Defensa de los Países Bajos frente a los riesgos costeros. Cómo hacer de la necesidad virtud

Water managment: making a virtue of necessity

José Manuel González Parejo[1*]

Palabras clave

agua; gestión; ingeniería hidráulica; Países Bajos; dique; pólder; esclusa;

Resumen

La gestión del agua en los Países Bajos supone al mismo tiempo un asunto de seguridad nacional y uno de los elementos claves de la economía neerlandesa. Teniendo una tercera parte de su territorio por debajo del nivel del mar, los Países Bajos han aprendido a lidiar con el agua mejor que ningún otro país en el mundo. Tres de los ríos más importantes de Europa: el Rin, el Mosa y el Escalda vierten sus aguas al mar en estas *tierras bajas* (el pico más alto de todo el país apenas llega a los 300 m. de altitud sobre el nivel del mar) formando un gran delta. Esta gran cantidad de agua y la amenaza que ella representa han sido dadas la vuelta y hoy en día los Países Bajos poseen la mayor reserva de agua dulce de Europa. Toda esta gran obra de ingeniería es considerada por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE como una de las siete maravillas del mundo moderno.

Keywords

water; management; hydraulic engineering; Netherlands; dyke; polder; lock;

Abstract

Water management in the Netherlands is both a national security matter and one of the strongest points of its economy. Having a third part of their territory under sea level, the Dutch have learnt to deal with water better than any other people in the world. Three of the main rivers in Europe, the Rhine, the Meuse and the Scheldt flow to the sea through these low-lying lands (the highest point in the country is only 300 metres above sea level) forming a great delta. This huge amount of water and the threat it represents have been held back, and nowadays the Netherlands has Europe's largest store of fresh water. This remarkable engineering achievement ~~have~~ has been considered one of the Seven Wonders of the Modern World by the American Society of Civil Engineers (ASCE).

1. INTRODUCCIÓN

Si hay un país que merece ser destacado en su habilidad gestionando el agua, esos son los Países Bajos. Esta pequeña nación del norte de Europa, (con 41.500 km^2, tiene una superficie inferior al 10% del territorio español) se ha forjado a sí misma a través de su lucha para defenderse del agua y al mismo tiempo su audacia para hacer de este recurso su principal fuente de riqueza. Sin embargo, con tan poca superficie y albergando casi 17 millones de personas, los Países Bajos son la zona de Europa más densamente poblada. Este hecho adquiere un cariz sobrecogedor si pensamos que una tercera parte de la superficie neerlandesa se encuentra por debajo del nivel del mar.

Según *Rijkswaterstaat*, los números globales de la ingeniería puesta al servicio de la sociedad para proteger a ésta de las aguas son los siguientes:

- 90.278 km^2 de superficie de agua
- 35 km de dunas naturales que protegen del mar
- 214 km de diques y presas
- 2.969 km de riberas de ríos y canales
- 10 Embalses
- Los impresionantes diques de *Afsluitdijk* y *Houtribdijk* que cerraron el mar de *Zuiderzee*
- Cuatro enormes barreras contra las olas de los temporales del Mar del Norte

Sin estos números, prácticamente el 60% de la superficie de los Países Bajos se encontraría permanentemente bajo el agua o frecuentemente inundados por el mar y los ríos, según reconoce el organismo nacional de gestión del agua *Rijkswaterstaat* (2015). El riesgo de inundación de los Países Bajos procede de todos lados. A nivel nacional este riesgo proviene del Mar del Norte, del Mar de Wadden, de los lagos y de los ríos interiores. Como ejemplo se puede poner la ciudad de Ámsterdam. El plan de protección contra inundaciones de esta ciudad señala los siguientes agentes que amenazan la seguridad de la capital holandesa:

- Subida del nivel de las aguas en el Canal del Mar del Norte (que de facto es el único acceso desde el Atlántico al puerto de Ámsterdam, una vez que el mar de *Zuiderzee* ha sido transformado en dos lagos interiores)
- Subida del nivel de las aguas del lago *Markermeer*
- Desbordamiento del río Amstel
- Desbordamiento del río Lek (una de las ramificaciones en las que se divide el Rin en su desembocadura)

El futuro, además, presenta desafíos no menos importantes para los Países Bajos. Se prevé que el cambio

* Autor de contacto: josemanuel.gonzalez.parejo@gmail.com

[1] Investigador independiente.

climático que padece nuestro planeta produzca una elevación del nivel del mar para el año horizonte 2100 de 85 cm, aumento que preocupa y mucho a las autoridades del país. A esta circunstancia se une el hecho, no menos preocupante, del descenso en el nivel de los terrenos que se está produciendo en gran parte de las tierras situadas al oeste. Es además la zona occidental del país la que presenta los principales núcleos de población como Ámsterdam, Róterdam, La Haya o Utrecht. La mayor parte de estas tierras están ocupadas por los famosos pólderes, terrenos ganados al mar y dedicados a la explotación agropecuaria. La desecación y desalinización de estos terrenos produce su paulatino descenso. Por último, es más que probable que el cambio climático aumente la intensidad de las precipitaciones durante las épocas de lluvia en esta parte del continente.

Seguidamente se explican en detalle en qué consisten las principales obras de ingeniería que se han llevado a cabo para proteger al país del agua y, a la vez, generar un recurso que es fuente de riqueza.

2. PLAN DELTA

El Plan Delta fue desarrollado por el gobierno de los Países Bajos a raíz de las gravísimas inundaciones que acaecieron en el año 1953. Durante la noche del 31 de enero de ese año varios de los diques de las provincias de Zelanda y Holanda del Sur fueron superados por las aguas. Las inundaciones fueron devastadoras dejando un panorama desolador y casi dos mil fallecidos. El ambicioso plan de obras duró más de 40 años y se terminó en 1997. La idea era reforzar las defensas contra el Mar del Norte en una amplia zona en la que confluyen las desembocaduras de tres caudalosos ríos europeos: el Rin, el Mosa y el Escalda. Estos tres ríos se dividen en innumerables ramales en su tramo final, formando un gran delta común. El Plan Delta fue muy ambicioso y desastres como el de 1953 no se han vuelto a repetir, lo cual prueba lo acertado del plan.

El Plan Delta estaba formado por una serie de diques y compuertas que separaban el Mar del Norte de los diferentes ramales de desembocadura de los tres grandes ríos antes señalados. Esto hizo que las aguas del Delta pasasen a ser dulces en vez de saladas. Muchos terrenos de cultivos se vieron favorecidos por este cambio y muchos diques dieron lugar a vías de comunicación que mejoraron la accesibilidad de estas tierras. Al mismo tiempo era necesario mantener el tráfico marítimo de importantes puertos que operan en esta zona, como es el puerto de Róterdam en los Países Bajos y el Puerto de Amberes en Bélgica. Ambos puertos ocupaban en el año 2012 el primer y el tercer puesto respectivamente dentro de los puertos de Europa en concepto de toneladas de carga operada. Como curiosidad, los puertos de Valencia, Algeciras y Barcelona se encontraban en cuarto, quinto y sexto lugar respectivamente.

Entre los sistemas de cierre del Plan Delta cabe destacar la barrera del *OosterSchelde* (Escalda Oriental). En este caso, y teniendo en cuenta las especiales características ecológicas que presenta el estuario del río Escalda en esta zona, se decidió no convertir en dulce este área de agua salina. Para ello, en vez de un dique cerrado se debía construir un sistema de compuertas que pudieran cerrarse en caso de emergencia, pero que permitiesen la mayor parte del tiempo el trasvase de gran cantidad de agua salada hacia dentro del estuario. La conjunción de estas dos condiciones dio origen a la imponente barrera de *OosterSchelde*. El cierre del *OosterSchelde* consiste en 62 compuertas con 40 m. de anchura cada una.

Junto al cierre del *OosterSchelde*, otro de los puntos singulares del Plan Delta es el inmenso cierre de *Maeslantkering* (cierre *Maeslant*). Esta imponente barrera móvil representa la última defensa de la ciudad de Róterdam y se sitúa en el *Nieuwe Waterweg* (nuevo canal) que es un canal que conecta el río Lek (ramificación del Rin) con el Mar del Norte y que sirve de acceso al puerto de Róterdam. La estructura consiste en dos enormes compuertas móviles en forma de arco de 210 m. de longitud cada una y 22 m. de alto. Se mueven por flotación y una vez que han alcanzado su posición de cierre se llenan de agua para hundirlas y realizar un cierre total ante los posibles temporales del Mar del Norte. El *Maeslantkering* tuvo que ser activado en el año 2007 como medida preventiva ante la llegada de la tormenta Tilo. Cada año, entre finales de septiembre y principios de octubre, es cerrado a modo de ensayo antes de que comience el periodo de tormentas, periodo que suele tener su inicio a mediados de octubre.

En general, la gestión del agua en el delta está principalmente dominada por las compuertas de *Haringvliet*, al norte del delta. Cuando el caudal del Rin a su entrada a los Países Bajos desde Alemania, cerca de la ciudad de Lobith, es inferior a 1.100 m^3/s, las compuertas de *Haringvliet* se encuentran completamente cerradas, excepto para el paso de los peces y el control de la salinidad. Cuando este caudal se encuentra entre 1.100 y 1.700 m^3/s, las compuertas se abren con la marea baja desaguando un caudal de 50 m^3/s durante cada ciclo de marea. Con caudales del Rin entre 1.700 y 9.500 m^3/s las compuertas se van abriendo de forma gradual cada vez más. Para caudales por encima de 9.500 m^3/s, las compuertas de *Haringvliet* se encuentran completamente abiertas.

Para luchar contras las nuevas amenazas y mejorar la primera línea de defensa del país contra las aguas, se aprobó en septiembre del año 2014 el *Plan Delta 2015*. Debido a que las condiciones de contorno están cambiando, se han modificado los estándares de seguridad de los diques y presas que protegen las tierras interiores. Se eleva de este modo la exigencia demandada a estos elementos, fijándose como horizonte temporal para cumplir con las nuevas condiciones el año 2050.

Debido a que el refuerzo y recrecido de tantos kilómetros de diques resultaría enormemente oneroso para las arcas públicas, un avanzado programa de ensayos se va a realizar en los diques sometiéndolos a olas que los desborden pero comprobando que estas olas no comprometan la estabilidad estructural de los mismos. La premisa con la que trabajan los técnicos neerlandeses es la siguiente: "*podemos permitirnos mojarnos los pies pero no que nuestras tierras queden anegadas*". El primer dique a ensayar será el *Afsluitdijk* (cierre del lago *Ijsselmeer*) que será probado a partir del año 2017.

Junto al programa de ensayos, se colocarán sensores en los diques que aporten información ininterrumpida de los

Figura 1. Gestión del agua en Países Bajos Rijkwaterstaat (2011).

Figura 2. Sistema de compuertas del OosterSchelde.

Figura 3. El Maeslantkering en su posición de cierre.

mismos, en aras a un análisis continuo de su estabilidad. Estos sensores ya se están utilizando en los diques cercanos a la ciudad de Utrecht.

Otra de las medidas que se proponen en el Plan Delta 2015 es la eliminación de la vegetación (o la indicación de qué tipo de vegetación puede crecer según el lugar) en las zonas llanas de descarga de los ríos, en su tramo final. La presencia de esta vegetación produce un aumento en el nivel del agua, cuando la descarga de estos caudalosos ríos es mayor. Este hecho hace que se aumente la probabilidad de inundaciones.

El Plan Delta original fue un acierto sin lugar a dudas, pues los niveles de seguridad frente a los riesgos de inundación fueron aumentados y desastres como el de 1953 no se han vuelto a repetir. El Plan Delta 2015 ahonda en la mejora de estos niveles de seguridad de un modo acertado al tomar medidas en las que cobran un mayor peso los principios de sostenibilidad y menor afección posible al medio ambiente.

3. EL MOTOR DE ARENA

Uno de los proyectos más innovadores que se están realizando en la costa de los Países Bajos es el motor de arena, conocido como *Sand Motor* o *Sand Engine*. La costa occidental de los Países Bajos se enfrenta al problema de la pérdida de arena de su litoral a causa de la erosión marina. Este fenómeno obliga al *Rijkswaterstaat* a reponer cada 3-5 años la arena de su costa para mantenerla en la misma posición y no perder la defensa que ésta representa para las tierras interiores.

El volumen de m^3 de arena que ha tenido que ser repuesta en las playas de los Países Bajos en el año 2014 es el siguiente:

Tabla 1. Rellenos efectuados en playas. Rijkswaterstaat (2015)

Relleno de playas		
Zona de costa	Localización	Volumen (m^3)
Rijnland	Rijnland South	2.200.000
Zeeuws Vlaanderen	Cadzand (Kievitte West)	180.000
Zeeuws Vlaanderen	Herdijkte Zwarte Polder / Cadzand-Bad	600.000
Zeeuws Vlaanderen	Nieuwvliet-Groede	650.000
Walcheren	Domburg	350.000

El motor de arena pretende sustituir los rellenos de arena que se vienen efectuando en las playas y litorales de los Países Bajos cada 3-5 años por un relleno puntual cada 20 años. El principio en el que se basa el motor de arena es utilizar la naturaleza como agente constructor, utilizar el principio de trabajar con la naturaleza en vez de luchar contra ella (Saeijs et al, 2004).

Durante dos décadas, los trabajos para regenerar con arena las costas y playas holandesas han tenido como objetivo mantener el litoral en la misma posición que en el año 1990.

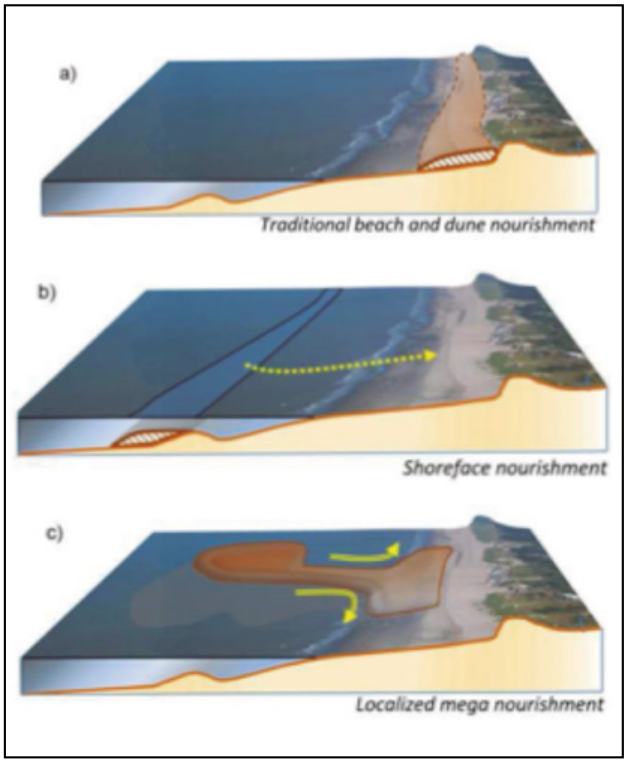

Figura 4. Distintas métodos para rellenos de arena de playa (Stive 2013).

En los dibujos anteriores se pueden ver tres formas de regeneración de costas con arena. En la figura 4.a, desarrollada desde los años setenta en adelante, playas y dunas se rellenan directamente con arena. En la figura 4.b, que se empezó a estudiar a partir de la década de los noventa, se coloca la arena justo antes o después de la barrera en la que rompe el oleaje. Posteriormente, son las mareas las encargadas de distribuir esta arena a lo largo de la costa. En la solución de la figura 4.c, que se viene estudiando en los últimos años, se hace una alimentación de arena concentrada y se aprovecha tanto la capacidad del agua como la del viento para repartir esta arena a lo largo de la costa.

El motor de arena surge en este contexto fruto de la colaboración de la administración holandesa y la comunidad científica en la Universidad de Delft. Se trata de una gran península de arena diseñada para que sea la naturaleza la que reparta 21 Mm^3 de arena a lo largo de la costa. Las principales ventajas del motor de arena son las siguientes:

- El relleno de arena en la costa se hace sólo una vez cada 20 años en vez de una vez cada 2-5 años
- El relleno se diseminará lentamente a lo largo de una franja de 10 km de costa de un modo más natural y difuso
- La gran perturbación que se produce al inicio se convertirá a corto y medio plazo en un incremento de la superficie disponible para el ocio y para regeneración medioambiental
- Se produce un impacto ambiental en un sitio muy concreto de 2,5 km^2 evitando la afección al resto del litoral

Los responsables del proyecto y las autoridades aprobaron el vertido de 21Mm^3 de arena en la costa de Ter Heijde en 2011 y hasta la fecha el resultado es positivo y goza de la aceptación social.

Mediante la herramienta Delft3D que realiza un análisis morfodinámico de la costa se ha desarrollado una proyección a futuro del comportamiento que tendrá el motor de arena en el litoral afectado a lo largo de su horizonte temporal de 20 años. El resultado de este modelo, en el que se va estudiando la evolución de la batimetría inicial de la costa, se puede ver a continuación:

La batimetría "a" corresponde a la situación inicial en septiembre de 2011 y de la "b" a la "f" a las proyecciones a 3, 5, 10, 15 y 20 años respectivamente. El resultado muestra como el relleno de arena va paulatinamente reduciendo su anchura, en la dirección perpendicular a la línea de costa, mientras que va extendiendo su acción hasta alcanzar una longitud de 8 km tras 20 años, a medida que va "alimentando" de arena la costa adyacente. La línea de costa

Figura 5. Vista aérea del Motor de Arena después de su conclusión en septiembre de 2011. Foto de Rijkswaterstaat/Joop van Houdt.

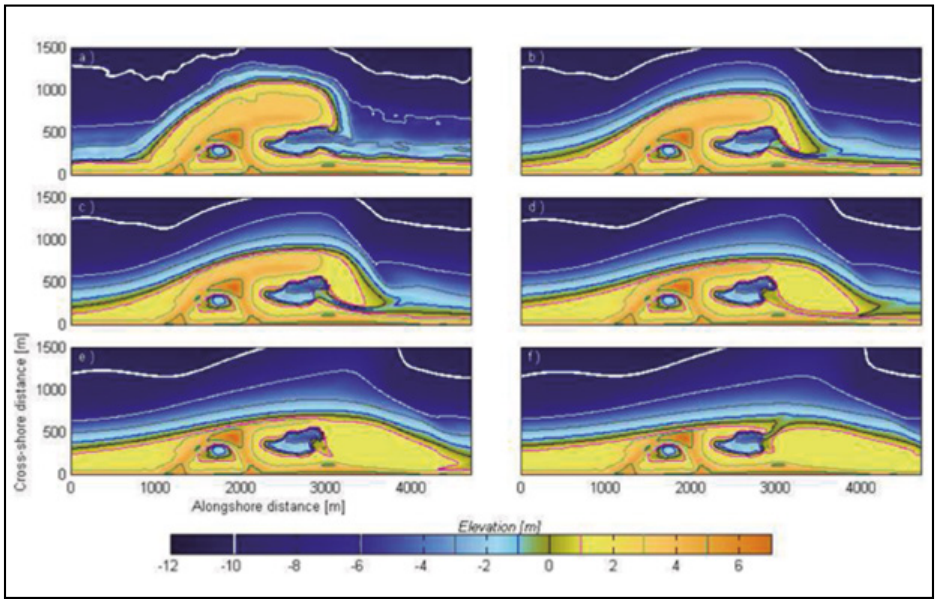

Figura 6. Predicción de la evolución de la batimetría con el Motor de Arena (Stive 2013a).

se modifica y se ganan aproximadamente 200 hectáreas de playa. Se comentan a continuación cada uno de los estadios:

- En el estadio 6.a, situación inicial, el motor de arena tiene una anchura de 0,95 km y una longitud de 2,4 km a lo largo de la línea de costa.
- En el estadio 6.b, al cabo de tres años, la lengua de arena aumenta su longitud en 1,1 km (0,7 km hacia el sur y 0,4 km hacia el norte) mientras que su máxima anchura disminuye en 200 m. El extremo de la legua de tierra paralela a la costa se curva hacia ésta, convirtiéndose en una barrera de arena transversal que está separada de la costa por un estrecho canal de agua de unos 50 m. de ancho, formando un lago artificial en su interior de 17 hectáreas.
- En los estadios 6.c y 6.d, al cabo de cinco y diez años, el motor de arena se va esparciendo lentamente reduciendo su máxima anchura hasta los 600 m mientras que su longitud crece desde los 3,5 km hasta los 5,3 km (con un alargamiento de 1,6 km hacia el sur y 1,2 km hacia el norte. El área del lago decrece hasta las 14 hectáreas mientras que la estrecha conexión con el canal continúa existiendo.
- En el estadio 6.e, que representa la situación a quince años vista, el motor de arena ya tiene una longitud de 7 km (con una extensión hacia el sur de 2,5 km y hacia el norte de 2,1 km) con una anchura máxima de 500 m. El canal paralelo a la costa ha desaparecido dejando de estar conectado el lago con el océano.
- El estadio 6.f que representa la situación a los veinte años. Entre los quince y los veinte años se forma un nuevo canal, hidráulicamente más eficiente que crece en el lado norte del relleno de modo que el lago vuelve a estar conectado con el océano. En el horizonte de los 20 años la máxima anchura es de 450 m mientras que la longitud del relleno es de 8 km (con una extensión hacia el norte de 2,5 km y de 3,0 km hacia el sur). Por su parte, el área del lago artificial ha decrecido hasta las 8 hectáreas y permanece abierto hacia el océano por su nuevo canal.

En la figura 7 se muestra una imagen actual del motor de arena en donde se puede ver que la evolución de éste es acorde a lo esperado. En este incipiente estadio de su evolución el motor de arena cuenta con la aceptación de los ingenieros que lo diseñaron, de las autoridades que lo aprobaron y de la sociedad. No será hasta que se hayan completado los veinte años de su evolución prevista cuando se puedan extraer conclusiones definitivas acerca de lo acertado del artificio. En esas conclusiones habrá que valorar los aspectos medioambientales, sociales, económicos y de seguridad, ante posibles temporales, para la población.

4. DEL MAR DE ZUIDERZEE A LOS LAGOS *IJSSELMEER* Y *MARKERMEER*

Zuiderzee o Mar del Sur para los neerlandeses (*zuid* significa sur y *zee* significa mar en neerlandés) es un mar de agua salada que se formó en el siglo XII y que se convirtió en dos lagos de agua dulce en el siglo XX. Para conocer la historia de este mar y en general de los Países Bajos, hay que remontarse a la última glaciación hace unos diez mil años. En esta época el Mar del Norte era una gran llanura junto a lo que hoy conocemos como Países Bajos. Al llegar la actual inter-glaciación (periodo comprendido entre dos glaciaciones con temperaturas sensiblemente más cálidas) el nivel de los mares se elevó produciendo que el agua del mar fuera inundando el actual Mar del Norte.

La ciudad de Ámsterdam surgió entre los siglos XII y XIII a raíz de la construcción de una presa (*dam* en neerlandés) en la desembocadura del río Amstel. Con esta presa el río se bifurcaba en dos ramales aumentando su sección hidráulica. Este aumento de la sección hidráulica les permitía a los primeros habitantes un mejor control de las avenidas del río. Al mismo tiempo, detrás de la presa, había una zona con agua marina donde se pudo construir un puerto al abrigo de las avenidas del Amstel. Esos dos primeros canales en los que se bifurcó el río Amstel fueron el embrión de la vastísima red de canales que configuran hoy la morfología de la ciudad. En el lugar físico donde fue construida la presa se encuentra en la actualidad la plaza Dam, centro neurálgico de la ciudad.

Figura 7. Imagen del motor de arena en el 2015.

Figura 8. Mapa de los Países Bajos del S. XVII.

Figura 9. Ámsterdam en el siglo XVI.

La conexión de Ámsterdam con el Mar del Norte era a través del *Zuiderzee*. Esta conexión tenía el gran inconveniente del poco calado de las aguas en este mar. En efecto, el *Zuiderzee* tenía una profundidad bastante constante y en torno a los 4 m en toda su extensión. Debido a los sedimentos que aportaba el caudaloso río Amstel, y al uso de barcos cada vez mayores, el dragado del puerto se hizo necesario de modo frecuente. Es por esta razón que en la segunda mitad del siglo XIX se decide construir el Canal del Mar del Norte (*Noordzeekanaal*). En la figura 8 se puede observar cómo Ámsterdam no estaba conectada con el Mar del Norte por el Oeste, por la bahía del *IJ*. Entre 1865 y 1876 se construye este canal de máxima importancia para el tráfico marítimo del puerto de Ámsterdam. Esta nueva conexión permitía una salida directa al Mar del Norte desde Ámsterdam, sin tener que recorrer el mar de *Zuiderzee*. Además, al tener un mayor calado, permitía la operatividad del puerto para una mayor variedad de barcos.

A partir de este momento comenzaron los pensamientos más serios para cerrar el *Zuiderzee* y convertirlo en un inmenso lago interior. El principal impulsor de este proyecto fue el ingeniero *Cornelis Lely* quien en 1891 realizó el primer plano del cierre. Las obras comenzaron en 1920 y se concluyeron en 1932. El mar de *Zuiderzee* ya no sería más un mar, pasando a convertirse en el lago *Ijsselmeer* (*meer* significa lago en neerlandés). El nombre le procede del río *Ijssel*, uno de los ramales en los que se divide el Rin a su llegada a los Países Bajos y principal curso fluvial que desembocaba en el *Zuiderzee*.

El dique de *Afsluitdijk* tiene una longitud de 32 km, una anchura de 90 m y una altura sobre el nivel del mar de 7,25 m.

Posteriormente, en 1976, se terminó un dique de similares dimensiones, el dique *Houtribdijk*, el cuál dividió las

Figura 10. Obras de construcción del dique Afsluitdijk.

Figura 11. Vista del Dique de Afsluitdijk separando las aguas del Mar de Wadden (saladas) de las aguas del lago Ijsselmeer (dulces).

aguas del lago *Ijselmeer* en dos lagos, el lago norte que siguió denominándose *Ijsselmeer* y el lago sur que pasó a denominarse *Markermeer*, en honor a la isla de Marken que se encontraba en sus aguas. Esta isla también se unió al continente (provincia de Holanda del Norte) a través de un dique que, haciendo las veces de istmo, la convirtió en península.

En la figura 12 se puede apreciar al norte en color azul claro el Mar de Wadden (*Waddenzee*), que pertenece al Mar del Norte. El Mar de *Wadden* está separado del lago *Ijsselmeer* por el cierre de *Afsluitdijk*. A su vez, el lago *Ijsselmer* está separado del lago *Markermeer* por el cierre de *Houtribdijk*. Dentro del lago *Markermeer* se puede ver la isla de Marken, que ha sido convertida en península, uniéndola mediante un istmo a la provincia de *Noord Holland* (Holanda del Norte). Por último, y aunque no aparezca reflejado en la figura 12, el lago *Markermeer* está hidráulicamente separado de las aguas de Ámsterdam mediante las esclusas de *Oranje* (figura 13). Estas esclusas independizan el nivel de las aguas del lago *Markermeer* de las aguas del Canal del Mar del Norte.

Volviendo a los lagos *Ijsselmeer* y *Markermeer*, su desconexión del mar unida a la gran cantidad de agua dulce que le entra desde el continente, principalmente a través del río *Ijssel*, propició que el agua de estos lagos fuese siendo cada vez menos salada hasta que, con el paso de pocos años, se convirtieron en lagos de agua dulce. Este hecho arruinó la vida pesquera de los pueblos que habitaban las orillas del antiguo *Zuiderzee*. Sin embargo, se había creado la mayor reserva de agua dulce de todo el occidente europeo. Este gran lago está disponible para proporcionar agua dulce a la zona septentrional de Países Bajos en épocas de sequía.

Figura 12. Ijsselmeer y Markermeer.

Figura 13. Vista cenital de las esclusas de Oranje.

Al estar desconectados del mar exterior, los lagos *Ijsselmeer* y *Markermeer* no están sujetos a las mareas ni a los temporales exteriores. Este hecho propició que grandes extensiones de tierra pudieran ser arrebatadas al mar mediante sucesivos pólderes. En la figura 10 aparecen en verde intenso las nuevas tierras creadas, y en color naranja las nuevas ciudades surgidas. La adquisición de nuevos terrenos fue de tal magnitud que a mediados del siglo XX los Países Bajos crearon oficialmente su decimosegunda provincia, *Flevoland*, con capital en *Lelystad*, ciudad también de nueva creación y que debe su nombre al ingeniero *Cornelis Lely*, antes citado.

El lago *Ijsselmeer*, y en verano el lago *Markermeer* también, son alimentados principalmente por el río *Ijssel*. Desde abril a septiembre el nivel de sus aguas es 0,20 m. inferior al nivel medio del mar. Durante el resto del año, el nivel se mantiene 0,40 m. por debajo del nivel medio del mar. Durante el invierno, el lago *Markermeer* vacía su excedente de agua al lago *Ijsselmeer*, mientras que éste hace lo propio hacia el Mar de *Wadden* a través de las compuertas de *Den Oever* y *Kornwerderzand*. Para ello se aprovechan los periodos de bajamar. En verano, sin embargo, el lago *Markermeer* vacía sus excedentes de agua hacia el Canal del Mar del Norte, para ayudar a mantener éste con las aguas dulces y con un nivel adecuado para el tránsito de los barcos. En primavera y otoño, la dirección de descarga depende de las condiciones climáticas y el nivel de las aguas.

Quizás estemos ante la obra más impactante de la ingeniería holandesa. La transformación de un mar de agua salada en dos inmensos lagos de agua dulce es un logro sin parangón en la ingeniería de costas, sin el cual no es explicable la configuración física actual de los Países Bajos, el inmenso terreno ganado al mar y la evolución de su producción agrícola y ganadera.

5. AMSTERDAM-RIJNKANAAL

Con la construcción de las compuertas de *Oranje*, se independizaba el agua del Canal del Mar del Norte de las aguas del lago *Markermeer*. Del mismo modo, en la salida de este canal al Mar del Norte se encuentran las compuertas de *Ijmuiden*. Estas compuertas permiten mantener un nivel distinto de las aguas entre el canal y el Mar del Norte, así como permiten también que el agua del Canal del Mar del Norte sea dulce a diferencia del agua exterior. Este hecho hace que las aguas de los canales de Ámsterdam sean dulces y no saladas. Cada vez que un barco opera en las esclusas de *Ijmuiden*, se produce una contaminación con agua salada del canal. Esto propicia que haya un gradiente de salinidad en el canal desde las compuertas de *Ijmuiden* hacia el interior. Este gradiente de salinidad proporciona al canal unas características ecológicas únicas. El aporte de agua dulce que tiene el canal viene principalmente del río Amstel. Sin embargo, este aporte es insuficiente para evitar que la salinidad llegue hasta la ciudad de Ámsterdam contaminando todas las aguas. Para introducir un nuevo aporte de agua dulce en esta zona se construyó el *Amsterdam-Rijnkanaal*, un canal que une la ciudad de Ámsterdam con el río *Lek* y con el *Waal* (ramificaciones por el sur del Rin). Este canal tiene una captación de agua para consumo humano por lo que es muy importante que no se salinice. Es por ello que se exige un caudal mínimo de 30 m^3/s para abastecer este canal.

La evacuación de agua desde el Canal del Mar del Norte hacia este mar se hace a través de las compuertas de *Ijmuiden*. Cuando hay bajamar en el Mar del Norte la descarga se hace directa por gravedad mientras que cuando el nivel del Mar del Norte está alto, en pleamar, entra en acción la estación de bombeo de *Ijmuiden*, que a la postre viene a ser la más grande de Europa, con una capacidad de bombeo de 260 m^3/s.

Como se puede ver, la gestión del agua de los canales de Ámsterdam se enmarca dentro de complejo sistema en el que se mueve una ingente cantidad de agua y en donde hay que tener muy presente el gradiente de salinidad en las diferentes zonas y no sólo el nivel del agua. Esto lleva a tener que disponer de un vasto conjunto de canales, esclusas y estaciones de bombeo de gran capacidad.

6. CONCLUSIONES

Las obras de ingeniería para protección contra inundaciones de los Países Bajos han merecido su consideración como una de las siete maravillas del mundo moderno

Figura 14. Ubicación del Amsterdam Rijnkanaal.

por parte de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE.

Los nuevos retos proceden en primer lugar de la creciente importancia que tiene la evaluación ambiental al planear futuras actuaciones ingenieriles. En efecto, hoy en día la transformación de un medio marino a un medio de agua dulce suscita mayores cuestionamientos medioambientales que en décadas pasadas, cuestionamientos que deben ser tenidos muy en cuenta en la toma de decisiones. Las políticas actuales de los Países Bajos ya no pasan por seguir ganando terreno al mar, sino por elevar los niveles de seguridad de los terrenos ya ganados. Igualmente, la producción agroalimentaria ya no tiene el peso específico que tenía hace cien años en la economía de los Países Bajos, y la evolución demográfica tampoco es la misma.

Como se ha comentado, la idea que rige las nuevas actuaciones consiste en trabajar con la naturaleza en vez de luchar contra ella y las nuevas apuestas como el motor de arena así lo demuestran. Parece acertada esta nueva forma de entender la ingeniería. Intervenciones como las del siglo pasado, transformando un mar de agua salada en dos lagos de agua dulce ya no son bien recibidas por la sociedad de hoy, en la que los criterios medioambientales tienen un peso cada vez mayor.

Pero sin lugar a dudas el mayor reto al que se enfrentan los Países Bajos es al cambio climático. La elevación del nivel del mar y el aumento de la intensidad de las lluvias en las épocas húmedas no son vistos de la misma manera en los Países Bajos que en el resto del mundo. Allí, estas nuevas condiciones son una amenaza a la propia existencia de una gran parte del territorio. Por desgracia, las causas del calentamiento global de la Tierra quedan lejos de poder ser neutralizadas por la acción de un único país. Por suerte, parece que la ingeniería civil neerlandesa está preparada para hacer frente a las nuevas circunstancias y minimizar los riesgos para su población.

7. REFERENCIAS

Ministerio de Infraestructuras y Medio Ambiente y Ministerio de Asuntos Económicos de los Países Bajos (2014). *Delta Programme 2015*. Países Bajos. Ministerio de Infraestructuras y Medio Ambiente y Ministerio de Asuntos Económicos de los Países Bajos. Disponible en http://english.deltacommissaris.nl/binaries/delta-commissioner/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015/Delta+Programme+2015+English_tcm310-358177.pdf

Rijkswaterstaat, Ministerio de Infraestructuras y Medio Ambiente de los Países Bajos (2015). *Annual Report 2014*. Países Bajos. Rijkswaterstaat. Disponible en http://www.rijkswaterstaat.nl/en/images/Annual%20Report%20Rijkswaterstaat%202014_tcm224-373126.pdf

Rijkswaterstaat Ministerio de Infraestructuras y Medio Ambiente de los Países Bajos (2011). *Water Management in the Netherlands*. Países Bajos. Rijkwaterstaat. Disponible en https://www.rijkswaterstaat.nl/en/images/Water%20Management%20in%20the%20Netherlands_tcm224-303503.pdf

Stive, M. J. F., De Schipper, M. A., Luijendijk, A. P., Ranasinghe, R. W. M. R. J. B., Van Thiel de Vries, J. S. M., Aarninkhof S., Van Gelder-Maas C., De Vries, S., Henriquez, M., y Marx, S. (2013). The sand engine: A solution for vulnerable deltas in the 21st century?. En *Coastal Dynamics: 7th International Conference on Coastal Dynamics*, Arcachon, France, 24-28 June (*pp. 1537-1546).* Bordeaux (France): Bordeaux University.

Saeijs, H. L. F., Smits, A. J. M., Overmars, W., y Willems, D. (2004). *Changing Estuaries, Changing Views*. Erasmus University, Rotterdam y Radboud University, Nijmegen. Disponible en http://repub.eur.nl/res/pub/1850/ESM-2004-005.pdf

Baars, W. (2004). Peat dike failure in the Netherlands. En *European Water Management Online*. Disponible en http://www.ewaonline.de/journal/online.htm

Steen, P. J. M., y Pellenbarg, P. H. (2004). Water Management in the Netherlands: Introduction to the 2004 Maps. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie,* 95 (1), 127-129.

Vis, M., Klijn, F., De Bruijn, K. M, y Van Buuren M. (2003). Resilience Strategies for flood risk management in the Netherlands. *International Journal of River Basin Management,* 1 (1), 33-40.

De Bruijn, K. M., y Klijn, F. (2009). Risky Places in the Netherlands: a First Approximation for Floods. *Journal of Flood Risk Management,* 2 (1), 58-67.

Oude Essink G. H. P., Van Baaren E. S., y De Louw P. G. B. (2010). Effects of Climate Change on Coastal Groundwater Systems: A Modeling Study in the Netherlands. *Water Resources Research,* 46 (10), W00F04, doi:10.1029/2009WR008719

Kwadijk, J. C. J., Haasnoot, M., Mulder, J. P. M., Hoogvliet, M. M. C., Jeuken, A. B. M., Van der Krogt, R. A. A., Van Oostrom, N. G. C., Schelfhout, H. A., Van Velzen, E. H., Van Waveren, H., y De Wit, M. J. M. (2010). Using Adaptation Tipping Points to Prepare for Climate Change and Sea Level Rise: a Case Study in the Netherlands. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1 (5), 729-740.

Van de Ven, G. P. (1996). *Man-made lowlands: history of water management and land reclamation in the Netherlands*. Utrech (Holanda): Uitgeverij Matrijs.

Coops, H., y Hosper, S. (2002). Water-Level Management as a Tool for the Restoration of Shallow Lakes in the Netherlands. *Lake and Reservoir Management*, 18 (4), 293-298.

EDICIONES DEL CEDEX

Reacción álcali sílice en el hormigón con áridos de reacción rápida. Estudio Experimental.
Autores: Víctor D. Lanza Fernández y María del Pilar Alaejos Gutiérrez
Serie Monografías: M-118
SBN: 978-84-7790-544-8
Año: 2013
PVP.: 25€

La detección de áridos reactivos con los álcalis del hormigón es fundamental para poder evitar que en el futuro aparezca esta patología, con lo que conlleva en gastos de mantenimiento y reparación para las estructuras. Este estudio experimental se ha realizado con el objetivo final de diseñar una metodología completa para el estudio de áridos españoles de reacción rápida.

Así, partiendo de áridos cuya reactividad es conocida por haber sido extraídos de obras afectadas por la reacción álcali sílice, se han evaluado diferentes ensayos normalizados existentes en la normativa española o internacional: ensayo acelerado de probetas de mortero, ensayo químico, ensayo químico-cinético, y Gel-Pat. Además, se estudia la aplicación de dos técnicas diferentes para la identificación y cuantificación de componentes reactivos: la difracción de rayos X (no normalizada) y el estudio petrográfico (sin norma que lo desarrolle en España). Finalmente se ha definido un nuevo ensayo que, de una forma fácil y rápida, sea capaz de detectar áridos potencialmente reactivos, diferenciando a los rápidos y los lentos, e inocuos: el Gal Pat modificado. Los resultados obtenidos han sido válidos para definir una metodología completa de estudio de áridos reactivos, corroborada con la casuística real española.

Reacción álcali sílice en el hormigón con áridos de reacción rápida. Estado del arte.
Autores: Víctor D. Lanza, Fernández y María del Pilar Alaejos Gutiérrez
Serie Monografías: M-119
ISBN: 978-84-7790-538-7
Año: 2013
PVP.: 25€

En España es conocido el daño que la reacción álcali sílice (RAS) ha producido en distintas estructuras, daño que conlleva un elevado coste de conservación de las construcciones con esta patología. Para evitar el desarrollo de la RAS en futuras obras de hormigón, es necesario disponer de una metodología que permita, con seguridad y de forma fácil y rápida, diferenciar áridos reactivos e inocuos. En este libro se recoge el estado actual del conocimiento sobre la detección de áridos reactivos, profundizando en las siguientes cuestiones necesarias para poder caracterizar a los áridos españoles:

- Fundamento de la reacción álcali sílice y factores que intervienen
- Áridos reactivos, analizando los componentes reactivos existentes y en que áridos han sido identificados
- Técnicas para la detección de áridos reactivos y sus limitaciones
- Metodologías para el estudio de la reactividad de los áridos: normativa existente y evolución
- Álcalis disponibles en el hormigón para el desarrollo de la reacción álcali sílice

Pedidos: Tienda Publicaciones CEDEX. C/ Alfonso XII, 3 | 28014, Madrid. Tlf.: (+34) 91 335 72 95 | Fax: (+34) 91 335 72 49 | publicaciones@cedex.es