assigned by the scientists to forecasts of temperature drift, the phenomena explaining the consequences was not firmly established and, even if they had wanted to, they could not assign a design value to specific rise in sea level on the Barcelona coast, as all the estimates

existentes al respecto, no era homologable a la exigible al resto de trabajos de hidrología y de ingeniería que se llevaban a término.

Variación del nivel del mar en el Mediterráneo Occidental

La preocupación latente sobre el acierto, o error, cometidos al tomar entonces la decisión de no tener en consideración en aquel momento la elevación previsible del mar, ha llevado a intentar verificar cuál ha sido la variación del nivel del mar en Barcelona, desde 1984 hasta el día de hoy, en abril de 2009, tomando datos oficiales.

El Instituto Español de Oceanografía, IEO, dispone de una Red Mareográfica que registra las series históricas del nivel del mar.

Barcelona no dispone de ningún mareógrafo en la red del IEO. El mareógrafo más cercano sería el correspondiente a Palma de Mallorca, con el inconveniente que éste presenta una serie que no alcanza a 1984.

El mareógrafo que presenta una serie continua desde 1984 es el de Ceuta, de modo que se ha realizado un análisis de las series desde ese año, año en que se decidió no tener en cuenta las estimaciones del alza del nivel medio del mar, hasta 2006, que es la última serie anual disponible.

Excepción hecha del año 2004, en que la serie recogía mediciones *decaminutales* (cada diez minutos),

were global estimations. It was subsequently decided not to accept the likelihood of the rise in sea level, as the soundness of the data forwarded and the arguments serving for the same were not up to the standards required for other hydrological and engineering works being conducted at the time.

Variation in sea level in the western Mediterranean

The ensuing concern regarding the correctness or error of the decision not to consider the foreseeable rise in sea level has since led to an attempt to verify the variation in sea level in Barcelona since 1984 to April 2009, on the basis of official records,

The Spanish Institute of Oceanography (IEO) has a Tide Gauge Network that records the historic series of the sea level.

Barcelona does not have a tide gauge within the IEO network and the nearest gauge is that of Palma de Mallorca, though this gauge was not installed in 1984.

The only tide gauge that provides a continuous series of records since 1984 is that of Ceuta and an analysis has been made of the series from this year - when it was decided not to consider the predictions for rises in sea level - up to 2006, the last annual series available at this station.

With the exception of 2004, where the series were recorded at ten-minute intervals, all the other years are based on hourly recordings. These series have been filtered as, on account of their recording format and idle periods during recordings, this did not allow direct and massive data processing.

The results of the analysis may be seen in the table below: in 1984 the MSL (mean sea level) was 0.884 m, fluctuating throughout the year between 0.230 m and 1.570 m, that is to say with a fluctuation range of 1.340 m.

The MSL in 2006 was 0.885, with a fluctuation range of 1.298 m. The variation in mean seal level, 21 years later, is then restricted to 1 mm, after reaching a maximum in 1996, with a rise of 15 mm, and a minimum in 2000, with a fall of 22 mm with respect to the initial starting point for 1984.

When referring to the evolution graphs, and when strictly referring to the reflected data, it is necessary to consider whether the curve should be developed within the band set by the extremes of the variation in mean level, or by the extremes in the variation of maximum

Tabla 3. Datos disponibles de la Red Mareográfica del Instituto Español de Oceanografía/ Table 3. Records from the Tide Gauge Network of the Spanish Institute of Oceanography

| Estación/Station | DAH*/AAH* |
|------------------------|--|
| Algeciras | (1943-1950), (1952-1956), (1961-1978), (1980-2002) |
| Arrecife | - |
| Cádiz | - |
| Ceuta | (1944-2006) |
| A Coruña | (1943-2006) |
| Málaga | - |
| Palma de Mallorca | (1997-2005) |
| Puerto de La Luz | (1991-2006) |
| Santander | (1943-2004) |
| Santa Cruz de la Palma | - |
| Tarifa | (1944-1989), (1991-2005) |
| Vigo | (1943-2004) |

* DAH Disponibilidad de Alturas Horarias/AAH Availability of Hourly Heights Fuente/Source: www.ieo.es/centrodatos.html

el resto de años las mediciones son horarias. Estas series han sido filtradas, dado que el formato de registro, así como los períodos de inactividad del registro, no permiten un tratamiento directo y masivo.

El resultado del análisis puede observarse en la figura adjunta: en el año 1984, el NMM (nivel medio del mar) era 0,884 m, oscilando a lo largo del año entre 0,230 m y 1,570 m, es decir, un rango de oscilación de 1,340 m.

El NMM en 2006 era 0,885 m, con un rango de oscilación de 1,298 m. La variación, 21 años después, del nivel medio del mar se reduce a 1 mm, tras alcanzar un máximo en 1996, con un alza de 15 mm, y un mínimo en 2000, con un descenso de 22 mm sobre el valor de partida de 1984.

Si observamos las gráficas de evolución, ateniéndonos estrictamente a los datos reflejados, tenemos que tener la precaución de distinguir si la curva se desarrolla en el marco acotado por los extremos de variación del nivel medio, o bien por los extremos de variación de los niveles máximo y mínimo anuales. La impresión que se tiene de la evolución del fenómeno es distinta.

También podemos ver que si hubiésemos obviado los datos de 1988, 1996 y 2004 podríamos inferir una tendencia al descenso en la últimas dos décadas, que habría cambiado en los últimos 4 años, restableciendo el nivel original. Si incorporásemos más datos intercalares, podríamos deducir otras tendencias.

Los hechos objetivos son, por un lado, que el NMM al que hemos acudido no es el de Barcelona, sino el de Ceuta, no sabiendo si es suficientemente representativo para su aplicación a la Ciudad Condal, y, por otro lado, si lo fuese, que el NMM en Barcelona presenta osci-

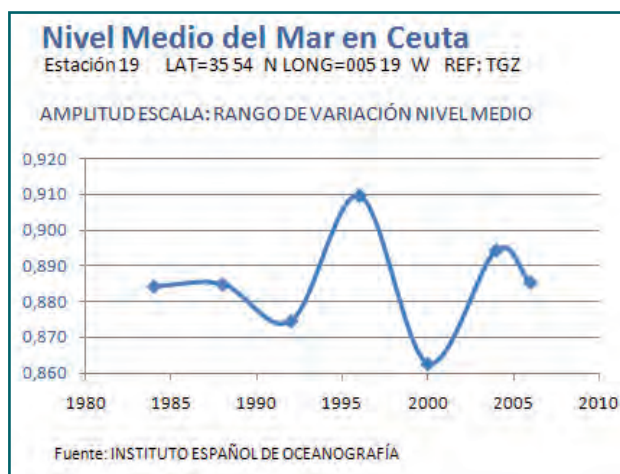
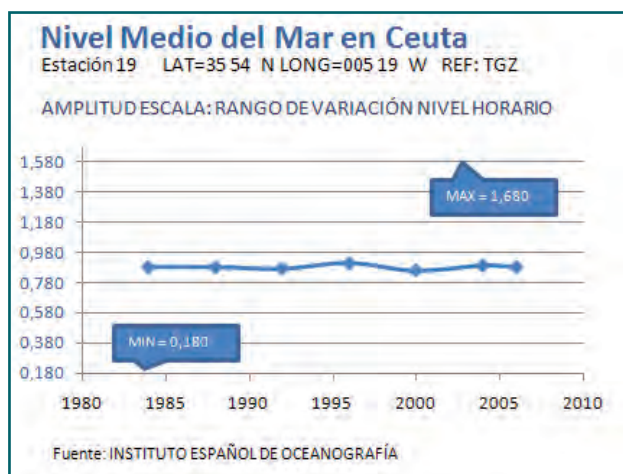
Tabla 4. Niveles del mar en Ceuta
Red Mareográfica del Instituto Español de Oceanografía/
Table 4. Sea levels at the Ceuta Station of the Tide
Gauge Network of the Spanish Institute of Oceanography

| Estación/Station 19 | | LAT=35 54 N LONG=5° 19 W ERF: TGZ | | |
|---------------------|-------|-----------------------------------|--------------|--------------|
| Año /Year | NM/ML | MAX | MIN | Rango/Range |
| 1984 | 0,884 | 1,570 | 0,230 | 1,340 |
| 1988 | 0,885 | 1,520 | 0,180 | 1,340 |
| 1992 | 0,874 | 1,590 | 0,250 | 1,340 |
| 1996 | 0,910 | 1,680 | 0,250 | 1,430 |
| 2000 | 0,863 | 1,501 | 0,214 | 1,287 |
| 2004 | 0,894 | 1,537 | 0,245 | 1,292 |
| 2006 | 0,885 | 1,562 | 0,264 | 1,298 |
| EXTR | | 1,680 | 0,180 | 1,500 |

and minimum annual levels, as our impression of the development of the phenomenon varies according to each perspective.

It may also be seen that if we had ignored the data for 1988, 1996 and 2004, there could then be seen to be a downward trend over the last two decades, which has since changed over the last 4 years to recover the original level. Further trends could also be deduced if we incorporated more collated data.

The facts of the matter are, firstly, that the MSL referred to is not that of Barcelona, but of Ceuta, and it is not known whether this is suitably representative for its application to this city, and, secondly, if this were representative, the MSL in Barcelona would have fluctuated by a maximum of 15 mm, without revealing a



laciones máximas de 15 mm sin presentar una tendencia definida, estando en 2006 prácticamente a la misma cota que estaba 22 años atrás.

Conclusiones

Una visión retrospectiva sobre el cambio climático, tal como se veía hace 25 años, y las consecuencias a que habría conducido su aceptación en el pasado, a la vista de los datos "proxy" existentes, nos conduce a unas conclusiones, lejanas del "glamour" de los paneles de científicos internacionales:

1. Es un hecho incontestable que, en Ceuta, el nivel del mar ha oscilado entre +1,5cm/-2,2 cm, estando ahora en una cota 0,1 cm superior a la de hace 25 años. Puede suceder que la plataforma continental haya sufrido una elevación, o puede suceder que los niveles en Barcelona hayan seguido otra pauta (no se tiene noticia al respecto de algún estudio que ilustre sobre este aspecto), pero el hecho concreto es el valor de máxima oscilación (-22 mm) sería en todo caso del orden de 1/10 del que correspondería a estas fechas, y además en sentido contrario (descenso).
2. Quizás sería conveniente revisar con mayor rigor las formulaciones aquí planteadas, así como los datos manejados, y datos de otras fuentes (por ejemplo, del Puerto de Barcelona) e instalar la instrumentación y el programa de seguimiento adecuado en Barcelona para poder contrastar, en los próximos 25 años, cuál es el comportamiento del nivel; esta iniciativa serviría, sin duda, para elaborar un criterio propio sobre la realidad de la fenomenología implicada, y también constituiría un referente válido para la red internacional de científicos, o expertos, que quisieran tomar en cuenta esas mediciones.
3. Más allá de la constatación de la elevación promedio del nivel del mar en el planeta, es esencial el detalle del ritmo al que lo hace, y en qué sitios en concreto, pues de lo contrario las decisiones sobre desarrollo urbano e infraestructural en las ciudades costeras están huérfanas de criterios firmes y bien fundados; en el caso explicado de Barcelona, quizás el acierto, o la pura suerte, han permitido encontrar un óptimo de inversión hasta la fecha, no invirtiendo más de lo necesario. ¿Y en el futuro?. Ello nos lleva a la siguiente conclusión.

defined trend, and the MSL in 2006 would have been at practically the same level as 22 years earlier.

Conclusions

A retrospective view of climate change, as seen 25 years earlier, and the consequences of accepting earlier forecasts made on the basis of existing proxy data, then leads to conclusions that are very different from those established by international scientific panels:

1. *It is an irrefutable fact that the sea level in Ceuta has fluctuated between +1.5 cm/-2.2 cm, and is now 0.1 cm higher than 25 years ago. It may be the case that the continental platform has risen or that the levels in Barcelona have followed a different course (there are no records of any study to demonstrate the same), though the fact of the matter is that the maximum fluctuation (-22 mm) is still only 1/10 of that corresponding to these dates and, furthermore, is one heading in the opposite direction (drop).*
2. *It would perhaps be preferable to make a more thorough review of the formulations considered in this appraisal, to consider data from other sources (such as the Port of Barcelona) and to install instruments and establish a suitable monitoring programme in Barcelona in order to verify any change in sea level over the next 25 years. This initiative would undoubtedly serve to form our own criteria regarding the reality of the phenomena implied and would also serve as a valid reference for the international community of scientists or experts who wished to take these recordings into account.*
3. *Rather than establishing the average rise in the Earth's sea level, it is essential to define the rate by which this rises and where this occurs as, otherwise, any decision regarding town and infrastructural development in coastal cities will be devoid of precise and well founded criteria. In the specific case of Barcelona, an optimum investment has been made to date as a result of either a correct decision or pure chance, and the city has not invested more than necessary, though we do not know whether this will continue to be the case in the future. This then leads to the following conclusion.*
4. *A theory has to be refutable to be held as a scientific theory, or it will purely be dogma. In the eyes of an engineer, the current scientific*

4. Para que una teoría sea científica, tiene que ser rebatible. Si no lo es, es dogma. A los ojos de un ingeniero, la actual especulación científica al respecto genera inseguridad en su trabajo, añadida a la inseguridad propia de quien tiene que arriesgar continuamente hipótesis aproximativas. No da la impresión de que, ni la elevación del mar, ni la variación de los patrones pluviométricos, estén ya suficientemente analizadas en el plano científico. Puesto que es entendible la dificultad de avanzar científicamente en esa línea, parece conveniente dotar a quienes deben diseñar infraestructuras de un referente normativo al respecto, que resuma una posición y un consenso de los ámbitos científicos y técnicos del país.
5. Lo explicado en este trabajo no debe entenderse como un argumento en contra de quienes quieren limitar el crecimiento desmedido, y la falta de escrúpulos a la hora de generar externalidades, tales como la contaminación y el deterioro ambiental. Se está rotundamente a favor de esos principios de responsabilidad y respeto. Pero la mejor forma de defenderlos, creemos, es documentando, midiendo, investigando, revisando hipótesis, mejorando el conocimiento de los procesos, revisitando el pasado.

Desde una posición de honestidad intelectual, al respecto de la evolución climática, la última conclusión, es que no se puede prever nada a futuro para la evolución del nivel del mar en Barcelona, a pesar de los 25 años pasados desde las primeras estimaciones de variación de niveles del mar a nivel mundial.

Agradecimientos

Se agradece a Clavegueram de Barcelona, S.A. (CLABSA), y en especial al ingeniero de caminos Pere Malgrat Bregolat (quien participó con quien esto escribe en los trabajos de planificación citados a lo largo del artículo) el suministro de información proveniente de sus archivos.

speculation in this area gives rise to a degree of uncertainty concerning his work and insecurity as a result of the continuous risk of applying alternative hypotheses. One gets the impression that rises in sea level and variations in rainfall have not yet been studied in a suitable manner from a scientific focus. On account of the understandable difficulties in making any scientific advances in this area, it would appear more convenient to provide those designing infrastructures with a code or guidelines that offer a particular standpoint and one consented by both scientists and technicians alike.

5. *The indications given in this article should not be taken as an argument against those wishing to put an end to unbridled growth and the lack of scruples when generating externalities such as pollution of environmental deterioration. We are firmly in favour of these principles of responsibility and respect and consider that the best means of defending these principles is by recording, measuring, investigating and reviewing hypotheses, to improve our knowledge of processes and by revisiting the past.*

If we have to be brutally honest, the final conclusion that may be made with respect to climate change, is that no future predictions may be made with regard to the evolution of the sea level in Barcelona, in spite of the 25 years that have passed since the first estimates were given for variations in sea level on a worldwide scale.

Acknowledgements

We wish to acknowledge Clavegueram de Barcelona, S.A (CLABSA) and particularly the civil engineer Pere Malgrat Bregolat (who participated with the author in the planning works referred to in this article) for supplying information from his files.

Referencias/References:

- (1) National Academy of Sciences. Changing Climate. Carbon Dioxide Assessment Committee, Washington, D.C. 1983
- (2) U.S. Environmental Protection Agency. Potential Climatic Impacts of Increasing Atmospheric CO₂ with Emphasis on Water Availability and Hydrology in the United States. Government Prin-

ting Office #055-000-00241-0. Washington, D.C. 1984

- (3) Para obtener el último documento sobre simulaciones del efecto del cambio climático, puede acudirse a <http://www.ipcc.ch/>, web del IPCC.
- (4) Se recomienda su artículo sobre evaluación de las variaciones del nivel medio del mar: Jevrejeva, S., Grinsted, A., Moore, J. and S. Holgate.

"Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records", J. Geophys. Res., 111, C09012, 2006, doi:10.1029/2005JC003229.

- (5) Stephan Rahmstorf mantiene una pugna con el autor del libro "El ecologista escéptico", Björn Lomborg, en cuanto a que éste último mantiene que el nivel del mar aumenta linealmente, y el primero sostiene que el crecimiento es acelerado.