ESPECIAL HOLANDA

Tierra y Tecnología

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACION GEOLOGICA

NUMERO 4. ENERO / MARZO 1993. 750 PTAS.

Geotecnia en Holanda.

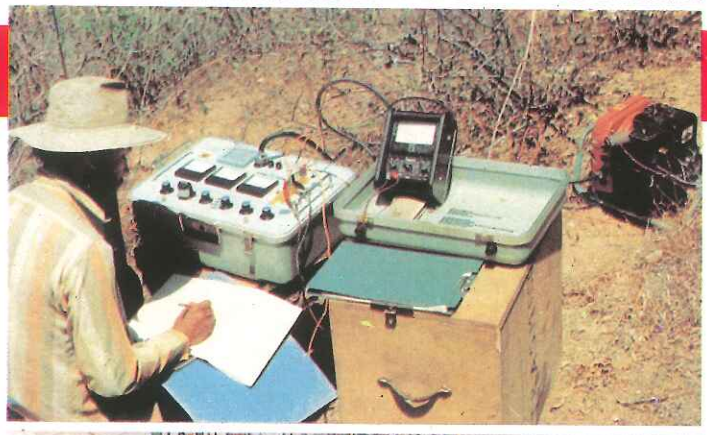
Petróleo y gas en el subsuelo de Holanda.

Desarrollo de la descontaminación del agua subterránea.

Cierre de las cuencas mareales en el SO de Holanda.

Almacenamiento subterráneo de calor.

e. n. adaro



e. n. adaro

e. n. adaro

TENEO

Grupo INI

*** GEOLOGIA BASICA, EXPLORACION, PROSPECCION ***
*** INVESTIGACION E INGENIERIA MINERA ***
*** HIDROGEOLOGIA * SONDEOS * GEOTECNIA * MEDIO AMBIENTE ***

SERVICIOS

Geología	Geomatemática	Procesos Mineralúrgicos
Geofísica	Cartografía Automática	Medio Ambiente Industrial y Minero
Geoquímica	Investigación de Yacimientos	Resìduos Sólidos Urbanos e Industriales
Hidrogeología y Geotermia	Rocas y Minerales Industriales	Laboratorios Químicos
Teledetección	Estudios Económico-Mineros	Laboratorios Mineralógicos
Sondeos	Ingeniería Minera	Laboratorios de Medio Ambiente
Geotécnica y Geomecánica	Seguridad Minera	Laboratorios de Carbones

EMPRESA NACIONAL ADARO, S.A.

Domicilio Social: Doctor Esquerdo, 138 - 28007 MADRID - Tel.: 552 99 00
Telefax: 433 59 16 - Télex: 42083-Geo E
Centro de Investigación "JUAN GAVALA": Carretera de Andalucía, Km. 12
Tel.: 681 60 14 (GETAFE-MADRID) Telefax: 681 19 13

Tierra y Tecnología
REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACION GEOLOGICA

EDITA
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

ADMINISTRACION Y REDACCION
Avda. de Reina Victoria, 8-4.° B
28003 MADRID
Teléfono 91-5532403

DIRECTOR
Manuel Rolandi Sánchez-Solís

SUBDIRECTOR
José Casas Ruiz

MARKETING Y PUBLICIDAD
Enrique Pampliega Higueras

COORDINACION DE EDICION
Peter F. Wouters y Michael van der Meer

COMITE EDITORIAL
José Casas Ruiz,
Juan José Durán Valsero,
Michael van der Meer,
Jesús Rey de la Rosa,
Jesús Rodríguez Jurado,
Manuel Rolandi Sánchez-Solís y
Peter F. Wouters

COLABORADORES
A. J. F. van der Spek,
D. van der Kroef,
D. van Doorn,
E. Pérez Pérez,
F. M. L. Berben,
G. Houtgast,
G. Lantinga,
G. P. Gonggriip,
J. P. M. Mulder,
J. Rodríguez Jurado,
J. Schelvis,
J. Smit,
J. Visser,
L. J. M. van Loon,
M. G. Barquilla Esteban,
P. J. de Bruin,
S. Kroonenberg,
Th. Krans,
W. J. Heijnen,

DISEÑO GRAFICO DE PORTADA
Equipo Franja diseño

FOTOCOMPOSICION E IMPRESION
Gráficas Summa, S. A.

EN PORTADA
La isla de Rottummeroog
Autor: Aerophoto Eelde

ISSN: 1131-5016
Depósito legal: M. 10.137-1992

SUMARIO

Editorial 5
Ficha Técnica Países Bajos 6
Mensaje del Presidente de la Real Sociedad Holandesa de Geología y Minería 7

geotecnia
La geotecnia en Holanda. *W.J. Heijnen* 9

subsuelo
La sismicidad en los Países Bajos. *G. Houtgast* 17
Petróleo y gas en el subsuelo profundo de Holanda. *D. van Doorn* 25
La extracción de gas en la zona de los Wadden *G. Lantinga y J. Visser* 35

medio ambiente
El desarrollo de la descontaminación del agua subterránea en los Países Bajos *P.J. de Bruin* 43
La explotación de grava y la restauración de las zonas de extracción en los Países Bajos. *Th. Krans* 50
Cierre de las cuencas mareales en el suroeste de Holanda: las consecuencias geomorfológicas y el impacto medio ambiental. *J.P.M. Mulder, A.J.F. van der Spek y F.M.L. Berben* 55

energía
El almacenamiento subterráneo de calor para la Universidad de Utrecht. *L.J.M. van Loon* 61

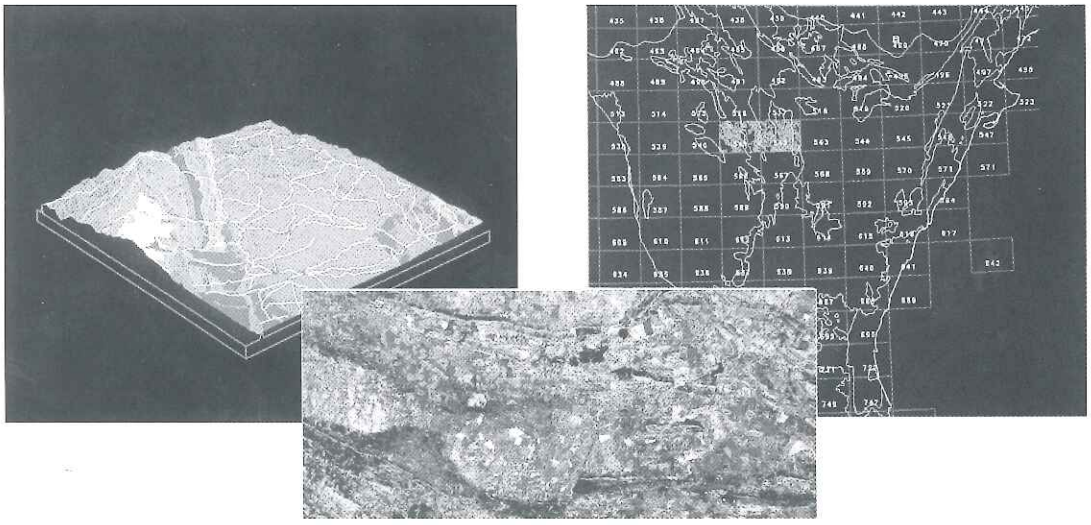
protección
Monumentos geológicos en Holanda. *G.P. Gonggrijp* 65

humor on the rocks 68

investigación
La Fundación para investigaciones geocientíficas NWO: una perspectiva nacional. *D. van der Kroef* 69
Restos de ácaros como indicadores medio ambientales en estudios cuaternarios y paleo-zoológicos. *J. Schelvis* 75
El impacto de un meteorito en Chicxulub (Yucatán) hace 65 millones de años: datos procedentes de España y consecuencias para la vida terrestre. *J. Smit* 78

normativa publicaciones 86

CURSO
S.I.G. PARA P.C.
IDRISI



5-16 JULIO 1993
LUNES-VIERNES 16:00-20:30
SALON DE ACTOS DEL I.C.O.G.

CARACTERÍSTICAS DEL CURSO

- **PRECIO:**
  Colegiados en situación de desempleo y alumos de los últimos cursos de Ciencias Geológicas: 35.000 PTAS.
  Colegiados en activo: 50.000 PTAS.
  No colegiados: 70.000 PTAS.
- **HORARIO:**
  16,00-20,30 h. de lunes a viernes
- **DURACION:**
  2 Semanas
- **FECHAS:**
  Del 5 al 16 de julio de 1993
- **PROFESORADO:**
  Martín Alfageme, Santiago
  Geólogo especialista en S.I.G. (ITGE)
  Manzanas Pata, Teresa
  Geólogo especialista en Medio Ambiente

PROGRAMA

- INTRODUCCIÓN; SIG VECTORIAL-SIG RASTER
- PRINCIPALES MÓDULOS DEL PROGRAMA
- ALMACENAMIENTO DE DATOS ESPACIALES Y DISEÑO DE BASES DE DATOS
- MÓDULOS DE VISUALIZACIÓN/CARTOGRAFÍA
- ANÁLISIS ESPACIAL
- ESTADÍSTICA
- MODELOS DIGITALES DEL TERRENO
- MANEJO DE IMÁGENES

En el curso se desarrollará un ejemplo real que haga uso de los distintos módulos del programa

COORDINADORES
Peter F. Wouters

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Libre de Amsterdam. En EPTISA, una empresa de ingeniería española, ha realizado estudios geológicos, geomorfológicos y neotectónicos para el ITGE, ENRESA y para empresas privadas. Una parte importante de su actividad profesional consiste en la aplicación de sistemas GIS y otras herramientas informáticas a la geología. EPTISA, c/ Arapiles 14, 28015 Madrid.

Michael van der Meer

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Libre de Amsterdam. Entre 1989 y 1990 estuvo trabajando por el Servicio Geológico de Holanda como estratígrafo sísmico y sedimentólogo. En 1990 entró en la empresa multinacional Core Laboratories, donde ha realizado estudios sedimentológicos de campos de gas y petróleo en diferentes partes del mundo. Core Laboratories, Heulweg 28-30, 2288 GN Rijswijk (Holanda).

Las traducciones de los artículos de este número de ***Tierra y Tecnología*** del holandés y del inglés al español han sido realizados por Peter F. Wouters y de Eduardo Pérez. Agradecemos la colaboración de Jesús Rodríguez, Guadalupe Barquilla y Manuel Rolandi en la revisión de las mismas. Por otra parte, se pide comprensión al lector por la aparición en las figuras de algunos textos en inglés.

EDITORIAL

Por muy revuelto que se presenta este año, 1993 también se recordará como el año del Acta Unica Europea. En el contexto de este proceso de unificación, ***Tierra y Tecnología*** decidió mirar más allá de las fronteras nacionales y dedicar este número temático a **la interacción entre la geología y la sociedad en otro país europeo: Holanda.**

No existen muchos países, cuya morfología forme parte integral de su propio nombre, lo que por sí sólo ya indica que en el caso de **los Países Bajos,** se trata de una nación particular con características geocientíficas interesantes, y a menudo totalmente distintas de la situación española.

Por otra parte, la historia aporta un detalle pintoresco: en el siglo XVI, ambos países formaron parte del imperio Habsburgo de Carlos I y Felipe II, hasta que la revuelta en los Países Bajos (que allí se conoce como «la guerra de los 80 años») dio lugar a la fundación de la República de las 7 Provincias, la precursora de la Holanda actual. Después de casi 400 años, nuestros dos países se encuentran de nuevo en una alianza europea.

Los Países Bajos forman parte de una zona de descenso en el borde noroccidental del Continente Europeo, donde durante el Cuaternario se han depositado sedimentos con una potencia que varía entre unas decenas y unos cientos de metros. Como consecuencia de esta circunstancia, la superficie del país está constituido, en gran parte, de materiales cuaternarios, y el paisaje también ha sido generado en este período. Los sedimentos que rellenaron la Cuenca, fueron aportados principalmente por los ríos Rin, Mosa y los ríos del Norte de Alemania, y en menor medida provienen de partes de lo que ahora es el mar del Norte. Durante este período, la línea de la costa tenía una forma más o menos parecida a la actual, aunque su posición variaba con el tiempo.

Durante la época glacial del Saaliense (hace 150.00-100.000 años), los glaciares procedentes de Escandinavia llegaban hasta la región de los Países Bajos, generando crestas de empuje y cubriendo grandes superficies con depósitos de morrena de fondo (arcilla de bloques). Estos fenómenos glaciales dominan todavía buena parte del paisaje de esta zona.

El fin de la última glaciación, el Weichseliense (hace 10.500 años), dio lugar al inicio de una época templada, durante la cual el nivel del mar subió rápidamente, hasta alcanzar su posición actual. En la región costera, se desarrolló un ambiente complejo, dominado tanto por procesos marinos como fluviales, en la que formaron una zona exterior arenosa, con sistemas de dunas costeras, otra zona intermedia de agua salobre con cuencas mareales y estuarios y, finalmente, una zona interior de agua dulce con un amplio desarrollo de tuberas. Los ríos Rin, Mosa y Escalda aportaron el agua dulce a la zona costera y desembocaron mediante estuarios en el mar del Norte. La evolución de esta situación dinámica fue prácticamente paralizada, hace varios cientos de años, por las obras de defensa costera.

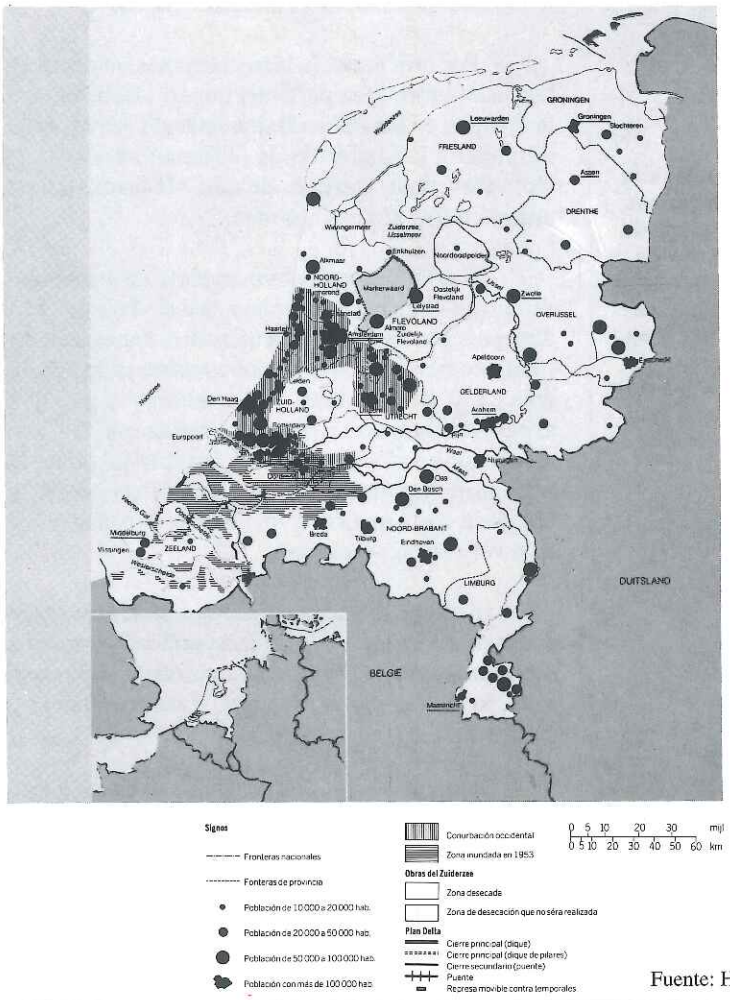
El mar todavía juega un papel importante, aunque ambivalente, en la vida holandesa. En el siglo XVI, el mar fue un aliado en el sentido literal de la palabra, en la lucha contra las tropas del Duque de Alba durante el sitio de la ciudad holandesa de Alkmaar. Cuando se rompieron los diques y abrieron las esclusas, las tropas españolas fueron forzadas a emprender la huida.

Gran parte del territorio tiene que ser protegido con diques y dunas del mar hostil, pero, por otra parte, la localización favorable en la desembocadura de varios grandes ríos europeos, en el centro de la parte más industrializada del continente, le han dado la oportunidad a Rotterdam de desarrollarse como el puerto marítimo más grande del mundo.

Dentro del sistema de dunas y diques que protege a los Holandeses del mar, se encuentra un país con una cobertura de sedimentos poco consolidados, un nivel freático alto y un paisaje compuesto por formas morfológicas de pequeña escala. Estas particulares características, junto a la presión que ejerce una población sustancial sobre un territorio pequeño (la densidad de población de Holanda está entre las más altas del mundo y casi 6 veces mayor que la de España) y el creciente interés en la protección medio ambiental, han generado una serie de problemas específicos en campos como la geología aplicada, la ingeniería y el medio ambiente.

Este número de ***Tierra y Tecnología*** contiene artículos dedicados a una gran variedad de temas relacionados con la aplicación de las Ciencias de la Tierra a los problemas de la sociedad. Un tema clave en este contexto es la desaparición gradual de las fronteras entre las diferentes disciplinas –un proceso análogo a la integración europea–, lo que el Comité Editorial de ***Tierra y Tecnología*** considera como muy positivo, ya que el sectarianismo sólo puede llevar a la marginación de los profesionales de nuestro campo de trabajo.

FICHA TÉCNICA DE LOS PAÍSES BAJOS



Fuente: Holanda en Síntesis

Población:	15,1 millones (año 1991)
Superficie:	34.000 km^2
Densidad de población:	446 habitantes/km^2
Idiomas:	Holandés (oficial) y frisón (en Frisa)
Capital:	Amsterdam
Uso de terreno:	Agricultura 59%, bosques 9%, otros usos 32%
Largo total de ríos y canales:	4.847 km
Ferrocarriles:	2.798 km^2
Carreteras asfaltadas:	103.100 km
Vehículos por 1.000 habitantes:	361 (año 1989)

(Fuente: Statistisch Jaarboek 1992)

MENSAJE DEL PRESIDENTE DE LA REAL SOCIEDAD HOLANDESA DE GEOLOGIA Y MINERIA

Salomon B. Kroonenberg

Dr. Kroonenberg es Catedrático de Geología y Mineralogía en el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad Agrícola de Wageningen, Postbox 37, 6700 AA Wageningen (Holanda).

Muy amables lectores de TIERRA Y TECNOLOGIA.

Es un gran honor para el mundo geológico holandés que la redacción de Tierra y Tecnología haya decidido dedicar este número especial a nuestro país, en el marco de la creciente integración científica en Europa. Cumplimos con mucho placer la tarea de presentar un esbozo de la situación actual de las Ciencias de la Tierra en Holanda. Esto nos complace más aún ya que por más de setenta años generaciones de estudiantes y profesionales holandeses han podido gozar la hospitalidad ilimitada de España durante sus estudios de campo para obtener los grados de Master o Doctor. Cabe, así, decir que muchos de los grandes nombres de la geología holandesa, tal como H. A. Brouwer, W. P. de Roever, L. U. de Sitter, E. den Tex, C. G. Egeler, L. M. R. Rutten, R. W van Bemmelen y H. J. Zwart, han podido ascender a la galería de honor mundial gracias a las oportunidades de trabajo de campo brindadas por España, beneficiándose además de las excelentes relaciones con el ITGE, con el CSIC, con las Universidades y otras entidades científicas españolas. Y por otra parte deben existir miles y miles de personas en Cantabria, Galicia, Andalucía y a lo largo de los Pirineos que recuerden con más o menos cariño a aquellos altos rubios, que en las horas del paseo guiñaban a las mozas en la calle, por lo general sin mucho éxito.

Por contra, la cantidad de estudiantes españoles que se han dedicado a la geología holandesa resulta ínfima hasta la fecha. Si Ustedes no vienen a estudiar las Cordilleras holandesas en persona, nos corresponde traerles la Geología holandesa mediante este número de Tierra y Tecnología. Ojalá vengan entonces, acusando recibo de esta invitación.

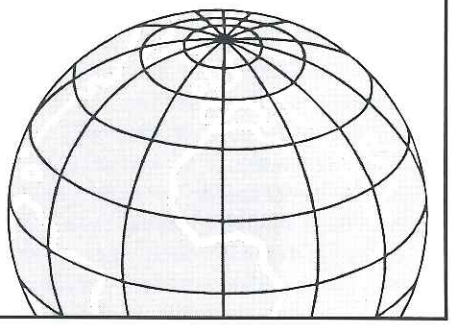
Porque montañas sí las hay, sólo que están escondidas bajo la cobertura terciaria y cuaternaria como solemos decir, y podemos vanagloriarnos de que hemos tratado de sacarle todo el jugo a esta desventaja. Creo que existen pocos países en el mundo que tengan tantos mapas geológicos a escala 1:50.000 del subsuelo, abarcando hasta varios miles de metros de profundidad, obtenidos a través de una densa red de observaciones sísmicas y perforaciones, tanto del Servicio Geológico de Holanda como por parte de las compañías privadas petroleras y de agua. Por otra parte, la dura experiencia de vivir bajo la amenaza continua de inundaciones por el mar, la última de las cuales tuvo lugar en 1953, con un número de víctimas superior a 1800, nos ha forzado a enfocarnos más de lo normal en la Geología del Cuaternario. Por fin, la gran concentración de 15 millones de habitantes en un país de apenas 40.000 km^2, que además trata de conservar su segunda posición mundial en exportaciones agrícolas, lleva consigo problemas especiales en el medio ambiente y en el uso racional del espacio. He aquí algunas de las condiciones que determinan el fuerte vínculo que existe en Holanda entre la Ciencia Básica y la Ciencia Aplicada; reflejo de ello son los muchos ejemplos que encontrarán en las páginas que siguen.

En nombre de los 1.600 socios de la Real Sociedad Holandesa de Geología y Minería me es grato estrecharles cordialmente la mano a nuestros colegas españoles, y espero que esta loable iniciativa del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos sea el principio de lazos aún más estrechos entre ambos países. ¡Mente et malleo!

Salomón B. Kroonenberg
Presidente de la KNGMG
(Real Sociedad Holandesa de Geología y Minería)

EL MUNDO ES COSA DE TODOS

geotechnica



Feria Monográfica Internacional y Congreso de Ciencias Geológicas y Geotecnia

Colonia, 5 – 8 de mayo 1993

El estudio del planeta tierra y el mantenimiento de su biosfera exigen técnicas capaces de solucionar los problemas existentes. La geotechnica se ha propuesto la misión de crear la plataforma internacional precisa para conseguir la transparencia necesaria, aunando esfuerzos y creando efectos sinérgicos.

La geotechnica presenta la vinculación entre la ciencia y la técnica, la economía y la geopolítica. Sólo la agrupación coordinada de estos sectores puede solucionar los problemas existentes a nivel mundial.

Paralelamente al certamen monográfico se celebra el Congreso geotechnica que informa sobre el nivel más actual de la investigación y el desarrollo científico y técnico. Dentro del tema general «la tierra desgastada – ecosistemas, materias primas, desafíos», 120 conferenciantes procedentes de 16 países tratarán de nuevos conceptos, procesos y conocimientos para la conservación de la tierra como respuesta al desafío que tiene planteado la ciencia y la técnica.

La Fundación Alfred-Wegener será quien, como en 1991, organice el Congreso.

geotechnica '93
Se impone un concepto.

■ 20.000 m² de superficie de exposición ■ 500 expositores
■ 20.000 visitantes profesionales del mundo de las ciencias geológicas y la geotecnia.

ESPAÑA: Cámara de Comercio Alemana para España, KölnMesse, Paseo de la Castellana 42, 28046 Madrid, Tel. 5768342, Telefax 5781779; Calle Córcega, 301-303, 08008 Barcelona, Tel. 4155444, Telex 50615, Telefax 4152717

Cupón

Les rogamos nos envíen:
☐ documentación para realizar la inscripción como expositor
☐ documentación para la inscripción en el Congreso
☐ información general geotechnica

Remitente:

_____

_____

_____

KölnMesse

GEOTECNIA EN LOS PAISES BAJOS

W. J. Heijnen

Después de graduarse como Ingeniero Civil en la Universidad Politécnica de Delft, el autor trabajó durante algunos años en la Universidad de Indonesia. De 1955 hasta su jubilación en 1990, ha sido colaborador de Delft Geotechnics, ocupando en el puesto de subdirector durante los últimos 13 años, y participando en numerosos proyectos en Holanda y en otros países como Venezuela, Nigeria, Argelia y Canadá. Todavía mantiene contacto con el ambiente profesional, actuando como *Senior Advisor* en Delft Geotechnics y participando en varias comisiones nacionales y europeas sobre normativas geotécnicas. Delft Geotecnics, Postbox 69, 2600 AB Delft (Holanda).

Las condiciones especiales del suelo holandés imponen una serie de condicionantes a las cimentaciones de obras públicas y construcciones. Para superarlas, se han desarrollado técnicas como el CPT que, con el paso de los años, han sido aplicadas en muchas otras partes del mundo.

The special properties of the Dutch soil require special foundation types for public works and buildings. In order to meet these requirements, techniques like the CPT have been developed, which has been used in many other parts of the world.

Holanda y el Mar

Los estratos más superficiales del suelo de los Países Bajos, cuyas propiedades son importantes para el comportamiento de construcciones geotécnicas como las cimentaciones, diques, carreteras y construcciones subterráneas, se han formado en gran parte como resultado de un proceso dinámico-genético de sedimentación en un ambiente deltáico, donde actuaron por una parte los grandes ríos Escalda, Mosa, Rin y Elba y, por otra, el mar. Hace varios cientos de años, las obras hidráulicas de los ingenieros holandeses han detenido estos procesos, aunque pequeños cambios siguen produciéndose a lo largo de la costa. Especialmente la protección de las barreras costeras naturales contra la erosión marítima, exige el depósito de grandes cantidades de arena.

Gran parte de los sectores occidentales y septentrionales de los Países Bajos están situados por debajo del nivel del mar medio. Sin la protección de las dunas y los diques, estas zonas, como por ejemplo los terrenos de Schiphol, el aeropuerto de Amsterdam, que se encuentran a 4 ó 5 metros por debajo del nivel del mar, se inundarían durante cada marea alta.

Para proteger a los holandeses y sus propiedades contra las inundaciones, se construyeron los diques y todavía hoy continúan las obras de mejora de las defensas costeras a gran escala. En la parte occidental y septentrional de Holanda, estos diques se apoyan en un substrato poco competente, que, además, puede ser comprimido fácilmente. El diseño de diques y de mejoras de éstos es una especialidad de los ingenieros de obras hidráulicas holandeses, que se basa en el alto nivel de conocimientos de fenómenos geotécnicos presentes en los Países Bajos.

Cuando una marea coincide con una tempestad *(marea de tempestad)*, los diques en la zona costera sufren una carga enorme. Unas diferencias en nivel de agua de 6 metros o más tienen que ser compensadas por una construcción geotécnica, realizada en gran parte con materiales terrosos, generalmente arenas y arcillas. A menudo, estos diques tienen una «carga histó-

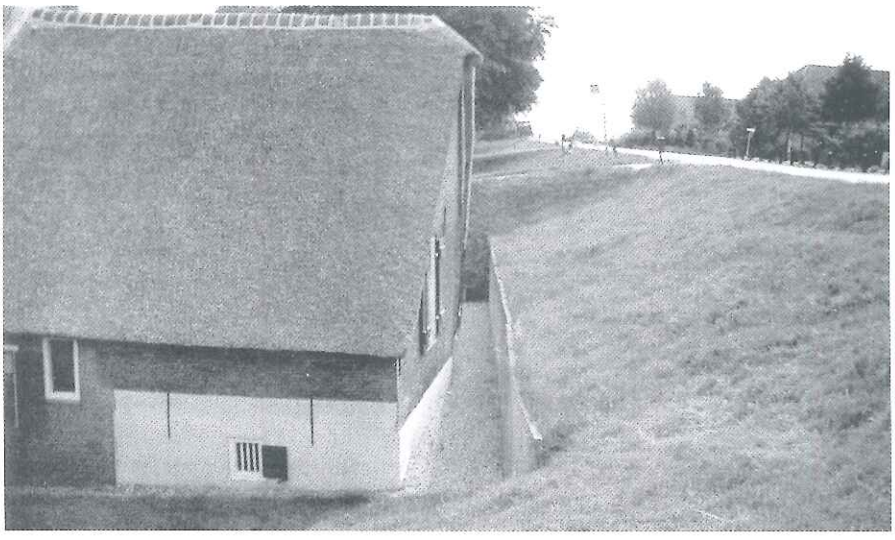


Fig. 1.–Construcciones en el dique del río Lek.

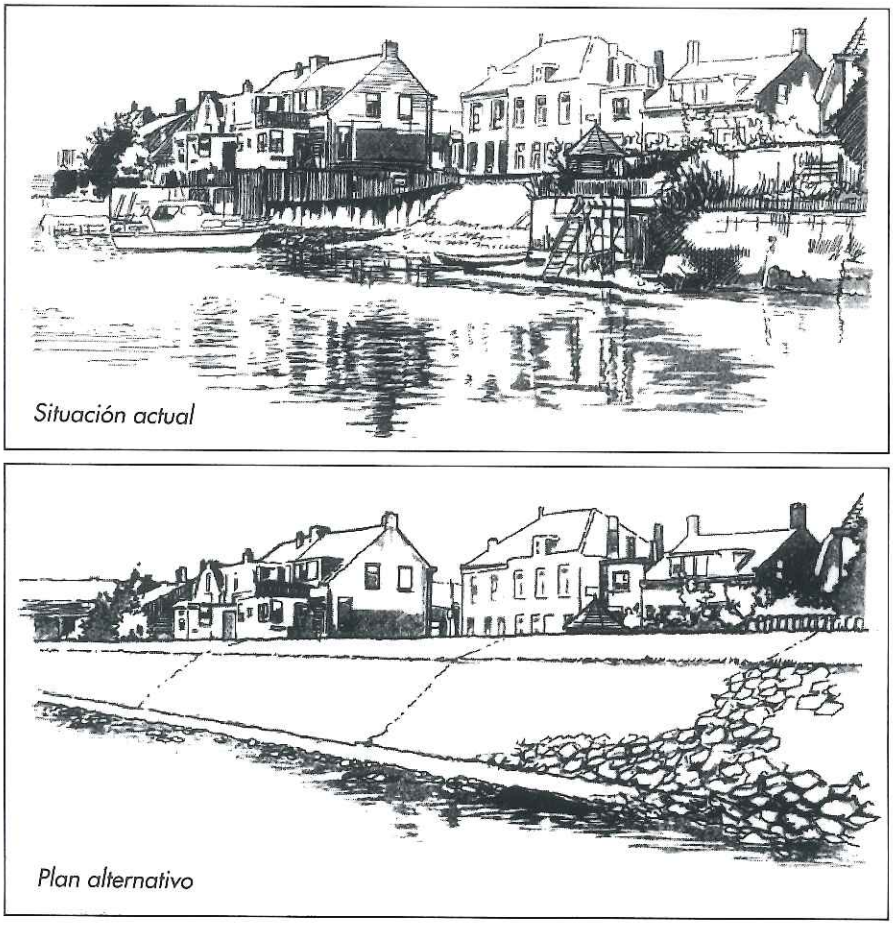


Fig. 2.–Posibles soluciones para reforzar el dique de Sliedrecht.

rica», en el sentido de que por representar un lugar alto y seguro, se han construido casas y otros «elementos extraños» encima o dentro de ellos (**Fig. 1**). Estos «elementos extraños» constituyen, generalmente, una amenaza para la seguridad del dique durante una marea de tempestad o en tiempos de descargas fluviales extremadamente altas. Sin embargo, son elementos tan típicos en el paisaje holandés, que su demolición suele causar un gran malestar social, lo que a su vez supone un desafío adicional para los ingenieros geotécnicos y de obras hidráulicas (**Fig. 2**). Cualquier posible mecanismo, incluyendo los «elementos extraños», que pueda causar la defensa contra el agua a sucumbir, tiene que ser superado en el diseño de los diques que, desde la catastrófica inundación de 1953, tienen que garantizar un grado más alto de protección contra este tipo de desastres.

Un subsuelo singular

Holanda está situada en el borde de la Cuenca del mar del Norte, que desciende de forma continua y que, desde la Era Terciaria hasta la actualidad, ha sido rellenado parcialmente de sedimentos. Por tanto, el substrato está compuesto, desde la superficie hasta una profundidad de varios cientos de metros, por sedimentos poco coherentes y escasamente consolidados, conntercalaciones arcillosas de edad terciaria y origen marino, que constituyen unas barreras impermeables para los flujos de agua subterránea. La presencia de estos estratos arcillosos es importante a la hora de diseñar los sistemas de drenaje.

Durante el Cuaternario, bajo una alternancia de climas cálidos y fríos y mediante una combinación de procesos glaciales, eólicos, marinos y fluviátiles, se depositaron potentes estratos de gravas, arenas, arcillas y restos de morrenas, que en su conjunto constituyen el denominado Pleistoceno. La parte superior del Pleistoceno está formado, generalmente, por capas de arenas con una muy alta capacidad de carga, que son los que el ingeniero geotécnico utiliza como base para sus construcciones.

En el corte geotécnico de Holanda, representado esquemáticamente en la **Fig. 3**, se puede apreciar que el techo de los depósitos pleistocenos en el Oeste de Holanda se encuentra a unos 20 metros por debajo del nivel del mar actual. La transgresión de los últimos 10.000 años ha causado el depósito de capas arcillosas y limosas poco consolidadas, con turberas de entre 3 y 6 metros de potencia. En este paquete holoceno se encuentran, además, acumulaciones alargadas de arenas, que han sido los lugares preferidos de asentamiento de los primeros habitantes de estas tierras. Pronto, el importante crecimiento de la población y la intensificación de las comunicaciones sociales obligaron a utilizar toda la superficie del país, lo que trajo consigo una serie de problemas con respecto a la cimientación de carreteras y construcciones.

El proceso dinámico-genético que ha formado el país, ha creado un subsuelo generalmente muy heterogéneo en cuanto a estructura y composición, tanto en el sentido vertical como horizontal. Para obtener un buen conocimiento de las diversas condiciones del suelo, a menudo se tiene que efectuar un estudio geotécnico muy amplio.

Los depósitos pleistocenos

En líneas generales, se puede caracterizar el suelo holandés tal como viene representado en la **Fig. 4.** En el Este y Sur afloran los depósitos areno-

Las arenas pleistocenas sirven como base para las construcciones.

sos del Pleistoceno. Para los edificios en esta zona, casi siempre una cimentación en losa, es decir de poca profundidad, resulta suficiente. El hundimiento de los mismos se limita normalmente a unos centímetros.

En el Oeste y el Norte, los depósitos resistentes de arenas pleistocenas están cubiertas por capas poco consolidados de arcillas y turba, las cuales

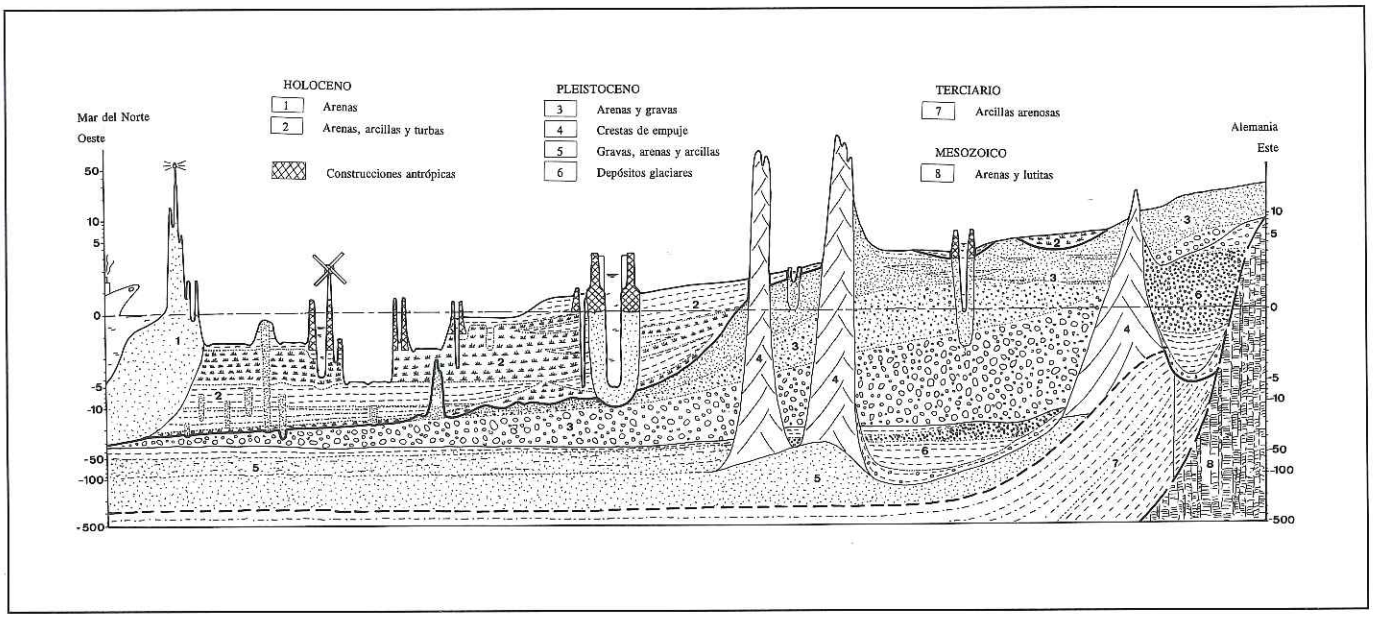


Fig. 3.–Esquemático corte geotécnico de Holanda.

son poco resistentes y muy susceptibles a la compresión. En estas regiones, desde tiempos remotos se aplican cimentaciones de pilotes para transferir la carga de los edificios hacia suelo firme. Los pilotes medios miden entre 20 y 25 metros, aunque en el caso de edificios muy pesados se ha llegado a utilizar pilotes de más de 60 metros.

Este tipo de cimientos no es, salvo en alguna excepción, el adecuado para carreteras, ferrocarriles y diques, en cuyo caso el cuerpo arenoso que sirve de base para la construcción o el cuerpo terroso (p.e. en el caso de diques), se apoya directamente en el suelo blando. La arena procede generalmente de graveras cercanas y es transportada a la obra en suspensión y por conductos.

El peso del cuerpo de arena comprime los estratos de arcilla y turba, lo cual ocasiona grandes ajustes, de hasta varios metros, en el nivel de la carretera o del dique. Estos ajustes tendrán que ser compensados mediante la aplicación de arena adicional en la base de la construcción. Debido a la baja permeabilidad y la gran potencia de las capas de turba y arcilla, el proceso de ajuste puede durar muchos años. Por este motivo, los últimos 30 años se está aplicando un drenaje vertical en los cuerpos arenosos que sirven de base para las carreteras. Este sistema permite acortar el período de consolidación de tal forma, que después de la inauguración de una carretera sólo se producen ajustes reducidos. Los movimientos, que en gran parte se deben al proceso segundario de ajuste, compa-

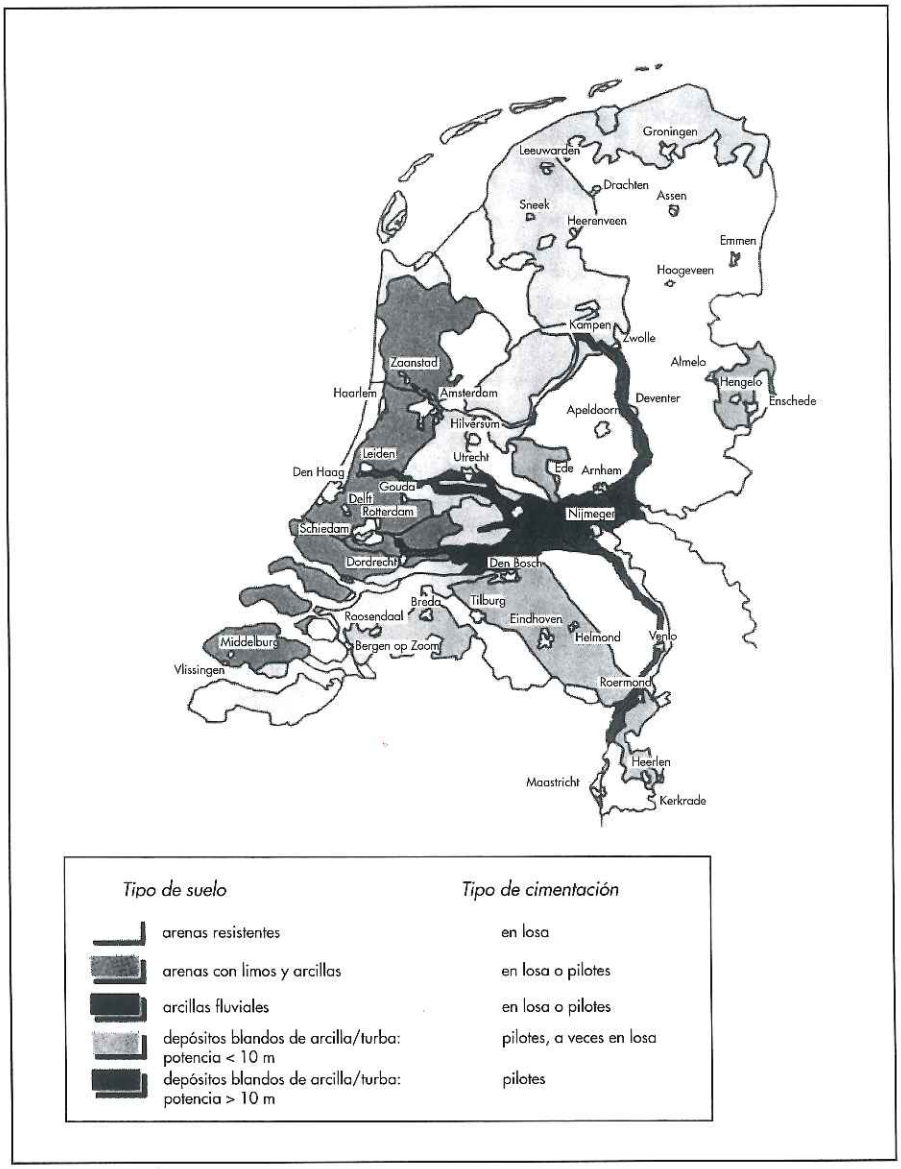


Fig. 4.–Caracterización geotécnica del suelo holandés.

rable con la reptación, no se distribuyen de manera uniforme y provocan ondulaciones en el firme.

Estudios geotécnicos

Para poder diseñar una carretera o las cimentaciones de un edificio correctamente, es preciso efectuar un estudio geotécnico para conseguir datos adecuados y fiables acerca de la composición y las propiedades del suelo. Estos datos son importantes a la hora de calcular, especialmente, la capacidad de carga de las cimentaciones de pilotes y para la determinación de posibles ajustes en las carreteras. Las propiedades del suelo tienen que ser caracterizadas mediante una serie de parámetros representativos, como son: la potencia de los estratos, la profundidad de los materiales pleistocenos, el nivel freático, la resistencia al corte y la compresibilidad. El estudio geotécnico también tendrá que facilitar información fiable sobre la dispersión de dichos parámetros, para poder determinar unos márgenes seguros respecto al estado límite terminal y al estado límite de utilidad.

Después de la transformación de la mecánica del suelo de una disciplina basada exclusivamente en la experiencia, a una ciencia exacta, a raíz del trabajo revolucionario de Terzaghi, también en Holanda muchos técnicos, siguiendo las huellas de Keverling Buisman, se han dedicado intensivamente al desarrollo de este campo. En el caso particular de los Países Bajos, este proceso estaba, y todavía está, lógicamente, enfocado principalmente en la construcción sobre y con materiales blandos. Precisamente a causa de la baja capacidad de carga del suelo, el ingeniero tiene que aprovechar al máximo la poca resistencia existente.

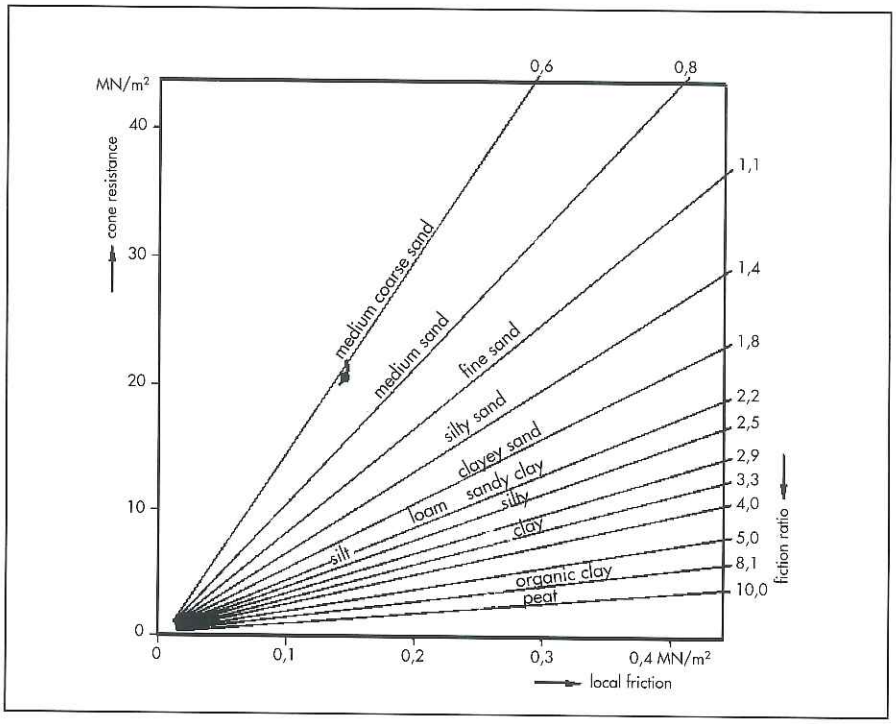


Fig. 5.–Diagrama para la determinación del tipo de suelo en base a los resultados de un CPT con la medición de la tensión máxima de cizallamiento.

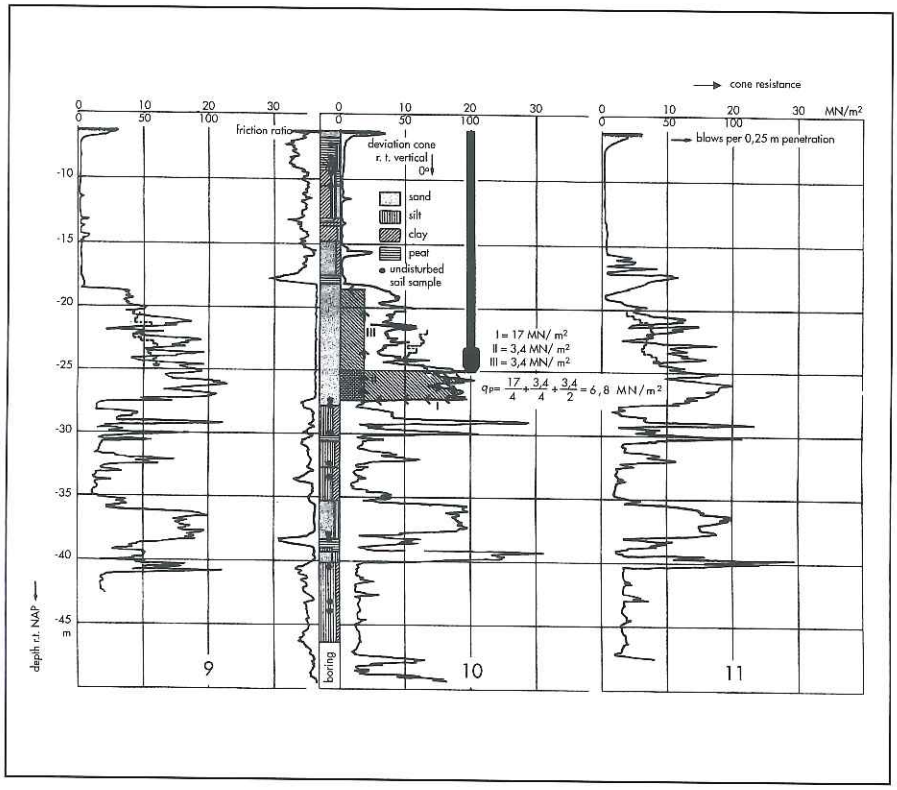


Fig. 6.–Ensayos CPT realizados para la construcción de un edificio en Rotterdam.

Los CPT

Los ensayos de laboratorio con muestras no alteradas siempre dan valores más bajos para las propiedades de la resistencia al corte de las que realmente existen en el suelo. Por este motivo, es muy importante determinar estas propiedades in situ, de forma directa o indirecta. En los Países Bajos, estas condiciones han dado lugar al invento en 1937 por Barentsen, del Metodo de Sondeo Holandés. Inicialmente, fue utilizado exclusivamente para la determinación de la potencia de las capas de arcilla y turba en la parte más superficial del suelo en el trazado de carreteras. En los años después de la segunda guerra mundial, esta técnica evolucionó hacia la *Cone Penetration Test* o CPT, que ahora se aplica en todo el mundo. La *International Society for Soil Mechanics and Foundation*

Fig. 7.–Edificio de los ensayos de fig. 6.

Engineering ha estandardizado este método, junto a otras pruebas de penetración.

Después de que Begemann logró medir, aparte de la resistencia de penetración del punto del cono, la tensión máxima de cizallamiento del suelo en un manguito de rozamiento, el método puede utilizarse también para la determinación del tipo de suelo, en base a la *cociente de fricción,* que consiste en la proporción entre la resistencia al corte máxima en el manguito de rozamiento y la resistencia de penetración del cono, utilizando en los cálculos el diagrama representado en **Fig. 5**. Esta nueva técnica ha ampliado con mucho el campo de aplicación de los CPT. Si no se necesitan muestras no alteradas para ensayos de laboratorio, generalmente ya no hace falta realizar sondeos.

El método CPT se aplica a gran escala en Holanda, realizando anualmente entre 50.000 y 100.000 ensayos de este tipo con las máquinas más modernas, que instantáneamente efectúan los cálculos en base a los datos obtenidos. El método es rápido, proporciona resultados directos y alcanza profundidades de más de 50 metros.

En la **Fig. 6** se muestran los resultados de los CPT número 9, 10 y 11, que se realizaron en Rotterdam para el diseño de la cimentación con pilotes de un edificio de 22 plantas (ver **Fig. 7**). En el diagrama del CPT número 11, se ha representado además el penetrograma de un pilote hormigonado y apisonado *in situ,* cerca del CPT.

En Holanda, el diseño geomecánico de una cimentación de pilotes se basa completamente en el método CPT, considerando éste como un ensayo de presión sobre un pilote modelo de pequeño diámetro. Partiendo de la norma que define la resistencia del punto de un pilote real como la media de las resistencias del cono sobre un trayecto de suelo, que va desde el nivel situado a ocho veces el diámetro del extremo del pilote por encima del punto del mismo, hasta el nivel situado a cuatro veces el diámetro por debajo, se transforman los resultados del CPT en resistencias máximas del punto del pilote (ver **Fig. 8**).

En la determinación del valor medio de la resistencia del cono, se toma en cuenta especialmente las resistencias bajas en la zona denominada 4D/8D. En el resultado de CPT n.° 10 de la **Fig. 8**, este cálculo ha sido representado esquemáticamente para un pilote prefabricado con pie ampliado de 0,71 * 0,71 metros, que se utilizó en la obra. En la construcción de cimentaciones donde, para la colocación de los pilotes, como los barrenados, en que se extrae tierra, hay que considerar en los cálculos de la capacidad máxima de carga de los pilotes, en base a los resultados de los CPT, que se produce una reducción de las resistencias del cono, tanto por encima como por debajo del pie del pilote. Este fenómeno, que se produce sobre todo en depósitos de arenas por debajo del nivel freático,

Anualmente, en Holanda se realizan entre 50.000 y 100.000 ensayos de tipo CPT.

está relacionado con una reducción de la tensión en esta zona del suelo como consecuencia de la presencia del taladro. En **Fig. 9**, donde se muestra un CPT anterior de la fabricación de los pilotes de taladro y otro posterior, se puede apreciar claramente este efecto. Normalmente, se corrige esta reducción mediante la aplicación de un factor de corrección sobre el resultado de los cálculos con los CPT anteriores a la operación de taladro.

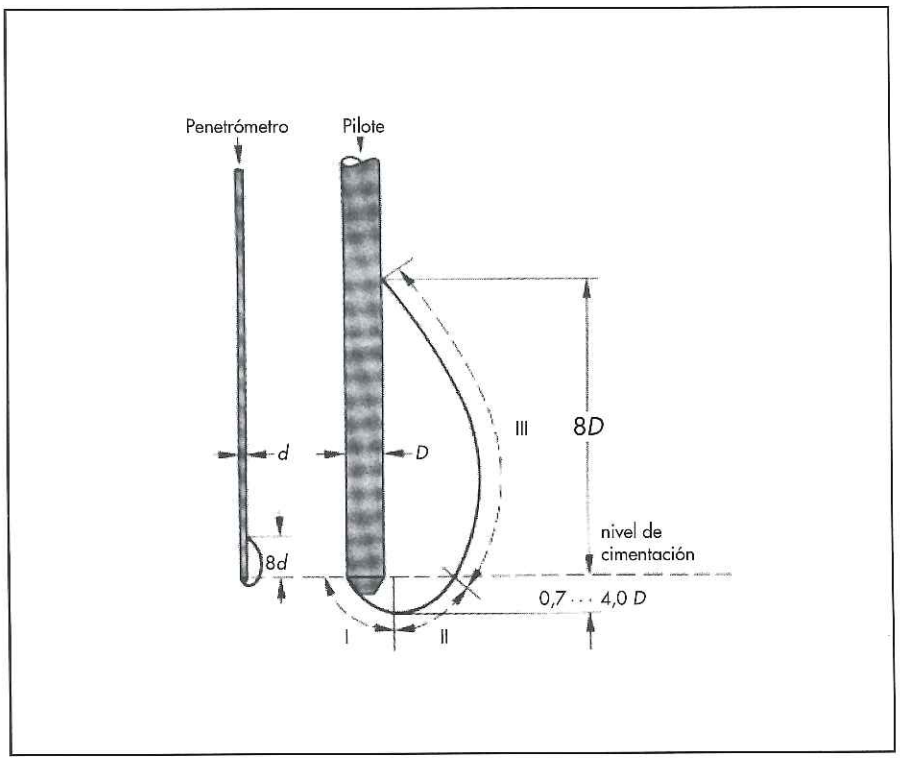


Fig. 8.–El CPT como modelo de un pilote real.

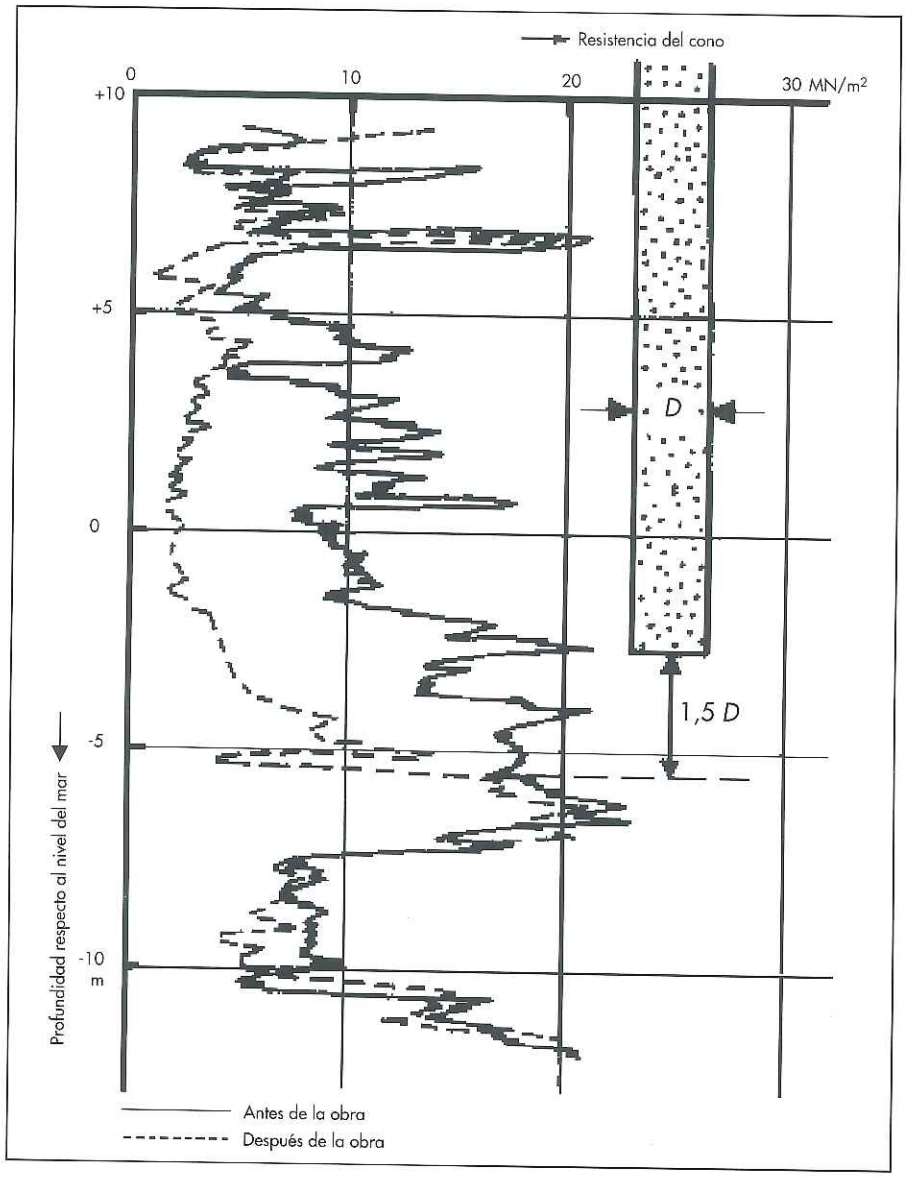


Fig. 9.–La influencia de la fabricación de los pilotes en la resistencia del cono.

El método CPT se presta también por excelencia para los estudios geotécnicos para carreteras, aeropuertos y diques, y con este fin se utiliza a gran escala en los Países Bajos. En base a la combinación de la resistencia del cono y la resistencia al corte se puede conseguir, de forma rápida, un modelo de la composición y capacidad de carga del suelo y de las variaciones probables de estos parámetros. La técnica no facilita, sin embargo, datos fiables sobre las propiedades de compresión, permeabilidad y resistencia al corte máxima con drenaje de las capas de arcilla y turba, que, bajo el peso de la carga que constituye una carretera o dique, se comprimen y posiblemente se rompen. Estos datos se tienen que obtener a partir de ensayos sobre muestras no alteradas de las diferentes capas que constituyen el suelo. En base a los CPT se puede establecer una planificación óptima para los sondeos y el muestreo a realizar.

La perforación continua

Con esto, todavía queda por solucionar el problema de obtener muestras no perturbadas de estratos muy poco consolidadas. Durante el proceso de perforación, que en Holanda se suele realizar mediante sondeos de percusión, siempre se producen perturbaciones en el suelo situado por debajo del taladro, que es exactamente la zona a muestrear. Para evitar este efecto, Begemann desarrollo la denominada *per-*

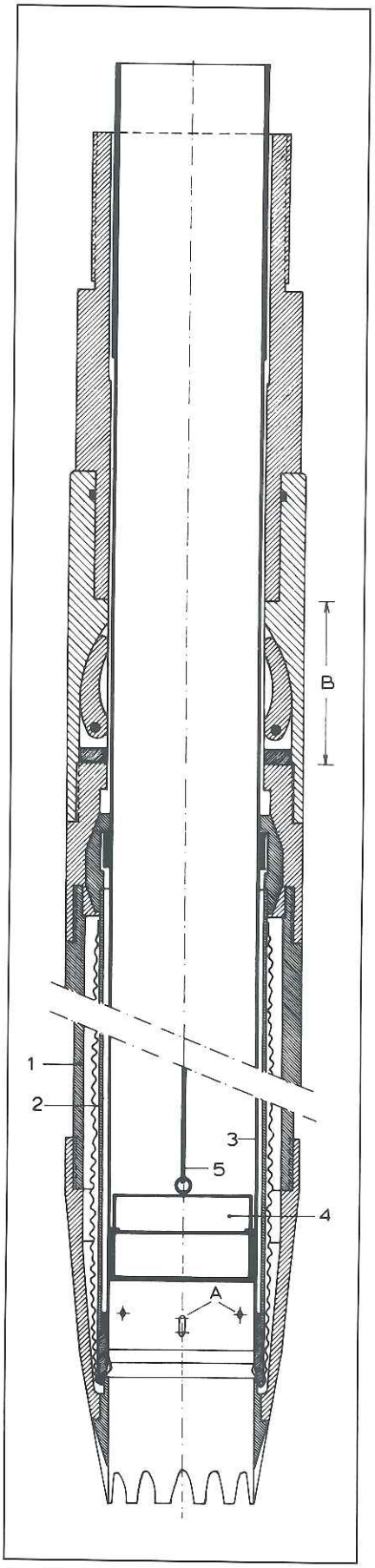
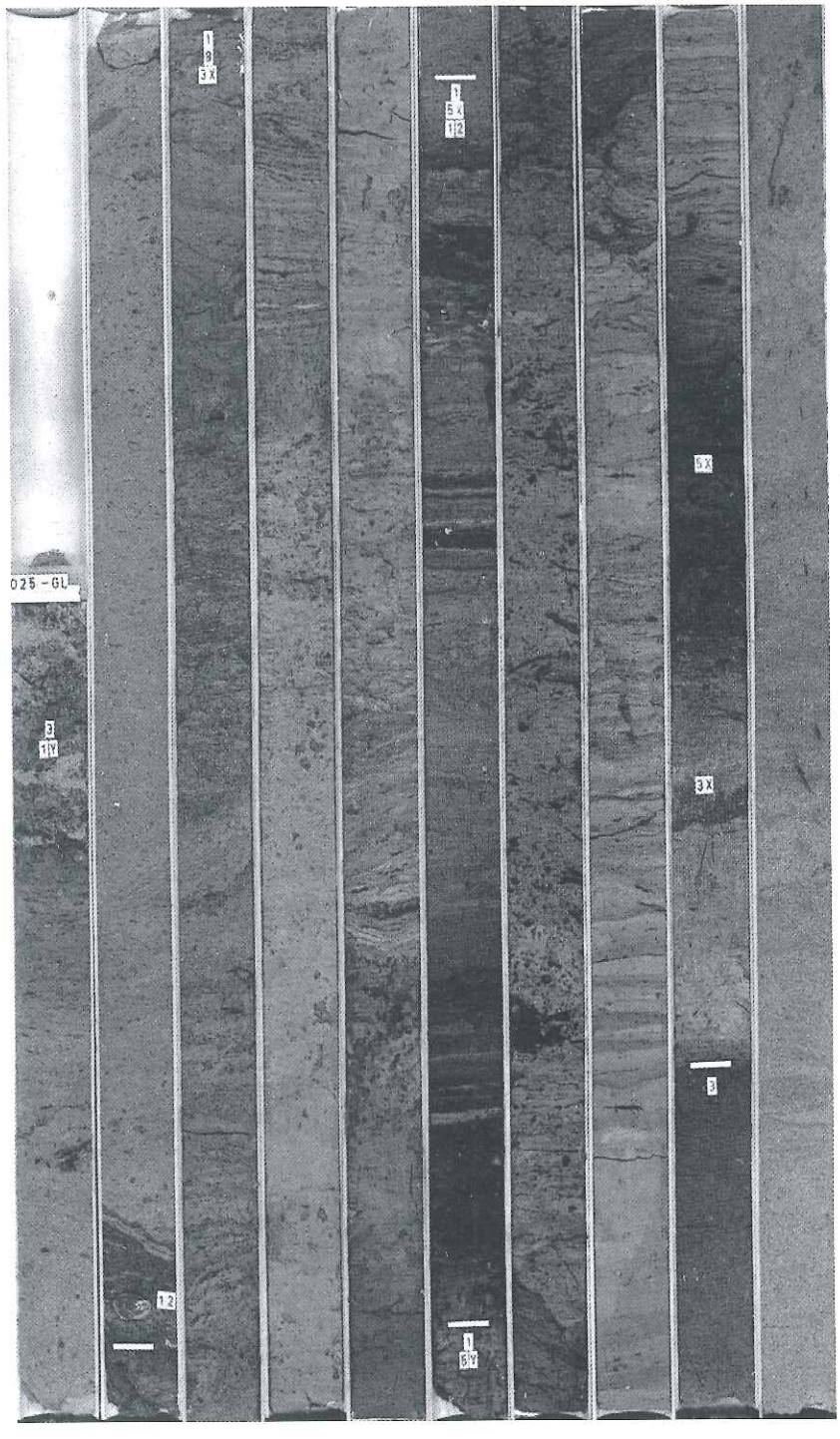


Fig. 10.–Aparato para la toma de muestras continuas.

foración continua, que permite obtener un testigo continuo de todo el paquete de capas blandas. El diámetro de los testigos es de 29 ó de 66 mm, mientras que pueden tener un largo de hasta 15 ó 20 metros.

Los testigos de 29 mm se utilizan principalmente para conseguir información acerca de la litología y estratificación del suelo. De los de 66 mm, se pueden tomar muestras para ensayos triaxiales, de compresión y de permeabilidad. **Fig. 10** muestra el aparato que produce el testigo de 66 mm. Las mismas máquinas que realizan los CPT sirven para introducirlo en el suelo.



Directamente después de que el borde cortante del aparato haya cortado el testigo, una lámina de nylon envuelve a éste para evitar la pérdida de líquido por el testigo. Esta envoltura, en combinación con un líquido lubrificante, hace que no se produzca una fricción notable entre el testigo y el interior del tubo de muestreo, que recoge el testigo durante la perforación. En la **Fig. 11** se ve un testigo cortado, que claramente no ha sufrido perturbaciones importantes.

La situación actual

La geotécnica en Holanda es una especialidad muy solicitada por el mundo de la construcción. Decenas deempresas, tanto grandes como pequeñas, realizan rápidamente estudios geotécnicos sobre el terreno, en los cuales los CPT, realizado según la normativa holandesa, constituyen un componente importante. Dado que la eficacia ha aumentado mucho y también debido a la fuerte competencia, el precio por CPT se ha mantenido bajo.

Hace poco, en Holanda ha entrado en vigor una nueva normativa geotécnica, que se aplica principalmente en la realización de las cimentaciones. A grandes rasgos, esta normativa sigue los principios generales, expresados en el Eurocódigo 7 para la Geotécnia.

Las empresas holandesas dedicadas a la geotécnia seguramente podrán jugar un papel importante en el mercado europeo de la construcción, dado que poseen los medios adecuados y disponen del apoyo de instituciones de enseñanza con un utillaje moderno, como la Universidad Politécnica de Delft, e institutos de investigación de primer orden, como Delft Geotechnics (Grondmechanica Delft), Delft Hydraulics (Waterbouwkundig Laboratorium), y las diversas secciones de T.N.O., una institución estatal holandesa para la investigación y aplicación de las ciencias naturales. ■

Fig. 11.–Testigo continuo tomado con el aparato de la figura 10.

PLAN DE PENSIONES DE LOS GEOLOGOS

ESTAS SON ALGUNAS DE SUS VENTAJAS:

* Le ayudará a mantener su nivel de vida cuando se jubile
* Las aportaciones efectuadas son fiscalmente deducibles
* Por ser exclusivo para los geólogos, el Plan tiene una reducción de gastos, de este modo su ahorro es más rentable
* El Plan está gobernado por los geólogos

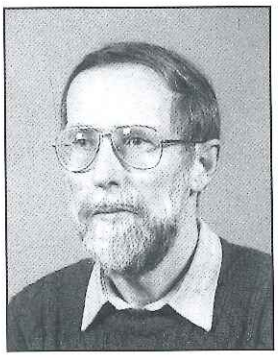
- SI USTED YA TIENE UN PLAN DE PENSIONES INDIVIDUAL, PUEDE TRASPASARLO AL PLAN DE LOS GEOLOGOS Y BENEFICIARSE ASI DE SUS VENTAJAS.

- SI USTED TODAVIA NO TIENE UN PLAN DE PENSIONES, ESTA ES UNA VENTAJOSA OPORTUNIDAD.

Para ampliar información sobre alguno de estos servicios, diríjase al Colegio Oficial de Geólogos o bien a cualquier sucursal del Grupo Banco Popular.

tu futuro, nuestro futuro

LA SISMICIDAD EN LOS PAISES BAJOS



G. Houtgast

Después de terminar la carrera de Geografía Física, el autor entró en el Departamento de Sismología del Real Instituto Meteorológico de Holanda, Wilhelminalaan 10, 3730 AE de Bilt (Holanda). Su trabajo se dirige hacia el estudio de la sismicidad y tectónica en los Países Bajos y la información al público sobre la sismología. Recientemente publicó el «Catálogo de Terremotos en los Países Bajos», KNMI, Postbox 201, 3730 AE de Bilt (Holanda).

Los Países Bajos no forman parte de una zona de fuerte actividad sísmica. Sin embargo, a veces se producen movimientos sísmicos que pueden causar daños considerables, como ocurrió durante el terremoto de Roermond, en abril de 1992.

Although the Netherlands do not form part of a strongly active sysmic zone, from time to time earthquakes do occur that may cause considerable damage, like the Roermond earthquake from april 1992.

En Holanda, la atención prestada a la sísmica ha aumentado de forma considerable, tanto por el registro, desde 1986, de una serie de pequeños terremotos en el Norte del país, como por el terremoto fuerte y destructivo, ocurrido durante la noche del 12 al 13 de abril de 1992 en Roermond (Sur de los Países Bajos).

Por otra parte, el Real Instituto de Meteorología de Holanda (KNMI) publicó, a finales de 1991, un catálogo de todos los terremotos registrados y sentidos en Holanda. Los terremotos en

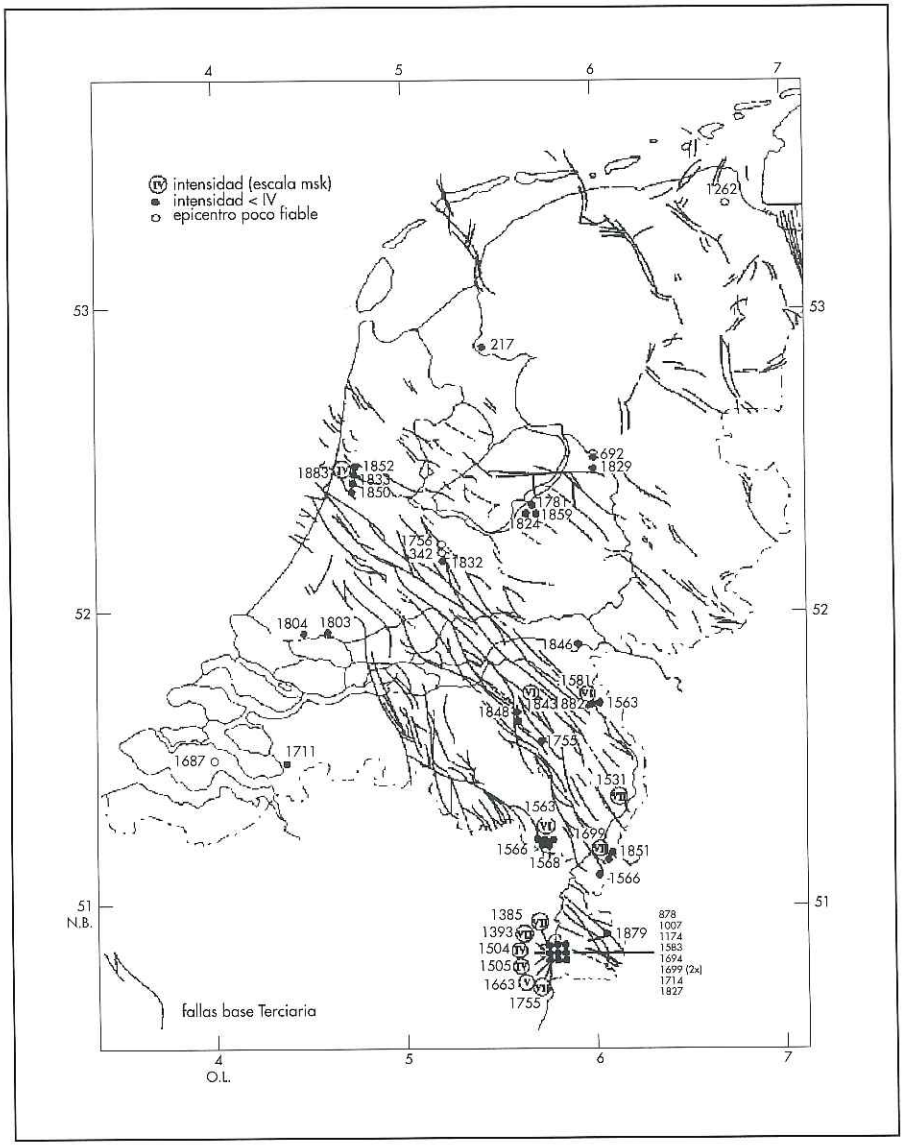


Fig. 1.–Epicentros en los Países Bajos de 217 hasta 1900.

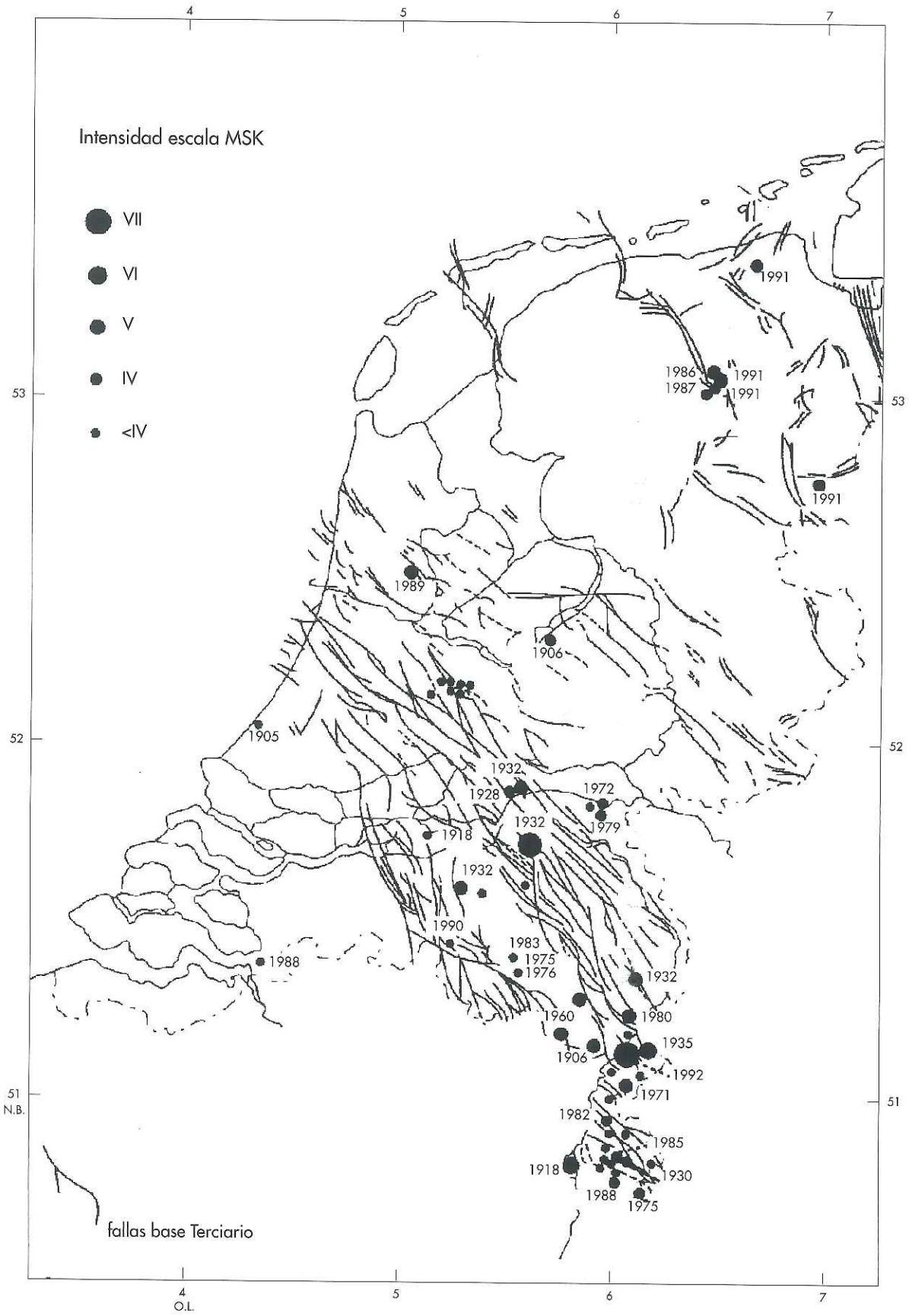


Fig. 2.–Epicentros en los Países Bajos de 1900 hasta 1992.

los Países Bajos parecen ser un fenómeno más común de lo que se suele pensar.

Zonas sísmicas

En Holanda sólo se producen terremotos muy superficiales. La profundidad máxima de los mismos es de unos 30 km, aunque la mayoría ocurren todavía más cerca de la superficie. El mapa de epicentros (**Figs. 1 y 2**) muestra que la actividad sísmica en los Países Bajos se concentra en determinadas zonas, de las cuales la más importante se sitúa en el Sureste del país y está ligada a un sistema de fallas con una orientación SE-NO. La actividad sísmica, que disminuye gradualmente hacia el Noroeste, es una consecuencia de un movimiento expansivo continuo en la corteza terrestre, que provoca repentinos ajustes en el sistema de fallas. Esta zona se caracteriza, consecuentemente, por terremotos puramente tectónicos, relacionados con movimientos geológicos naturales en la corteza terrestre.

Una segunda zona, que sólo da muestras de actividad desde 1986, se encuentra en el Noreste de Holanda. Los epicentros de los terremotos se sitúan todos cerca de los campos de gas natural en explotación. Se trata de sismos muy débiles (con una fuerza de 2,2 hasta 2,8 en la escala de Richter) y con un epicentro muy superficial (profundidad máxima de 3,5 km). El Ministerio de Asuntos Económicos y el

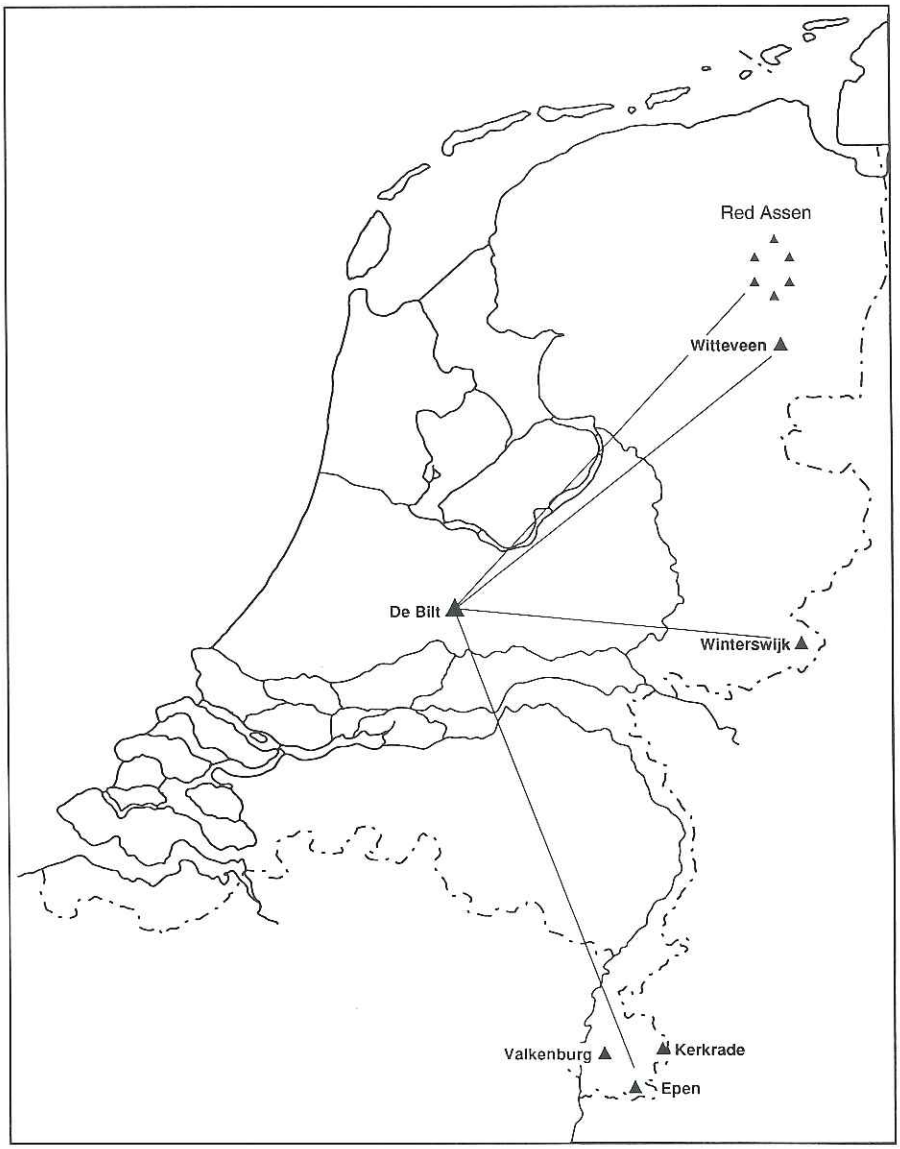


Fig. 3.–Estaciones sísmicas operativas en los Países Bajos.

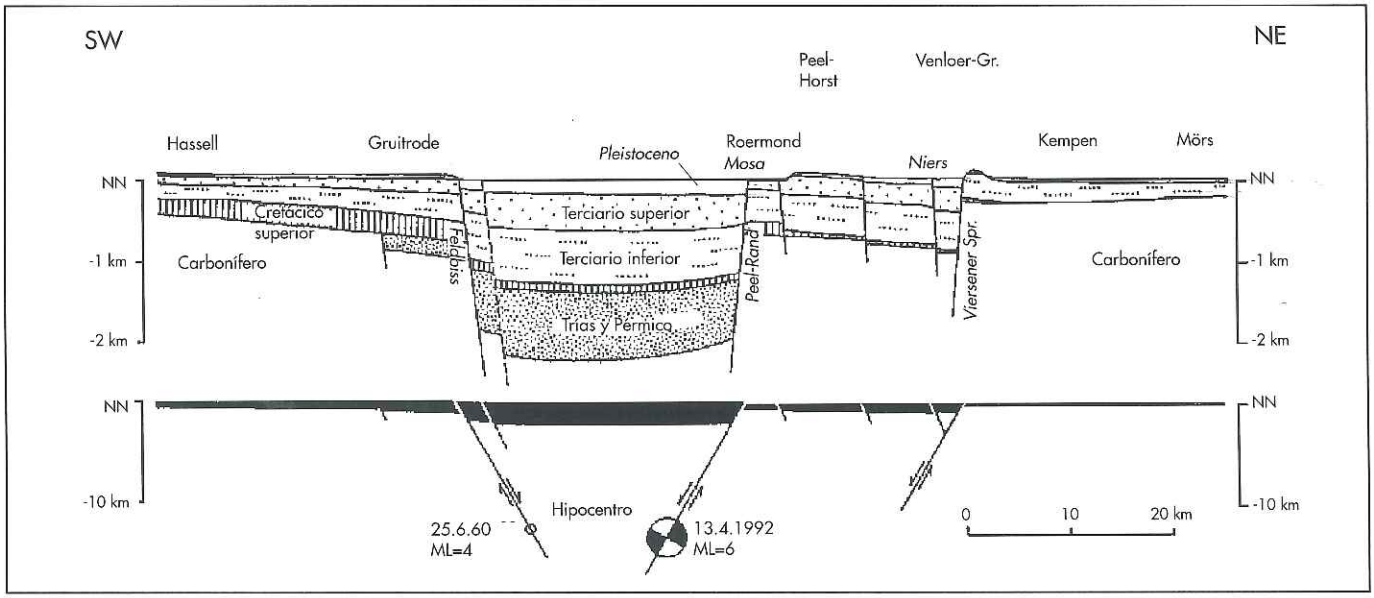


Fig. 4.–Perfil geológico por la parte SE del país, a la altura de Roermond.

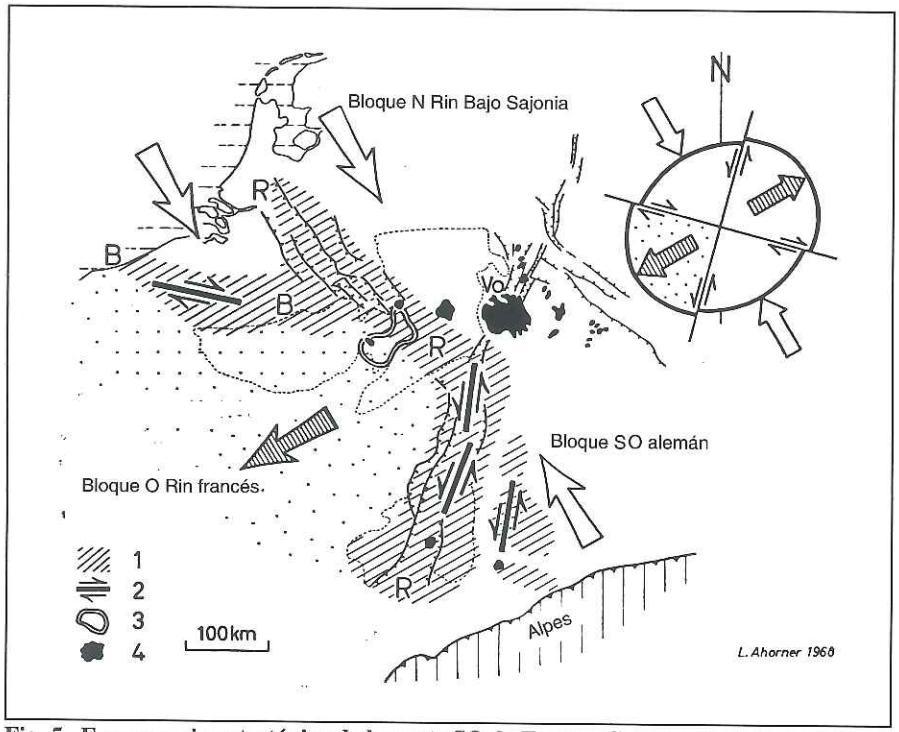


Fig. 5.–Esquema sismotectónico de la parte SO de Europa Central. Las flechas indican el campo de fuerzas actual y el posible movimiento horizontal de bloques. 1 = zonas sísmicas (R = zona del Rin; B = zona de Brabante). 2 = fallas de desgarre sísmicamente activas. 3 = área de volcanismo cuaternario. 4= principales centros de volcanismo terciario.

de Obras Públicas y Transportes han comenzado un estudio multidisciplinario acerca de la supuesta relación con la explotación de gas natural. Por su parte, El KNMI ha instalado una serie de sismómetros en la zona afectada, para poder registrar de forma exacta la actividad sísmica. Esta ampliación de la red sísmica existente era necesaria, ya que la red antigua en Holanda (De Bilt, Witteveen, Winterswijk y Epen) fue diseñada para el registro de sismos en la totalidad del país y en lugares lejanos. Este sistema detecta unos 5 terremotos diarios, repartidos por todo el planeta.

Geología y sismicidad

En el SE de Holanda, la estructura geológica está condicionada, en líneas generales, por un sistema de *horst* y *graben,* que pertenecen al *graben* del bajo Rin. Durante el Cuaternario, en las fallas más activas de la parte noroccidental de esta zona tectónica (la falla del *Peelrand* y la *Feldbiss)* se ha producido un desplazamiento vertical que suma 175 metros.

Según mediciones, en este momento se producen movimientos verticales de 1 mm/año. Como consecuencia de un movimiento expansivo horizontal hacia el SO y NE, ambos bordes del *graben* se han separado entre 100 y 200 m. Evidentemente, esto da origen a tensiones en la corteza terrestre, que frecuentemente producen reajustes en ella. La fuerza máxima de los sismos registrados en la zona del *graben* del bajo Rin es de, aproximadamente, 6 a 6,5 en la escala de Richter. Terremotos de esta fuerza sólo se han producido 3 veces después de 1640 en la zona sismotectónica que comprende el SE de Holanda, el centro de Bélgica y el Oeste de Alemania. En la clase de magnitudes entre 5 y 6, se han detectado 16, teniendo lugar el último el 13 de abril de 1992 en Roermond.

En Holanda sólo se producen terremotos muy superficiales

Los terremotos de esta fuerza pueden provocar, en ciertos casos, unos daños considerables. Los daños a edificios, como consecuencia de un sismo de cierta magnitud, dependen en gran medida de factores como la profundidad del epicentro, la firmeza del suelo en que están cimentados los edificios, la cantidad de ellos por unidad de superficie y, por supuesto, su tipo de construcción. Los factores desfavorables en el caso de Holanda son, por un lado, la escasa profundidad de los epicentros y, por otro, un suelo que en buena parte consiste de paquetes potentes de material no consolidado. Sin embargo, las técnicas de construcción son de una calidad tan buena, que los daños que puede provocar un sismo de cierta magnitud, suelen ser reducidos.

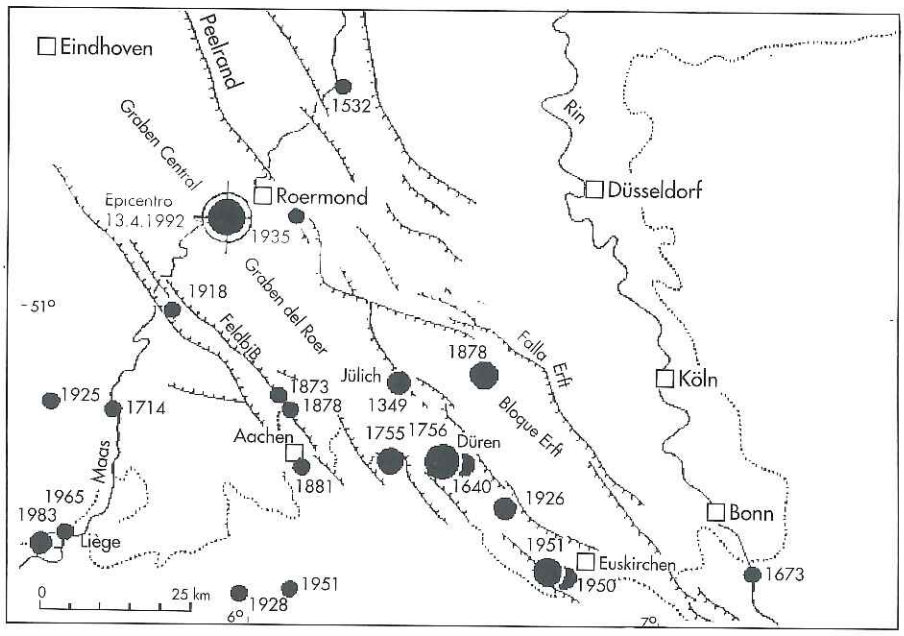


Fig. 6.–Epicentros de los sismos más fuertes en la zona del Graben del Bajo Rin.

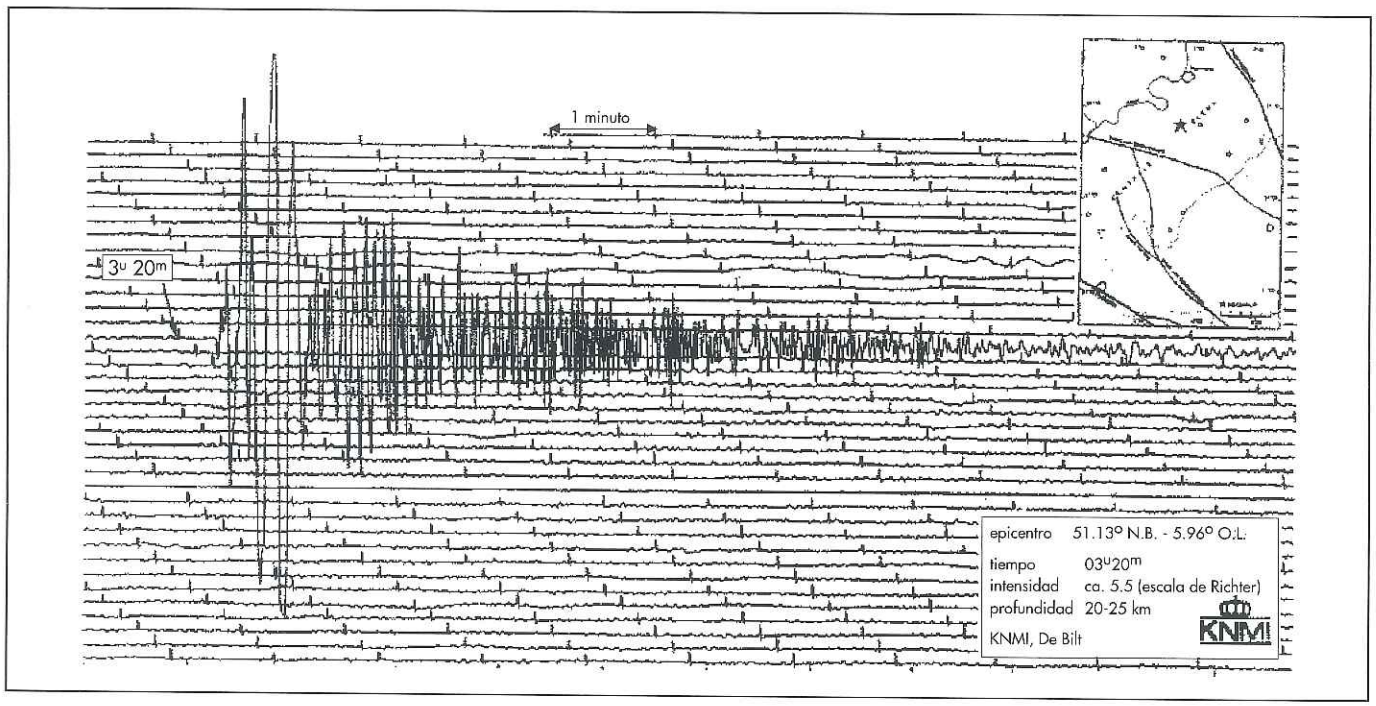


Fig. 7.–Registración sísmica, realizada en de Bilt, del terremoto de Roermond, el 13 de abril de 1992.

El catálogo «Terremotos en Holanda»

Este catálogo, recién publicado por el KNMI, ofrece entre otras cosas un sumario de todos los terremotos ocurridos en territorio holandés y de los que se tiene constancia. El catálogo, que cubre un período de casi 1.800 años, se ha confeccionado utilizando datos históricos, bibliográficos y del registro sísmico. Las observaciones sísmicas empezaron en 1904 en De Bilt y a partir de entonces, los datos sobre este fenómeno son bastante fiables. En los años setenta, se amplió la red de puntos de registro sísmica con una serie de estaciones situadas favorablemente en cuanto al entorno geológico y geográfico. Así, se podía aumentar la precisión de las observaciones considerablemente y, sobre todo, registrar terremotos débiles.

En cuanto a los datos sísmicos de antes del 1900 hay que recurrir a las descripciones que se encuentran en la literatura. Cuanto más se retrocede en el tiempo, menos fiables suelen ser los datos obtenidos, especialmente aquellos procedentes de los archivos de monasterios y ciudades importantes, escritos en tiempos anteriores al entendimiento de los fenómenos sísmicos. En el período anterior a 1500, frecuentemente se citan los terremotos en combinación con, por ejemplo, tempestades, inundaciones, relámpagos e incluso enfermedades y hambruna; en estos casos es cuestionable si se utilizaba la palabra «terremoto» en el sentido que hoy en día tiene, es decir para describir un fenómeno tectónico que afecte la corteza terrestre. También es considerable la incertidumbre sobre la localización de los epicentros citados. En este contexto, llama la atención la gran cantidad de epicentros que el catálogo sitúa en Maastricht, en el extremo Sureste del país, hallados en una descripción de los efectos de terremotos en la «Crónicas de Maastricht». Lo mismo habrá ocurrido sin duda en

Fig. 8.–Grietas y deslizamientos en la orilla del río Mosa, cerca de Roermond, generados por el terremoto del 13 de abril de 1992.

otros lugares. En cualquier caso, el mapa de epicentros para el período entre los años 217 y 1900 sigue en grandes rasgos las líneas generales de la situación geológica y tectónica; sin embargo, algunos casos, como aquellos situados en el SO y el NE de los Países Bajos, son realmente cuestionables, también en cuanto a la fuente bibliográfica y los efectos secundarios descritos. Por lo contrario, los datos obtenidos después del 1900 reflejan fielmente la situación tectónica en Holanda, aunque hay que remarcar que los terremotos débiles y poco profundos, que vienen registrándose recientemente en el Norte de Holanda, incluido el de Purmerend en 1989, se atribuyen a la extracción de gas natural, que en estas zonas se encuentra a una profundidad de 3.000 m.

El terremoto de Roermond

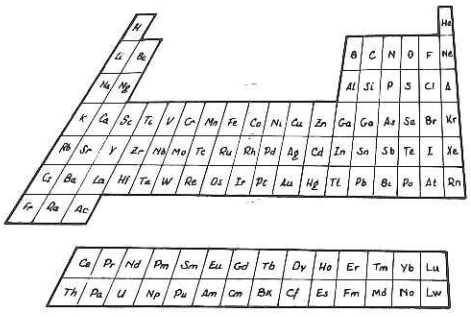
A las tres y veinte de la madrugada de lunes, 13 de abril de 1992, tuvo lugar un terremoto fuerte y destructivo, a pocos kilómetros al Sur de la ciudad de Roermond. Desde el punto de vista geológico, el epicentro del sismo se situó en la parte occidental del *Graben* del Bajo Rin, en la falla Peelrand, que separa el Graben Central (denominada a veces *Graben* del valle del Roer) en el Suroeste, del *Horst* del Peel en el Noreste. La profundidad del epicentro se calculó en aproximadamente 20 km, y la magnitud M (según la escala de Richter) alcanzó el 5,7. Así, fue el terremoto más fuerte jamás registrado en territorio holandés, y uno de los 6 más fuertes (>= 5,5) ocurridos en la zona del Graben del Bajo Rin desde el año de 1640.

Los terremotos débiles y poco profundos se atribuyen a la extracción de gas natural

Se produjeron daños considerables en una amplia zona, y en el área del epicentro se registró una intensidad de VII en la escala de Mercalli (I hasta XII). Los desperfectos ocasionados a casas y edificios en Holanda alcanzaron, según estimaciones, casi los 200 millones de florines (aprox. 32.000 millones de pesetas). El sismo fue senti-

Fig. 9.–Restos de una «fuente de arena», generada como consecuencia de la liquefacción y la formación de grietas en un campo al Sur de Roermond. Durante el terremoto, agua y arena fueron lanzados al aire hasta una altura de varios metros.

V CONGRESO DE BIOQUIMICA DE ESPAÑA



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS
ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE QUIMICOS-ANQUE
CONSEJO SUPERIOR DE COLEGIOS DE INGENIEROS DE MINAS

SORIA 21-24 SEPTIEMBRE 1993

CUPON DE INSCRIPCION

Para mayor información rellene este cupón y envíelo a: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. Avda. Reina Victoria, 8, 4.° B. 28003 Madrid. Teléfono 91-5532403.

NOMBRE Y APELLIDOS .....
EMPRESA .....
DIRECCION ..... N.° .....
POBLACION ..... CODIGO POSTAL .....
PROVINCIA ..... TELEFONO .....

Fig. 10.–Un deslizamiento rotativo en depósitos arenosos de una zona alomada de bosques, cerca de Brunssum.

do en toda Holanda y Bélgica, el Este de Inglaterra, el Norte de Francia y grandes partes de la vecina Alemania, hasta una distancia de 550 km. Posteriormente, se registraron una gran cantidad de pequeñas sacudidas, llegando a producirse, en los primeros 5 días después del movimiento principal, más de 40, de los cuales el más fuerte llegaba a tener una magnitud de 3,7. El estudio de los sismógramas obtenidas en muchas estaciones sísmicas permitió el cálculo de una variedad de parámetros referentes al foco del terremoto. Un análisis previo desvela que el sismo ha sido provocado por un desplazamiento vertical brusco en una falla con rumbo NO-SE (N124E) y buzamiento de 680 hacia el SO, que forma parte de la falla del Peelrand. A partir de los espectros de las señales registradas, se ha podido establecer que a una profundidad de unos 20 km, en el plano de la falla y sobre una superficie de aprox. 15 km^2, se produjo un desplazamiento de algo más de 10 cm. Aparte de los daños sufridos por edificios (chimeneas caídas, paredes agrietadas, estructuras deformadas, etc.), en la superficie y como consecuencia de la liquefacción de sedimentos, se produjeron fenómenos como la formación de grietas, fuentes arenosas y deslizamientos. En varios sitios de las orillas de los ríos Mosa y Roer, se originaron grietas con un ancho de varios centímetros y una profundidad de más de 2 metros, en algunos casos provocando deslizamientos. Dada la coexistencia de paquetes potentes de sedimentos no consolidados de grano grueso y un nivel freático relativamente alto, existe en este área un alto riesgo para este tipo de movimientos.

Ya se ha iniciado un estudio detallado de la relación entre la geología, geomorfología y especialmente la estructura del suelo y los fenómenos observados en la superficie. De este modo se intenta llegar a un mejor entendimiento de la sensibilidad de este área, compuesto por sedimentos poco consolidados, frente a fuertes sacudidas sísmicas, que claramente se pueden producir en esta parte de Holanda. ■

TARJETA VISA GEOLOGOS

Para más información diríjase a cualquiera de las oficinas de:

BANCO POPULAR ESPAÑOL · BANCO DE ANDALUCIA · BANCO DE CASTILLA · BANCO DE CREDITO BALEAR · BANCO DE GALICIA · BANCO DE VASCONIA

Nombre ..... Apellidos .....
Domicilio ..... Ciudad .....
Provincia ..... C.P. .....
Tel .....

Envíe este cupón si desea recibir información en su domicilio sobre la Tarjeta VISA GEOLOGOS del Banco .....

OFICINA DE MEDIOS DE PAGO
Apdo. de Correos 53 F.D.
28080 - MADRID

PETRÓLEO Y GAS EN EL SUBSUELO PROFUNDO DE HOLANDA

Th.H.M. van Doorn.

El autor estudió Ciencias Geológicas en la Universidad de Amsterdam. Ha realizado investigaciones geológicas en, entre otras, las provincias españolas de León, Almería y Granada. Actualmente ocupa el puesto de jefe del Departamento de Geología regional del subsuelo holandés, del Servicio Geológico de Holanda. Está casado con una española y tiene una hija. Servicio Geológico de Holanda, Postbox 157, 2000 AD Haarlem (Holanda).

El subsuelo de Holanda y la plataforma continental del mar del Norte contienen unas reservas importantes de hidrocarburos. Estos recursos han jugado un papel importante en la construcción de la sociedad holandesa actual.

The underground of the Netherlands and the North Sea continental Platform contain important hidrocarbon resourses. Their explotation played an important part in the construction of the present Dutch welfare state.

Los españoles que hayan visitado Holanda, recordarán, aparte de los molinos, los museos y las bonitas ciudades antiguas, un país llano. Incluso la mayoría de los holandeses no conoce su país mejor que tal como ha sido cantado por uno de los mejores poetas holandeses:

«Pensando en Holanda, veo anchos ríos, pasando lentamente por la interminable llanura». (H. Marsman)

Tal como quedará claro en este artículo, el subsuelo holandés no tiene una estructura tan sencilla como sugiere su superficie, más o menos llana.

Los conocimientos del subsuelo han sido conseguidos mediante la interpretación, por el Servicio Geológico Estatal (RGD) y varias compañías petrolíferas, de sondeos y de miles de kilómetros de lineas sísmicas. Los cortes A y B, de **Fig. 1**, muestran directamente cómo el subsuelo holandés, en cuanto al relieve, no tiene nada que envidiar a la Sierra Morena o la Sierra de Guadarrama. Así por ejemplo, existe una diferencia de más de 1500 metros entre el techo del Jurásico Superior al norte del pueblo de Ridderkerk, y el mismo nivel estratigráfico, 30 kilómetros más al Sur (SO de IJselmonde) (perfil B) . El corte A muestra cómo los depósitos Triásicos y Jurásicos, que cerca de P6-A tienen una potencia superior a los 2 kilómetros, están totalmente ausentes a la altura de L12/L15. Aquí, el Cretácico Inferior se apoya directamente en el Pérmico.

El descubrimiento del petróleo y gas en Holanda

A pesar de la importancia que en nuestra época tienen el petróleo y el gas para la economía holandesa (**Figs. 2a, b**), su presencia era desconocida hasta el comienzo de este siglo.

En 1921, durante una campaña de localización de carbón y sal gema, fueron encontrados en Corle, cerca de Winterswijk (Este de los Países Bajos), los primeros 240 litros (aprox. 2 barriles) de petróleo, por el Servicio Estatal de la Localización de Minerales. El siguiente golpe de suerte tuvo lugar en 1938, a la orilla del Mient en La Haya, donde la compañía petrolífera «Bataafsche Petroleum Maatschappij» (BPM) exponía una instalación de sondeos, en el marco de la Exposición Colonial. La BPM ya explotaba petróleo en Indonesia, en aquella época una colonia holandesa. Fue una sorpresa para la BPM el encontrar indicios de petróleo a 461 metros de profundidad. El consiguiente estudio en esta zona llevó finalmente a la concesión de «Rijswijk», que abarca la mayor parte de la provincia de Holanda del Sur (**Fig. 3**). Hasta ahora, en los Países Bajos se han localizado una cuarentena de campos petrolíferos, que en 1991 tenían una producción total de, aproximadamente, 3.670.000 metros

En 1921 fueron encontrados los primeros 240 litros (aprox. 2 barriles) de petróleo en Holanda.

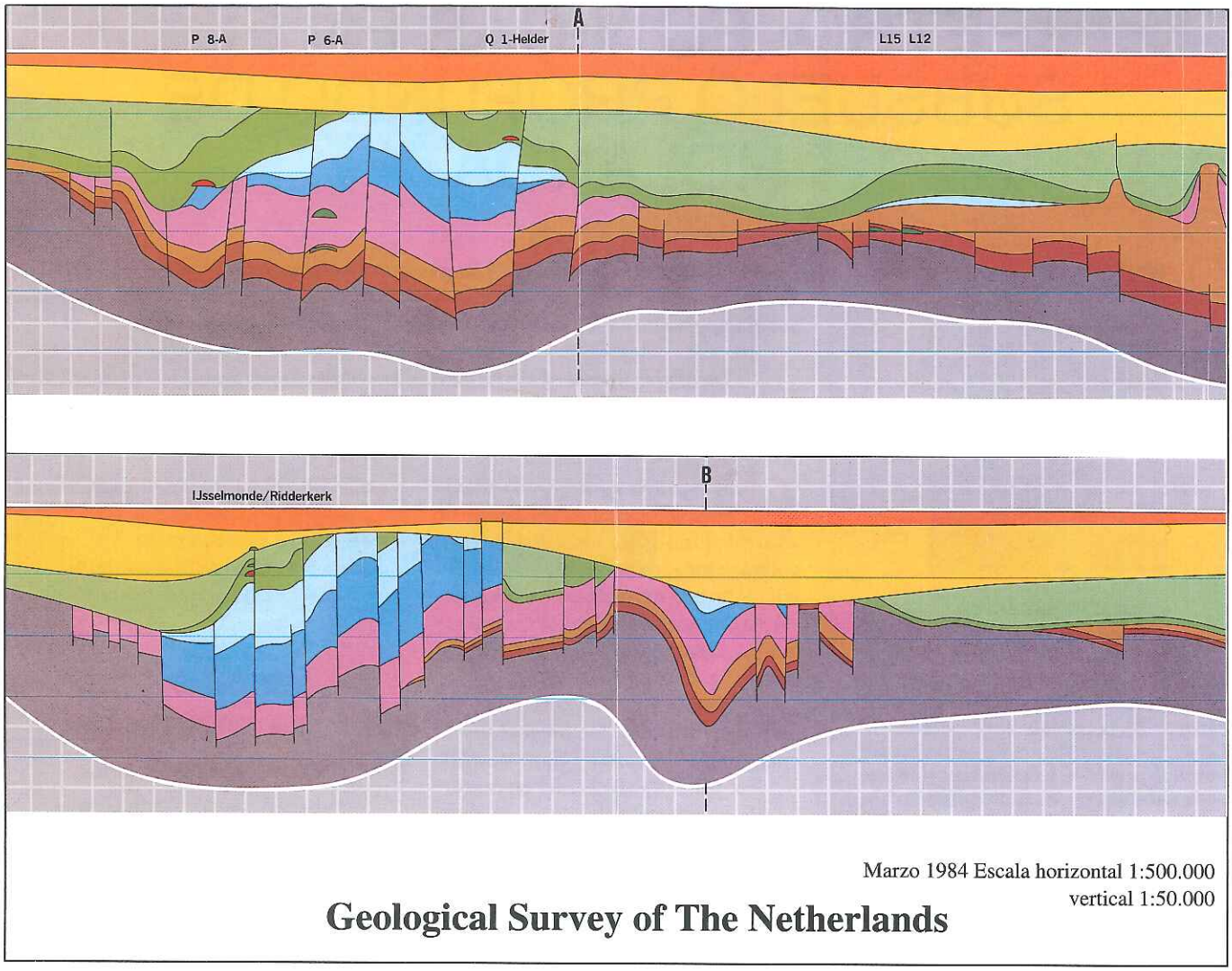


Fig. 1.–Dos cortes geológicos por el subsuelo holandés. Perfil A muestra un perfil esquemático por la plataforma continental, Perfil B por la parte continental del país (ver también fig. 4).

cúbicos de petróleo, lo que equivale a 23 millones de barriles (**Fig. 4**).

La historia del gas holandés empieza en el Este, con el hallazgo de gas cerca de Bentheim, justo al otro lado de la frontera con Alemania. Un estudio intensivo localizó primeramente el campo petrolífero de Schoonebeek, seguido de los hallazgos de gas cerca de Coevorden (1948). En los años posteriores, en diferentes niveles estratigráficos (el Terciario, Triásico, Pérmico Superior y Carbonífero), se encontró gas en formaciones de arenisca, caliza y dolomita.

El sondeo denominado Slochteren-1, que fue el primero en perforar, en 1959, el gigantesco campo de gas de Groninga, supuso el inicio de la exploración y producción de gas en el noroeste de Europa. Este sondeo fue realizado por la NAM (Nederlandse Aardolie Maatschappij), el sucesor de la BPM en Holanda y que depende de las multinacionales Shell y Exxon. En Groninga se perforó el Pérmico Inferior, por debajo de un paquete potente de sales del «Zechstein». El Pérmico Inferior en Holanda está compuesto, sobre todo, por arenas eólicas, sedimentos de «sabkhas», fangos lacustres y evaporitas. Cerca del pueblo de Slochteren, se perforó un paquete de arenas que contenía gas en toda su potencia, la cual supera los 200 metros. Cuando los sondeos de exploración seguían encontrando la formación arenosa, con el mismo tipo de gas a la misma presión, a decenas de kilómetros de distancia de la primera perforación, poco a poco cuajó la idea de que se trataba (en aquellos tiempos) del campo de gas más grande del mundo (corte B). De nuevo se abrió una concesión del tamaño de la provincia de Groninga. La industria petrolífera internacional: Amoseas, Mobil, Texaco, BP, Gulf, Phillips, Agip, Placid, Elf Petroland y muchas otras, se percataron de repente, de que en el subsuelo del noroeste de Europa se encontraban hidrocarburos, cerca de una zona muy industrializada y densamente poblada. Comenzó la «fiebre del oro negro».

El campo de gas de Slochteren fue en su día el más grande del mundo.

En Holanda occidental, una serie de sondeos, como Noordwijk-1 (1955), Monster-1 y Leidschendam-1

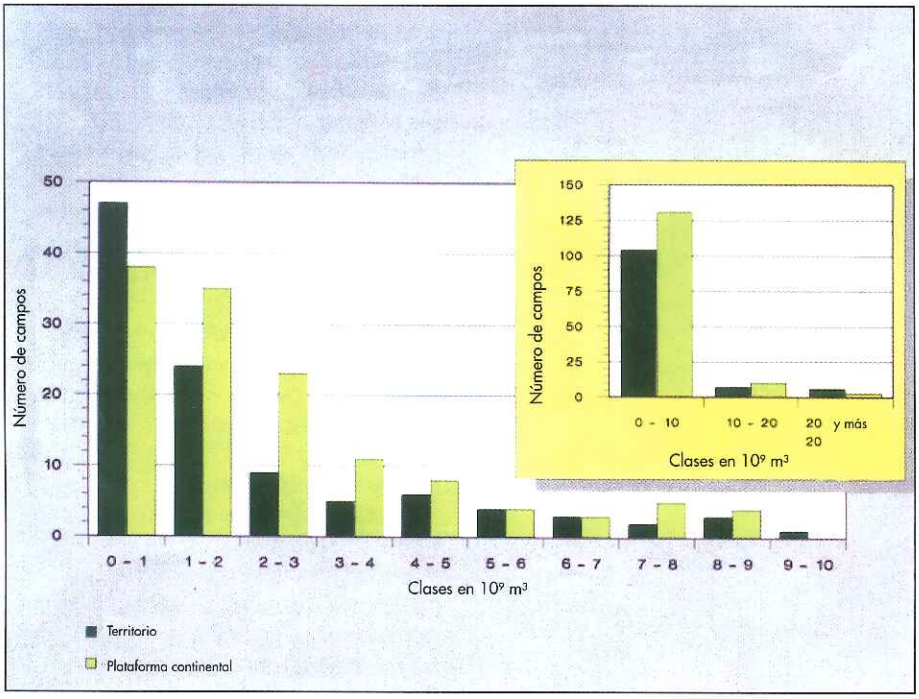


Fig. 2.–Distribución de los diferentes tamaños de los campos de gas, 1 de enero de 1992.

de Minas holandesa, que se basa en la redactada por el régimen napoleónico, de 1810, trae consigo, en líneas generales, que el Estado es el propietario de todas las riquezas del subsuelo y que, contra remuneración, puede adjudicar concesiones para la extracción de minerales. Los recursos mineros presentes en el subsuelo, no pertenecen al propietario del terreno, como es el caso en los Estados Unidos. Así, se adjudican las licencias de explotación (las concesiones) en el mar para un periodo de 40 años, mientras que en la tierra son de tiempo indefinido. La exploración en el mar comenzó en 1968 y el primer resultado positivo fue la perforación L2-1 de la NAM.

Holanda dispone en estos momentos de, aproximadamente, 110 campos productivos de gas y de otros 150 que aún no son explotados. Las **Figs. 5a, b, y 6a, b** muestran que Holanda, después de un gran número de años de producción, aún dispone de unas reser-

(1957), habían demostrado una cantidad reducida de gas. En 1964, el sondeo Middelie-1 constató la presencia de gas en el noroeste de Holanda, lo que llevó a la solicitud de la concesión de Alkmaar, que abarcaba prácticamente toda la provincia de Holanda del Norte. Las protestas de varias compañías y el hallazgo por parte de Amoco en Schermer-1, tuvieron como consecuencia que las nuevas concesiones iban a tener un tamaño bastante más pequeño que las de Rijswijk y Groninga (**Fig. 3**). A finales de 1964, la compañía francesa Elf Petroland se unió al grupo de los afortunados, tras el éxito de la perforación de Slootdorp-1.

Dado que los campos de gas y petróleo no respetan los límites entre mar y tierra, las compañías petrolíferas consideraron, y con razón que bajo el fondo del Mar del Norte se podría encontrar también gas. En 1964 entró en vigor el Tratado de Ginebra, que regulaba, en lineas generales, el reparto de la plataforma continental del Mar del Norte. Para la parte que correspondía a Holanda, se redactó una nueva Ley de Minas, que regulaba algunos asuntos en el mar de diferente manera a como lo hacía la antigua en la tierra. La Ley

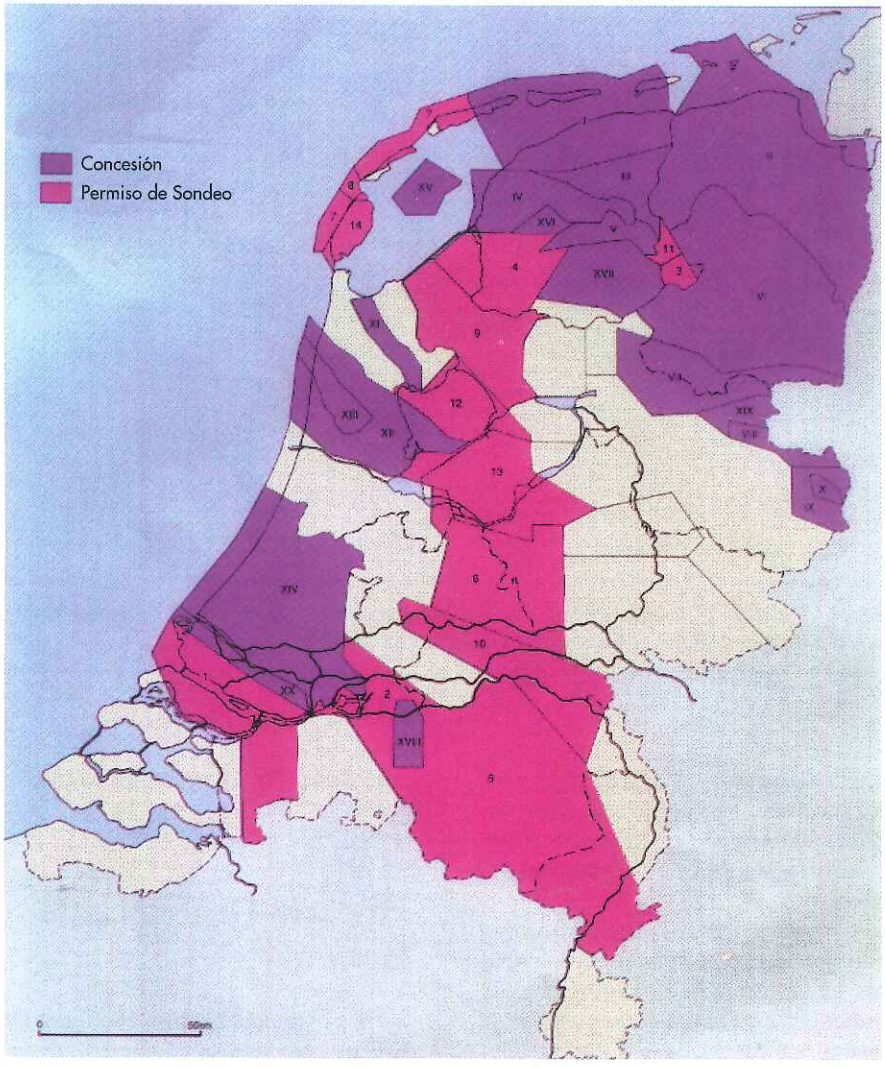


Fig. 3.–Representación esquemática de las concesiones y de los permisos de sondeo en Holanda, 1 de enero de 1992.

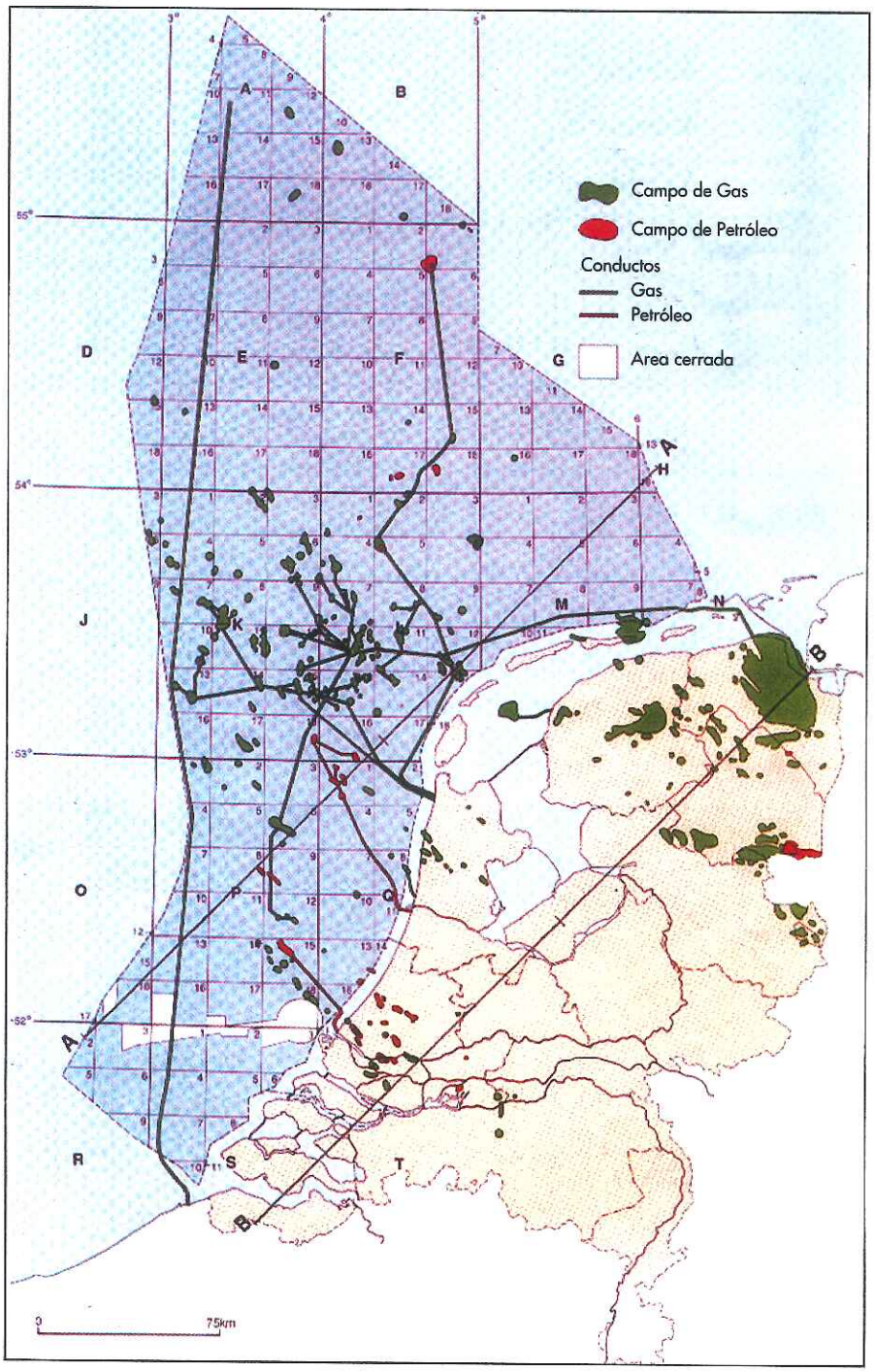


Fig. 4.–Campos de petróleo y gas y la red de conductos, 1 de enero de 1992. Las líneas AA y BB representan la situación de los cortes de fig. 1.

vas considerables de gas en el subsuelo, por lo que está asegurado el abastecimiento de energía para el propio país y partes de Europa durante muchos años.

Antes de entrar en las consecuencias que la explotación de hidrocarburos ha tenido para el medioambiente holandés, en el siguiente apartado se resumirá brevemente la historia geológica de la zona y su relación con los recursos energéticos presentes en el subsuelo.

Historia Geológica de Holanda

La compleja historia geológica de Holanda tan sólo se puede reproducir, dentro del marco de este artículo, en líneas muy generales. Durante el Carbonífero Superior, Holanda estaba situada a la altura del ecuador y tuvo un clima caliente y húmedo, que favorecía la formación de una vegetación espesa en ambientes pantanosos. Los restos conservados de esta vegetación formaron estratos de carbón que, a su vez, constituyen gran parte de la roca madre del gas holandés (**Fig. 7**).

La fase de plegamiento Hercínico, del Carbonífero Superior, tan sólo deformó ligeramente a Holanda. En la actual Bélgica, se formaron las Ardenas y el Macizo de Londres-Brabante. Mucho material, procedente de la erosión del Macizo, fue depositado en la Cuenca Pérmica del Sur (también llamada la Cuenca Pérmica-Triásica), situada más al norte. El acceso a esta cuenca, que se extendía desde Inglaterra hasta Polonia, de los mares mundiales estaba muy limitado, como es el caso del actual Mar Negro. En el centro fueron depositados sedimentos lacustres, a lo largo de los bordes los sedimentos fluviatiles y, en amplias zonas, materiales eólicos (sobre todo en forma de dunas). Este último tipo de sedimentos se extiende sobre una banda amplia con dirección O-E, desde la zona central del mar del Norte hasta la mitad septentrional del continente. Estos sedimentos del «Rotliegendes» contienen la mayor parte de los campos de gas holandeses (**Fig. 8**).

Durante el «Zechstein», el agua de la Cuenca Pérmica del Sur se evaporó varias veces. Durante estos ciclos evaporíticos, en la cuenca se produjo el depósito de sales, que más tarde iban a constituir el sello de los campos de gas, y, a lo largo de los bordes, de rocas carbonatadas, que en algunos sitios contienen depósitos de gas (**Fig. 9**). En el Triásico Inferior fueron depositados arcillas y, en las cercanías del Macizo de Londres-Brabante, arenas del «Buntsandstein». En las areniscas se encuentran varios campos interesantes de gas, sellados por sedimentos del Triásico y Jurásico.

En el Rhetiense (Triásico Superior, 213 ma), la Cuenca Pérmica-Triásica quedó compartimentada, durante la fase tectónica Quimérica Inferior, en varios bloques elevados y hundidos. Así se formaron el Alto de Holanda Central y, en la plataforma continental, el Graben Central del mar del Norte. En este período volvieron las condiciones plenamente marinas y se depositaron unos potentes paquetes de arci-

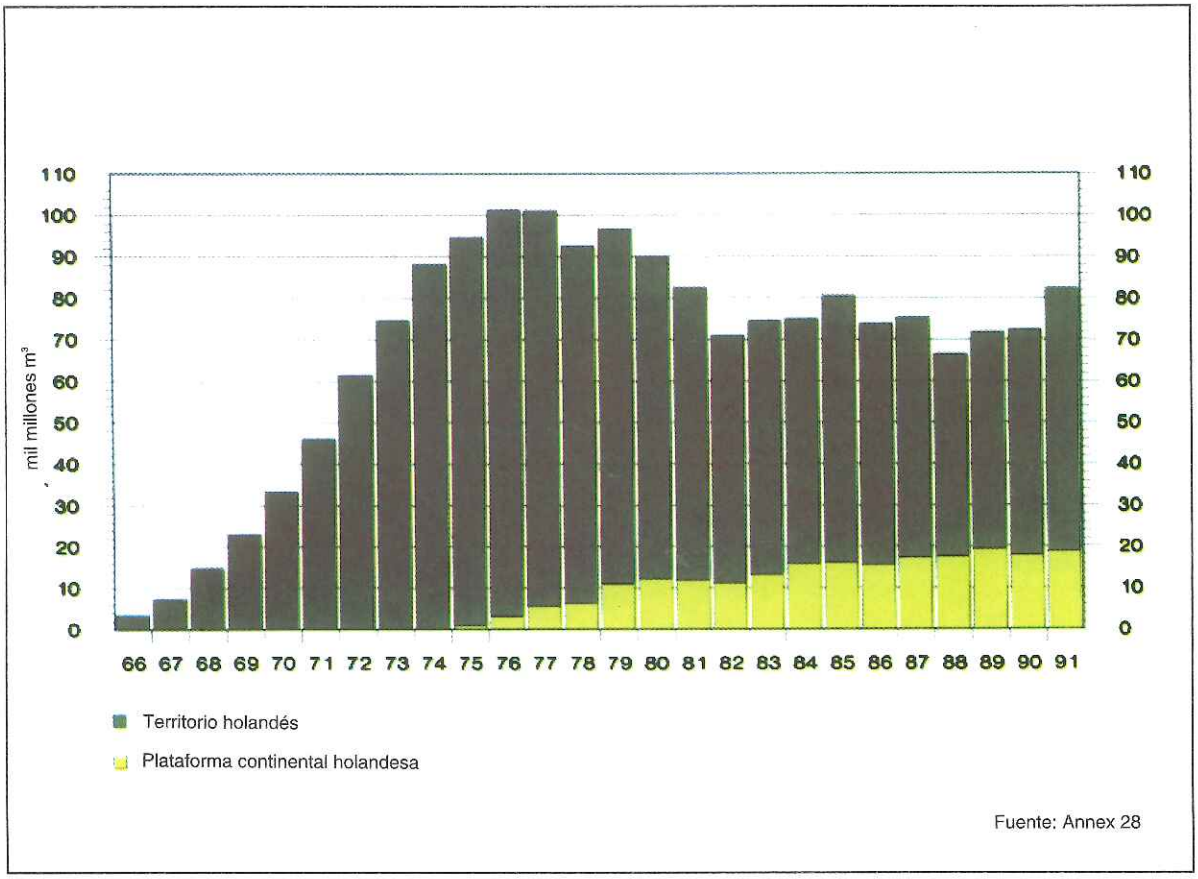
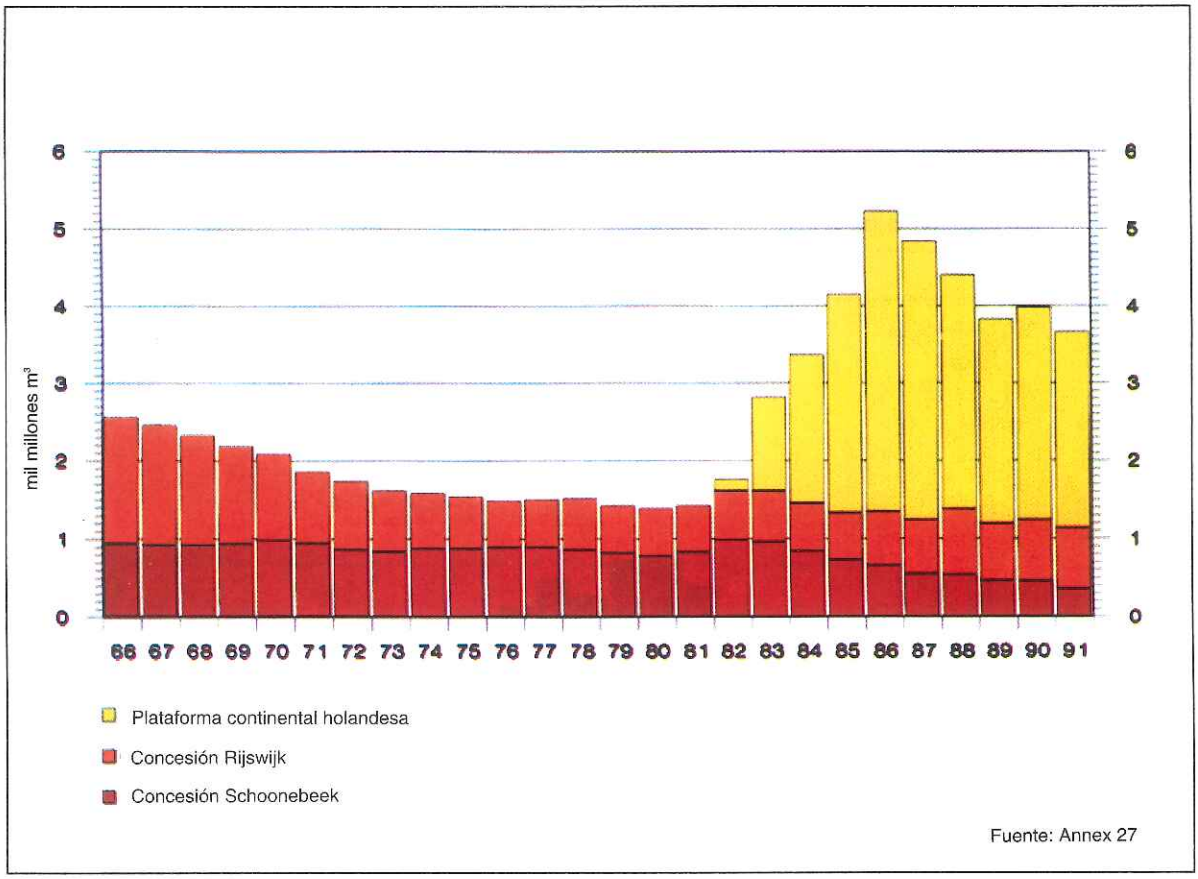


Fig. 5a.–Producción de gas natural entre 1966 y 1991 en mil millones de m³.

Fig. 5b.–Producción de petróleo entre 1966 y 1991 en mil millones de m³.



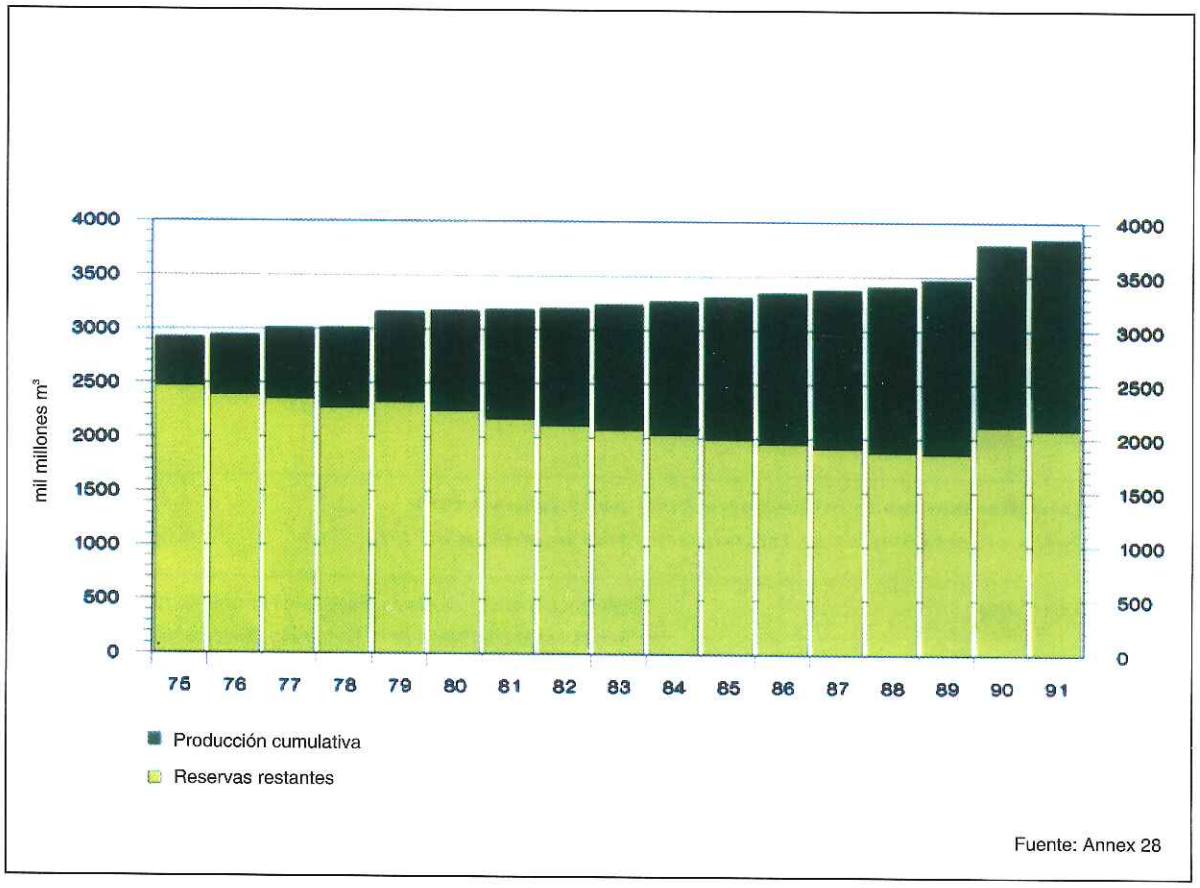
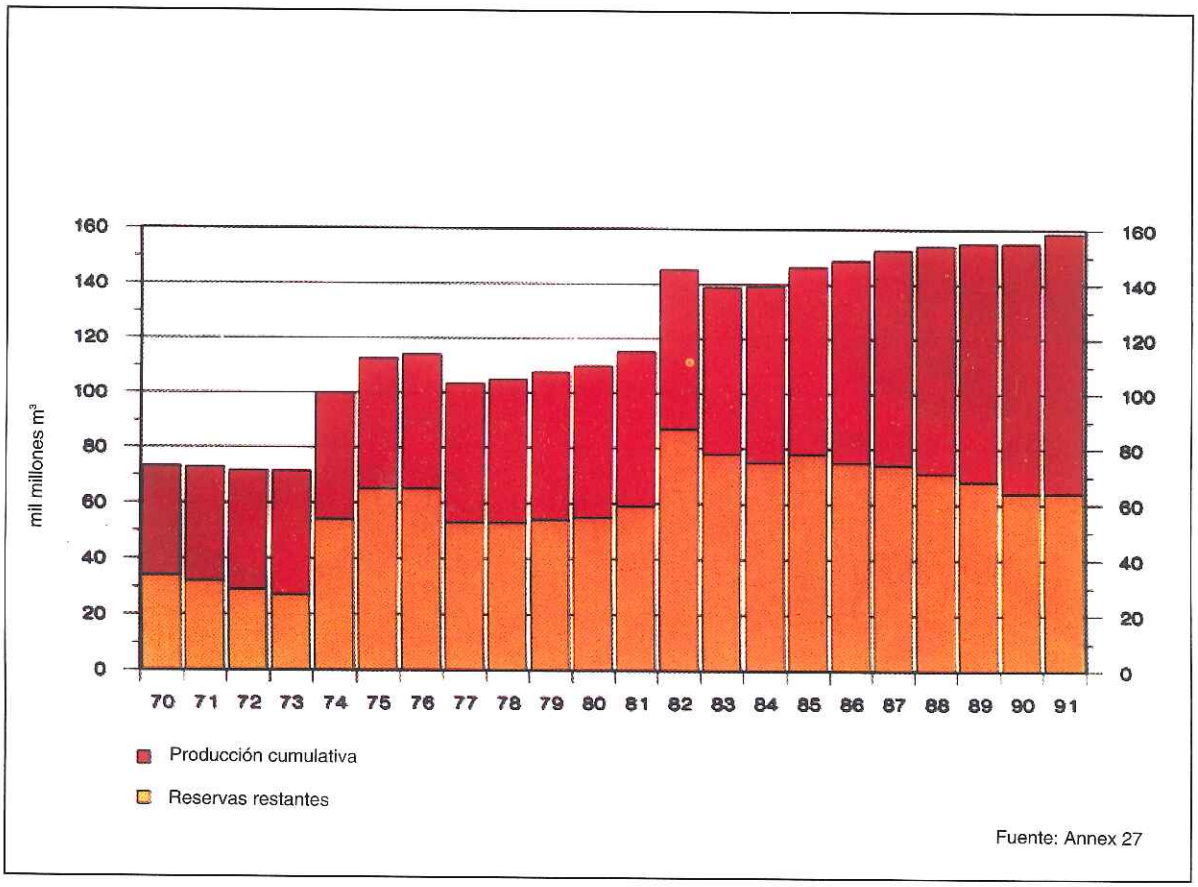


Fig. 6a.–Reservas de gas natural y producción cumulativa entre 1975 y 1991 en mil millones de m³.

Fig. 6b.–Reservas de petróleo y producción cumulativa entre 1975 y 1991 en mil millones de m³.



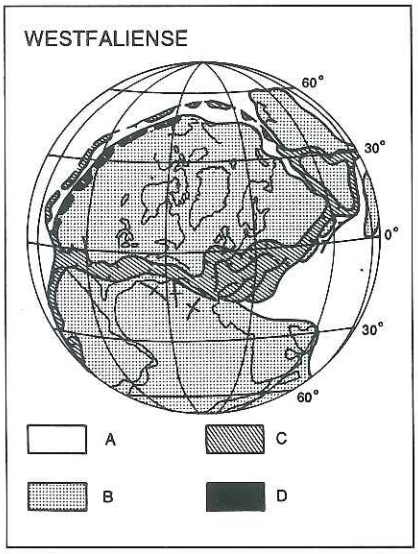


Fig. 7.–La situación de los continentes y de Holanda hace aprox. 310 millones de años (según Ziegler, 1989). A: Océano. B: Cratones continentales. C: Bandas plegadas activas. D: Bandas plegadas inactivas.

llas. Dada la limitada circulación en el fondo de las pequeñas cuencas, los sedimentos tienen un porcentaje alto de material orgánico, que se conservó por la carencia de oxígeno. Estos sedimentos, entre los que se encuentra la importante Pizarra Posidonia, constituyen la roca madre principal del petróleo.

En el Jurásico Superior, se produjo una fase regresiva, durante la cual se depositaron sedimentos arenosos. Este período se caracteriza por una elevada actividad tectónica (Fase Quimérica Medio), acompañada de volcanismo e intrusiones de rocas magmáticas, por lo que las cuencas y los altos llegaron a pronunciarse más (**Fig. 10**).

Trás una fase erosiva (primera Fase Quimérica Superior), se depositaron, durante el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior, sedimentos fluviales, lacustres, y marinos de poca profundidad, que contenían muchos restos de plantas. En las cuencas, cuya profundidad seguía aumentando, se depositaron arcillas, arenas y margas del Cretácico Inferior. El proceso de profundización se desarrolló en fases, con períodos de profundización (transgresiones), alternando con otros, caracterizados por una disminución de la profundidad (regresiones). Las areniscas de este período contienen petróleo, tal como sucede en el importante campo de Schoonebeek, mientras que las arcillas constituyen el sello.

Después de una nueva fase de erosión, se produjo una profundización, tras la cual fueron depositados en la cuenca los paquetes de calizas bioclásticas (las llamadas calizas blancas de Dover) del Cretácico Superior.

En el límite entre el Cretácico y el Terciario (65 ma), la fase tectónica Subhercínica, responsable del inicio de la formación de, entre otros, los Alpes, invirtió el relieve de la zona: las cuencas se elevaron y los altos descendieron. Durante el Terciario, en un mar tropical de poca profundidad, acumularon unos paquetes potentes de arcillas y arenas. Después de varias fases de deformación, el mar se retiró lentamente, desde la actual frontera oriental de Holanda hasta su posición actual. Las fluctuaciones del nivel del mar, originadas por las glaciaciones y por una profundización continua de la parte sur de la Cuenca del mar del Norte, que se extiende de Norte a Sur, causaron, durante el Cuaternario, aún varias incursiones marinas. En algunos sitios de la plataforma continental, desde el comienzo de la Era Cuaternaria han sido depositados más de 500 metros de sedimentos.

Consecuencias Sociales y Medio Ambientales

La extracción de petróleo y gas ha tenido unas consecuencias importantes para la sociedad holandesa. Después de darse cuenta de la magnitud de las reservas de gas natural en el subsuelo, el gobierno holandés decidió cerrar las minas de carbón en el Sur de Limburgo. Holanda disponía ahora, al fin y al cabo, de unas reservas de gas casi inagotables, que además eran una fuente de energía muy limpia e inofensiva para el medio ambiente. Seguir extrayendo el carbón a cientos de metros de profundidad y bajo unas condiciones relativamente duras, no parecía sensato. En aquel momento, no se previó que el cierre de las minas, donde habían trabajado una generación tras otra, supondría un muy fuerte impacto social para la población del Sur.

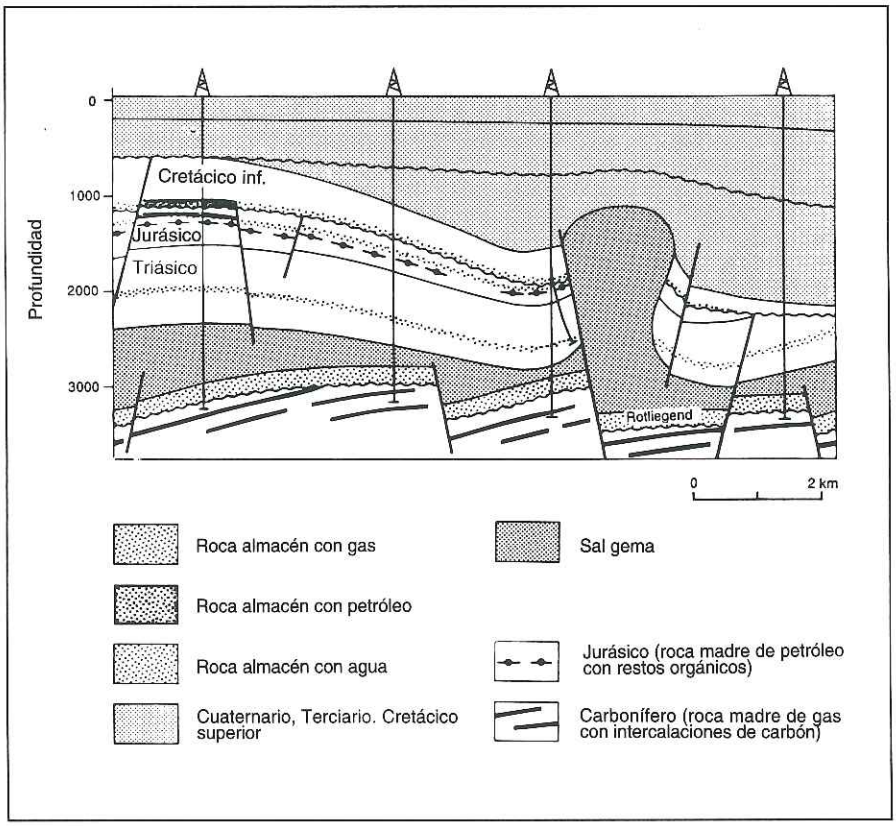


Fig 8.–La sal gema del Zechstein y los depósitos de arcilla del Triásico, Jurásico y Cretácico inferior sirven como sello para los hidrocarburos, generados en materiales del Carbonífero y Jurásico y migrados hacía rocas almacen. En estructuras favorables, en forma de domos, o en horsts, puede llegar a acumularse de esta manera una cantidad de hidrocarburos economicamente rentable.

Rápidamente, se construyó una red extensa de gaseoductos, y millones de hogares fueron conectados al gas natural. La mayoría de las familias holandesas calienta sus casas y el agua del baño con gas natural, y cocina con gas natural. Pero también una parte importante de la industria pesada utiliza el gas natural, como por ejemplo una parte de los productores de electricidad. Una gran parte de los invernaderos del famoso cultivo bajo vidrio holandés, se calienta también con esta fuente energética. Además, gracias al gas natural, Holanda ha podido aplazar la construcción de centrales nucleares.

El hecho de que la mayoría de la población holandesa sea de la opinión, que aún no han sido resueltas suficientemente todas las cuestiones en torno a la seguridad y al almacenamiento de los residuos nucleares, ha llevado al gobierno a considerar, hasta ahora, al gas natural como la fuente energética más importante, y por tanto fomenta la exploración y explotación de incluso los campos más pequeños.

Los ingresos del gas natural (**Fig. 11**), en parte procedentes de la exportación y en parte de la recaudación de impuestos a los productores y a los consumidores, han ofrecido al Estado holandés la posibilidad de llevar a cabo una fuerte política social, en la que el término «Estado de providencia» fue el punto central.

Aunque la carga de más de un millón de personas que tienen derecho a las prestaciones de la seguridad social, según muchos empieza a pesar demasiado, se puede decir que los beneficios del gas natural siguen haciendo posible el mantenimiento de una sociedad con una actitud muy social.

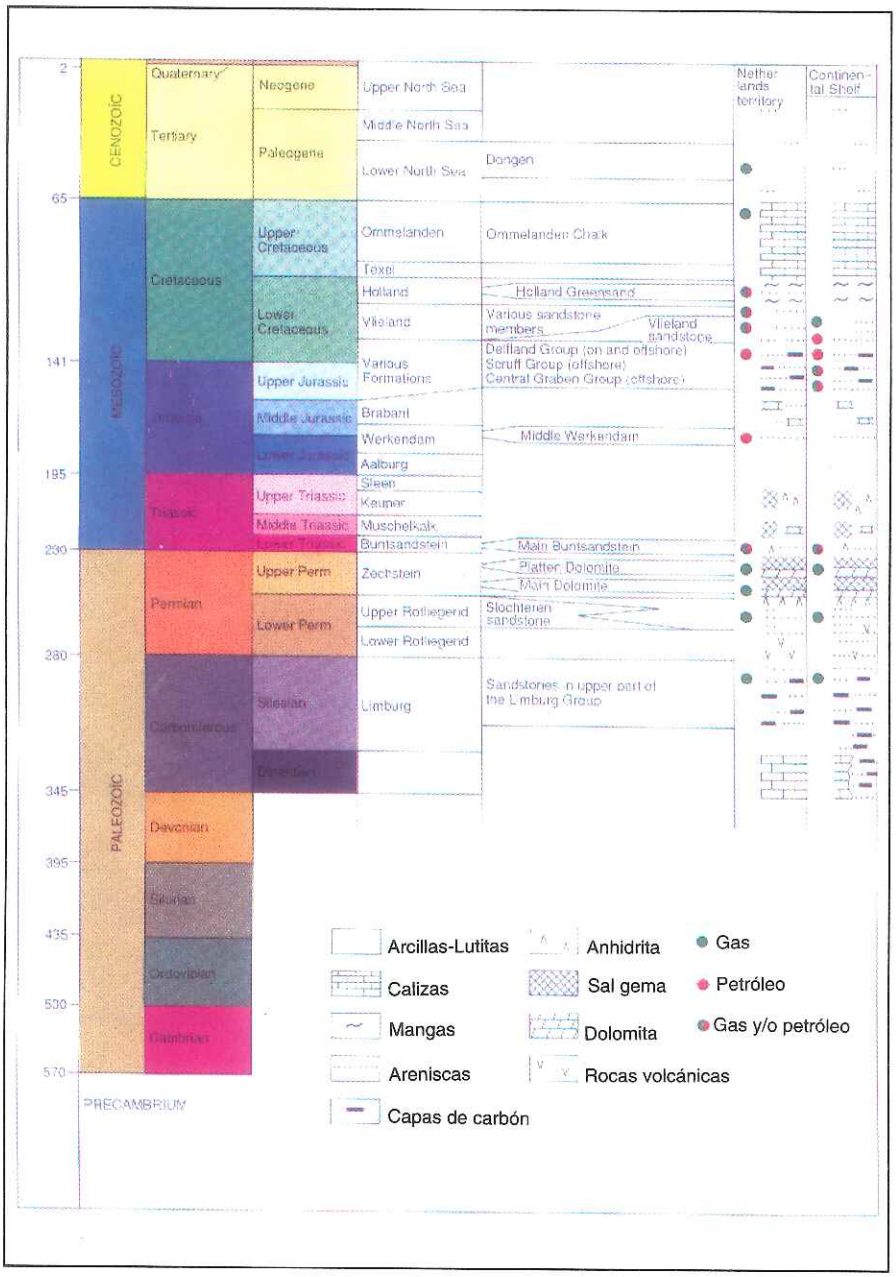


Fig. 9.–Columna litológica y estratigráfica simplificada de Holanda, con indicación de los horizontes importantes para los hidrocarburos.

Los ingresos generados por el gas han permitido llevar a cabo una fuerte política social.

Gracias a la política rigurosa que se ha llevado a cabo en el campo de la seguridad y a medidas protectoras del medio ambiente, se han dado en Holanda pocos siniestros relacionados con la explotación de hidrocarburos. En los años sesenta se produjo un problema con el casing del sondeo Sleen. La mezcla de gas y agua que escapó, formó una especie de arenas movedizas, en las que se hundió la instalación de perforación completamente. Mediante una perforación desviada, se pudo detener el chorro de gas y lodo. En los años ochenta se averió el cierre de un pozo de petróleo, en uno de los pueblos residenciales más exclusivos de Holanda, Wassenaar. Una lluvia de petróleo y agua causó muchas molestias durante varios días.

En un país como Holanda, que depende en gran medida de los combustibles fósiles por la carencia de energía hidroeléctrica y otros recursos energéticos, el gas natural ha sido extraordinariamente importante, tanto para el hombre, como para el medio ambiente. Sin embargo, a largo plazo también en Holanda se deberán buscar otras fuentes de energía, ya que las reservas de gas natural son limitadas. Los conocimientos adquiridos en la búsqueda de petróleo y gas podrán servir en la explotación de energía geotérmica de estratos, que, en vez de gas, a menudo contienen agua con temperaturas de más de cien grados centígrados.

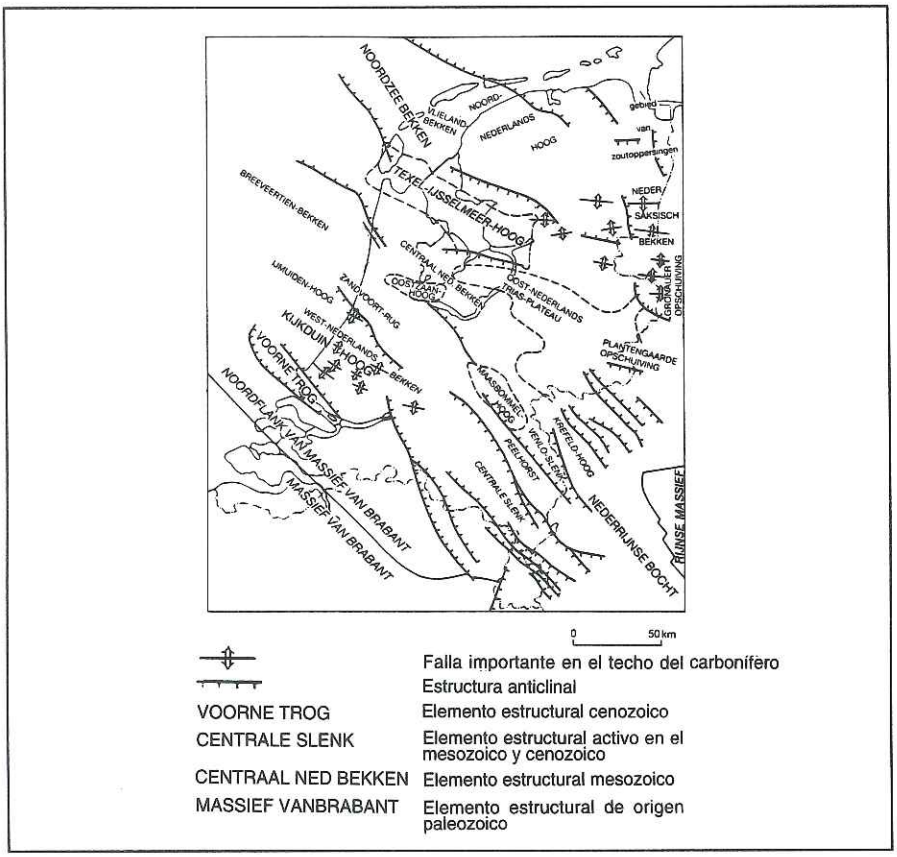


Fig 10.–Mapa tectónica general de Holanda.

Conclusión

Como ha sido dibujado anteriormente, la historia del subsuelo de Holanda es mucho más compleja de lo que, a primera vista, sugieren las verdes llanuras. Durante el largo viaje de Holanda sobre la superficie de la Tierra, pasando por las diferentes zonas climatológicas y expuesta a fuertes deformaciones tectónicas y fluctuaciones del nivel del mar, fueron depositados diferentes tipos de sedimentos. La presencia de las rocas madres de petróleo y gas, de rocas porosas donde se podían acumular los hidrocarburos y de estratos impermeables de arcilla y de sal, han creado condiciones que permitían la formación de los campos de petróleo y gas. El hallazgo del gigantesco campo de Groninga llevó a una búsqueda intensiva de hidrocarburos en todo el país y en la plataforma continental. Tal como se deduce de los gráficos, Holanda poseía y posee unas reservas importantes de hidrocarburos en su subsuelo, por lo que, durante las últimas décadas, se ha llegado a un nivel de exportación respetable. ■

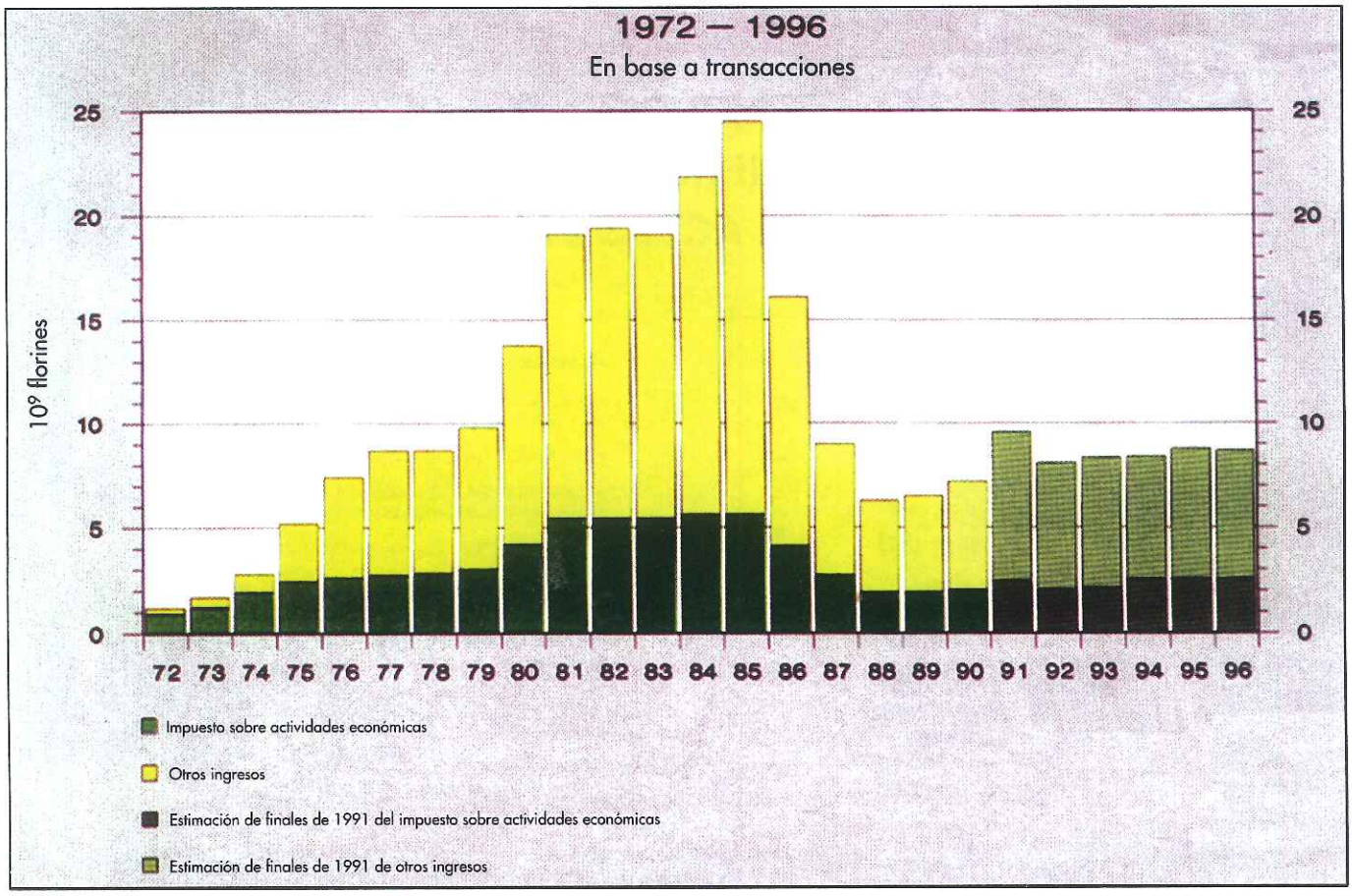
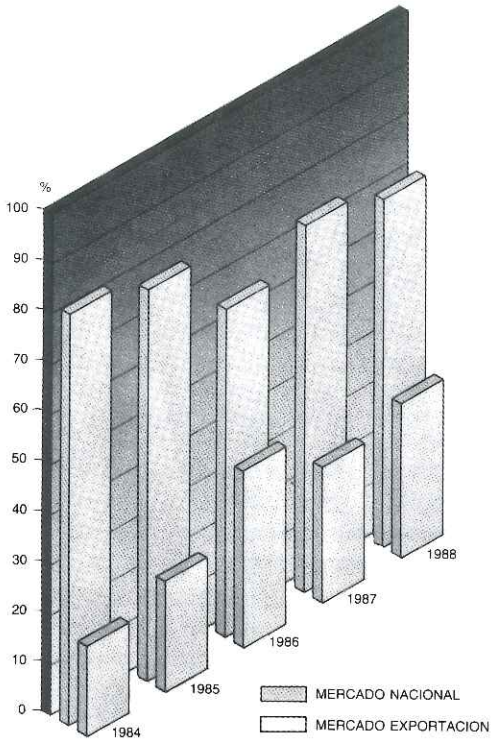


Fig 11.–Ingresos generados por la producción de gas natural.

CURSO DE GESTION DE EMPRESAS Y PROYECTOS

Introducción para Geólogos



7-11 JUNIO 1993
LUNES-VIERNES 16:30-20:00
SALON DE ACTOS DEL I.C.O.G.

CARACTERÍSTICAS DEL CURSO

- **PRECIO:**
  40.000 PTAS.
  Colegiados del I.C.O.G.: 30.000 PTAS.
- **HORARIO:**
  16,30-20,00 h.
- **DURACION:**
  Del 7 al 11 de junio de 1993
- **CONFERENCIANTES:**
  Barrera Morate, José Luis
  Casani y Ruano, José Antonio
  Clavero Gómez, Manuel
  Corderas Descarrega, Jaime
  González de Quevedo, Joaquín
  Mascaray Pueyo, Tomás

PROGRAMA

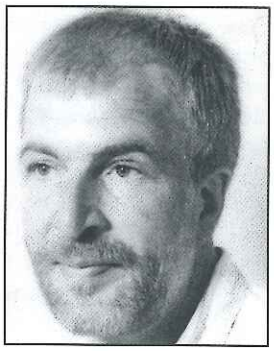
- LA EMPRESA COMO SISTEMA
- POLITICAS Y OBJETIVOS EN LA EMPRESA. EL NOMBRE DE LA EMPRESA
- FORMAS JURÍDICAS DE EMPRESA
- LOS RECURSOS HUMANOS. DEL CONSULTOR INDEPENDIENTE A LAS RELACIONES INDUSTRIALES
- ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, PRESUPUESTOS
- LOS SISTEMAS FINANCIERO Y FISCAL. FINANCIACIÓN DE PYMES
- EL SISTEMA DE CONTROL. CONTABILIDAD BÁSICA, BALANCE
- LA GESTION EN UNA EMPRESA ACTUAL. EL CASO DE GEOPRIN, S.A.
- ESTUDIOS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE PROYECTOS
- DIRECCIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Madrid, del 7 al 11 de junio de 1993

EXTRACCION DE GAS EN LA ZONA DE LOS WADDEN

G. Lantinga

Secretario del Comité Consultor Provincial para la aplicación de la Ley de Minas de 1810 en Frisia. La Comisión fue fundada en 1964 para estudiar las consecuencias de la Ley de Minas para la Provincia de Frisia. Postbox 20120, 8900 HM Leeuwarden (Holanda).



J. Visser

Secretario de la Grupo Directivo de las Provincias del mar de los Wadden. El Grupo es un Organismo interprovincial que tiene como fin la coordinación de la política regional respecto al mar de los Wadden.

A lo largo de la costa holandesa septentrional se encuentra una zona intermareal de carácter único: El mar de los Wadden. La protección y preservación son los conceptos centrales dentro de la política estatal para esta zona. Este artículo expone la forma en que en Holanda se ha tratado la cuestión sobre si la extracción de gas es una actividad que encaje en esta zona.

Along the northern part of the Dutch coast a unique intertidal area is situated: the Wadden Sea. Protection and preservation are basic concepts within the state policy for this area. This article describes the Dutch approach towards the question of permitting or prohibitting the exploitation of gas in the Wadden Sea.

El mar de los Wadden

El mar de los Wadden forma parte de una zona que se extiende desde la costa oeste de Holanda hasta la costa de Dinamarca. Se puede definir como una zona costera, donde el substrato, compuesto de sedimento suelto, se cubre de agua y vuelve a quedar seco, alternativamente, a causa de las mareas. En la actualidad, se conoce aún relativamente poco sobre la evolución geológica de lo que actualmente es el mar de los Wadden holandés.

El mar de los Wadden está limitado al Oeste y al Norte por una fila de islas con dunas, las cuales están separadas por estuarios. A través de estos estuarios, este mar está conectado de forma abierta con el mar del Norte. La dinámica del mar de los Wadden, la tranquilidad de las islas y el carácter específico de la zona fronteriza entre el mar y las islas, reúnen juntos las condiciones adecuadas para una flora específica. El mar de los Wadden es una zona muy rica en alimentos, dada, entre otros, la gran cantidad de especies de algas. En los lugares donde la tierra y el mar se encuentran, se ha creado un medio ambiente fronterizo, que bajo ciertas condiciones crea un paisaje par-

Foto: AEROPHOTO BELDE

Figura 1.–El paisaje del mar de los Wadden: un sistema dinámico creado por la interacción entre sedimentos, flora y fauna, y las mareas.

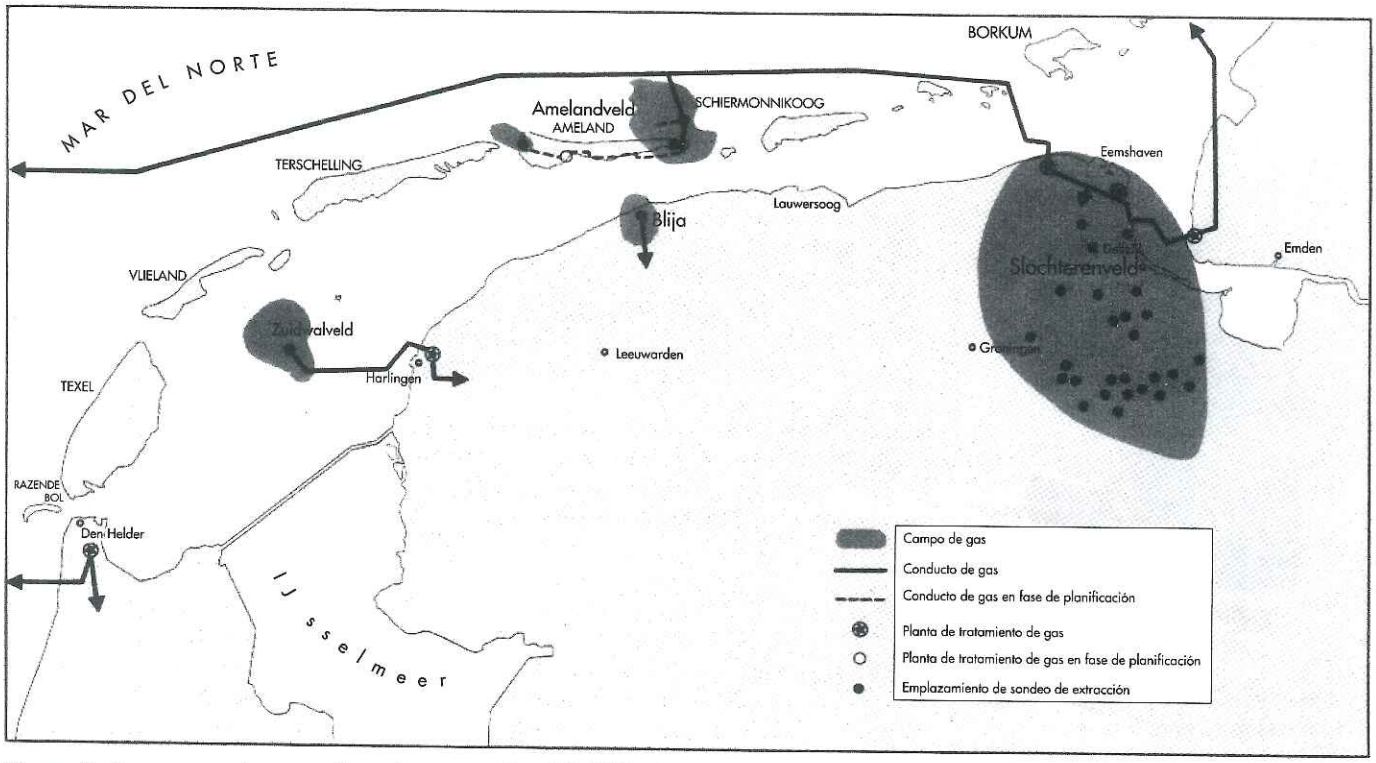


Figura 2.–Los campos de gas en la parte septentrional de Holanda.

ticular de marismas, con sus propias flora y fauna (**Fig. 1**).

Las islas de los Wadden, que pertenecen a la provincia de Frisia, están constituidas por un núcleo no salado y pobre en alimentos, y una zona costera, salada y rica en alimentos. A lo largo de la costa del mar del Norte, se ha desarrollado en todas las islas un particular paisaje de dunas.

En cuanto se refiere a la vida animal, el mar de los Wadden se conoce como la «guardería», sobre todo de las especies animales inferiores, que más tarde poblarán grandes partes de este mar y del mar del Norte.

El mar de los Wadden es la única zona de Holanda donde habita un número bastante elevado de focas. Además funciona como zona donde anidan y ponen las aves, paradero de estas, zona de alimentación y de migración, y centro de muda de pluma, para gran número de especies de patos, gansos, gaviotas, charranes y otras aves.

Política y uso humano

También la política estatal ha reconocido ya el carácter único de la zona. Hasta en los años sesenta se consideraba que este mar debería estar completamente al servicio del hombre. Después se produjo un cambio notable.

En los lugares donde la tierra y el mar se encuentran, se ha creado un medio ambiente fronterizo

Se ha dado contenido a una política dirigida a la protección duradera y al desarrollo del mar de los Wadden como parque natural. Para la zona ha sido formulada una estrategia de planificación. Además, grandes partes de la zona han sido puestas bajo el ámbito de actuación de la legislación de protección de la naturaleza. La zona ha sido inscrita como zona húmeda dentro del contexto de la Convención de Ramsar y ha sido señalada como zona de protección según la directiva comunitaria de aves en vigor.

Un importante punto de partida de la política, es que las actividades humanas no quedan excluidas, y que pueden seguir teniendo lugar, mientras no formen una amenaza para el ecosistema. Las actividades como el esparcimiento, la pesca, la extracción de arena y el uso militar, son sopesadas y examinadas en relación a los objetivos y las directrices. Por supuesto, esto lleva frecuentemente a largos debates, proliferando los conflictos entre los intereses de carácter natural y social-económicos. Estos conflictos juegan también un papel importante en la cuestión sobre si la localización y explotación del gas natural, que se encuentra bajo el mar de los Wadden y las islas, es una actividad encajable.

Localización y explotación de minerales

Después del descubrimiento de la gran reserva de gas natural en el subsuelo de la parte norte de Holanda (el campo de Slochteren) en 1959, la industria de gas dirigió sus actividades en gran parte hacia las zonas limítrofes con la provincia de Groninga, incluyendo la zona de los Wadden.

Hasta la entrada en vigor de la Ley de Localización de Minerales (BOE holandés 1967, Nº 258), no se necesitaba ninguna licencia pública para la realización de un sondeo de exploración. Tan sólo hacía falta el consenti-

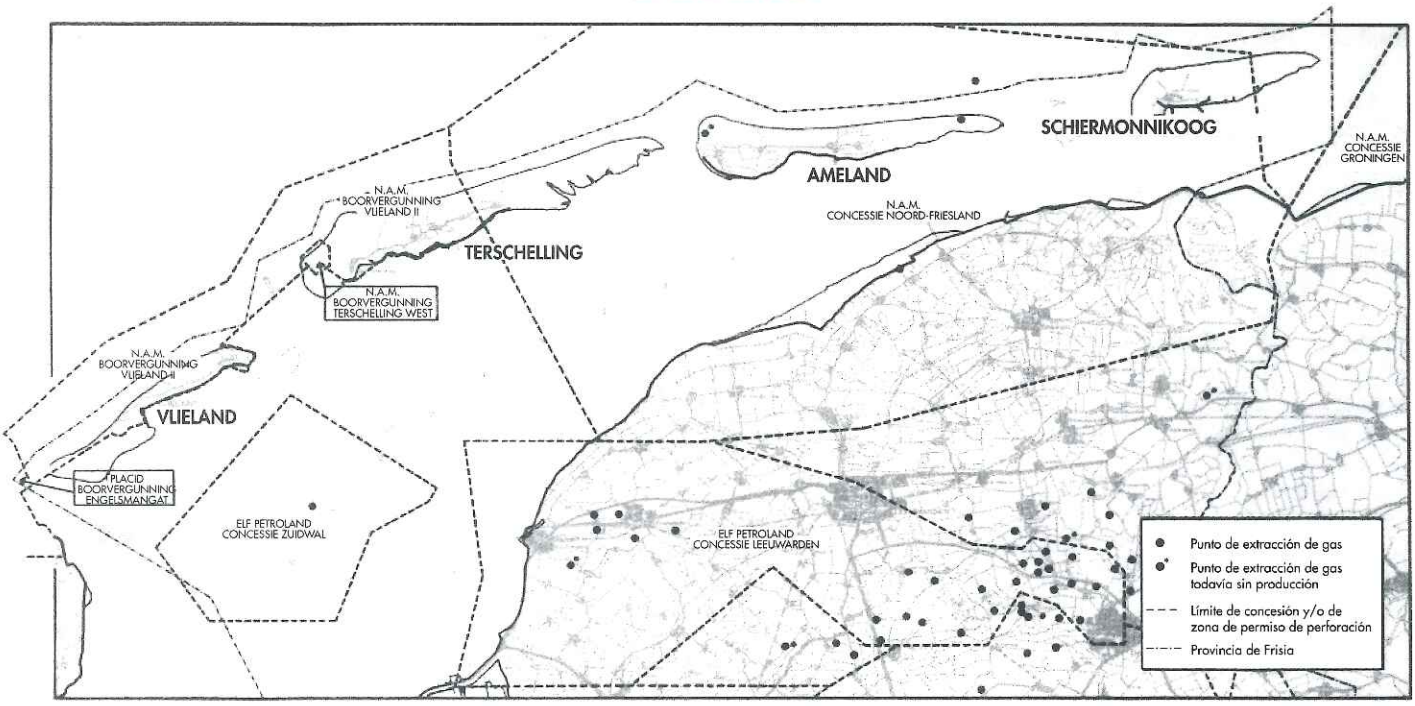


Figura 3.–Los permisos de extracción en una parte del mar de los Wadden.

miento del propietario del terreno. Todavía no existía la preocupación actual por la naturaleza, el paisaje y el medio ambiente. Durante el período 1959-1963, en la zona de los Wadden aparecieron instalaciones de sondeo de varias compañías en muchos lugares. Tanto la vulnerable zona de dunas como el mar de los Wadden, quedaron libres de estas instalaciones. Al fin y al cabo no existían buenas normativas que dictasen dónde sí y dónde no se podía perforar. La Ley de Minas vigente en 1810 *(Bulletin des Lois* 285), decretada en tiempos de Napoleón, estaba tan sólo dirigida hacia la extracción de minerales.

Hasta el momento se han efectuado 25 sondeos de prospección en la zona de los Wadden y en el mar territorial limítrofe, de las cuales 11 se sitúan en el mar y 8 en las islas. Estos sondeos han perforado cuatro yacimientos de gas (**Fig. 2**). Uno se encuentra bajo el fondo del mar territorial, cerca del límite territorial al norte de la isla de Ameland, mientras que otros dos yacimientos de gas se sitúan en el subsuelo de la isla de Ameland y se extienden mar adentro. El cuarto yacimiento de gas se halló en el subsuelo del mar de los Wadden, al sur de la isla de Vlieland. No se ha encontrado petróleo en ninguna parte. La explotación de estos yacimientos es, a consecuencia de la Ley de Minas de 1810, tan sólo posible mediante una concesión aprobada por la Corona.

Actualmente, hay cuatro concesiones en vigor para la extracción de gas en la zona: la concesión «Groninga», concedida a la compañía Nederlandse Aardolie Maatschappij BV (NAM), la concesión «Frisia norte», concedida a la compañía citada anteriormente y a la «Mobil Producing Netherlands Inc.», y las concesiones «Zuidwal» y «Leeuwarden», ambas concedidas a la compañía Elf Petroland B.V. (**Fig. 3**). En estos momentos se extrae gas en tres áreas de concesión: «Zuidwal», «Frisia norte» y «Groninga». El campo gasífero de «Zuidwal» se encuentra totalmente en el mar de los Wadden. En esta concesión, el gas se extrae desde una plataforma sin tripulación (**Fig. 4**). En la concesión «Frisia norte», los campos gasíferos se extienden desde Ameland hasta dentro del mar del Norte y el mar de los Wadden. El gas se extrae

Foto: ELF-PETROLAND B.V.

Figura 4.–La plataforma no tripulada de explotación Zuidwal.

desde una instalación colocada en las dunas de la isla de Ameland y desde una plataforma en el mar del Norte. Además, se explota, desde la costa de Frisia, un campo que se extiende hasta dentro del mar de los Wadden. El campo gasífero de Slochteren entra en el subsuelo del mar de los Wadden, en de la parte de la provincia de Groninga.

El volumen de producción de la concesión del «Norte de Frisia» y «Zuidwal» da una impresión de la importancia de la extracción de gas en la zona. En 1991, la producción total de gas natural en estas concesiones fue de 5.200 millones de metros cúbicos, que equivalen al 8,2 por ciento de la producción total de gas natural en Holanda, la cual ascendió a 63.700 millones de metros cúbicos en aquel año.

La fase de exploración es la que genera más empleo

Importancia económica

La importancia económica de la extracción de gas no sólo se refleja en el empleo generado por la explotación. En primer lugar, porque aparte de la fase de producción, tambien es importante la fase de inversión. La extracción de gas natural se caracteriza por el hecho de que durante la fase de producción se necesita poca mano de obra, mientras que la fase de inversión (las actividades de prospección y la construcción de las instalaciones) genera relativamente más empleo. En segundo lugar, la extracción de gas natural aporta una cantidad considerable de dinero a las arcas del Estado holandés. Aproximadamente el 80 % de los beneficios netos del gas natural, producido en Holanda, van al erario público. La aportación de los campos de Zuidwal y Ameland a la producción de gas natural, ascendió, como se ha mencionado anteriormente, hasta el 8,2 % del total en 1991. La aportación de la extracción de gas natural a las arcas del Estado, llegó en 1991 a, aproximadamente, los 9.500 millones de florines, con lo que la contribución del gas producido en la zona del mar de los Wadden se puede estimar en aproximadamente 700 millones de florines.

Procedimientos

Para una buena comprensión, es deseable conocer algo de los complejos procedimientos que se siguen para regular la prospección y extracción de los minerales que se encuentran en el subsuelo y que están relacionados con la Legislación de Minas. Con este fin, se comentará seguidamente algo sobre estos procedimientos y las condiciones relacionadas.

Existe un número de leyes y reglas especiales, que son aplicables a la localización y extracción de minerales dentro del territorio holandés, siendo los más importantes: la Ley de Minas de 1810, la Ley de Minas de 1903, la Ley para la Localización de Minerales de 1967 y el Reglamento de Minas de 1964. La localización y extracción de minerales están sujetas a condiciones rigurosas, y más aún la zona de los Wadden, en base a estas reglas.

La localización y extracción de minerales en esta zona concierne sólamente el gas natural. En el caso de estas actividades, se pueden distinguir, desde la Legislatura de Minas, tres fases consecutivas:

A) *El estudio de localización sin el uso de sondeos de profundidad* (estudio sísmico). Este primer estudio de exploración ha sido efectuado ya en casi toda la zona del mar de los Wadden. La Legislatura de Minas no interviene.

B) *Estudio de localización mediante sondeos de profundidad*. Para este tipo de estudio se necesita, desde 1967 y conforme la Ley de Localización de Minerales, una licencia. Esta Licencia de Sondeo es concedida por el Ministerio de Asuntos Económicos. Junto a esta licencia, también se indican las zonas que tienen que quedar libres de perforaciones. Una vez concedida la licencia, el concesionario deberá consultar con la Administración, antes de comenzar las actividades de sondeo.

C) *Extracción*. Una vez que el concesionario ha demostrado la presencia de una cantidad de gas natural económicamente explotable, se le puede conceder una concesión para la extracción del mismo. Una concesión se concede conforme la Ley de Minas de 1810 por Decreto Real. En principio, la concesión es válida por tiempo ilimitado y proporciona al concesionario la propiedad del mineral mencionado en ella. Aún cuando la concesión haya sido concedida, no se podrán iniciar las actividades, hasta que no se haya llegado a un acuerdo con la Administración.

El medio ambiente de grandes partes de la zona está protegido por Ley

Tanto en el caso de la concesión de una licencia para la extracción, como en el de la concesión de una licencia de sondeo para la localización de minerales, se imponen condiciones a la protección del medio ambiente natural.

Aparte de las anteriormente mencionadas, se necesitan otras licencias para la ejecución de las diversas actividades de minería, en base a una gran cantidad de otras leyes que se refieren a la protección del medio ambiente y la naturaleza.

Consecuencias de la localización y extracción de gas natural para la zona del mar de los Wadden

Tanto la prospección como la explotación de gas natural, repercuten sobre el medio ambiente natural en la zona. En casi todos los casos, se puede constatar, que estas actividades afectan más a las zonas naturales, dada la mayor sensibilidad del ecosistema, que a las tierras de cultivo. En relación con esto se pueden mencionar: los daños a la vegetación, la perturbación de la tranquilidad de las aves, tanto en las zonas donde anidan como donde se alimentan, la perturbación de las focas en las zonas de tranquilidad, la degrada-

Foto: ELF-PETROLAND B.V.

Figura 5.–La plataforma Zuidwal durante operaciones de sondeo en el mar de los Wadden. A costado se encuentra el barco que evacua los lodos usados y otros materiales.

La extracción en el campo de Ameland generará un descenso de la superficie de 18 cm

ción del paisaje, la contaminación del agua y el descenso de la superficie. Para el campo de Ameland, los cálculos más recientes indican un descenso total de la superficie de unos 18 cm, como consecuencia de la extracción de gas natural. Para el campo de Zuidwal, se estima este descenso en un máximo de 2 cm (**Fig. 5**).

Las consecuencias del descenso de la superficie afectan directamente a los procesos físicos que tienen lugar en la zona del mar de los Wadden. Por esta razón, el hundimiento está siendo examinado por una comisión fundada con este propósito. Esta comisión de control se hace cargo del estudio y análisis de los posibles efectos sobre el sistema de aguas subterráneas, la vegetación, la población ornitológica y los cambios en las llanuras de arena y marismas.

Confrontación

Está claro, que en una zona como la del mar de los Wadden, a la cual se pueden atribuir diferentes valores, según los puntos de vista, los intereses chocan frecuentemente, lo que a veces trae consigo un fuerte debate social. Como resultado de las acciones organizadas por los grupos ecologistas, se presentaron 28.000 reclamaciones contra los planes de extracción de gas en el extremo este de la isla de Ameland y más de 6.500 apelantes estaban presentes en la examinación de la concesión «Zuidwal».

A pesar de la gran cantidad de protestas, el Estado decidió conceder el permiso para la explotación del gas encontrado. Se dio (y se sigue dando) prioridad al interés económico por encima del de la naturaleza, a pesar de reconocer el valor natural de las zonas en las que tendrían lugar las actividades. En estas decisiones se tomó como punto de partida la política de mantener, durante el máximo tiempo posible, en producción al campo de Slochteren, tal como lo expresa el gobierno en la Nota de Energía. Dando prioridad a la explotación de los campos más pequeños, encontrados en otras zonas, se podría conservar las reservas del campo de Slochteren, con lo que estaría garantizado el abastecimiento energético nacional durante mucho tiempo.

Para la protección de la naturaleza y el medio ambiente, se estableció un

Foto: FOTODIENST PROVINCIE FRIESLAND

Figura 6.–Lugar donde más tarde se construyó la instalación de extracción Ameland GLC. Al fondo, un cordón de dunas.

Foto: DELTA PHOT

Figura 7.–La instalación de extracción Ameland GLC, adaptada al paisaje de la punta oriental de la isla de Ameland. Fíjense en el semicírculo de dunas artificiales que rodea la instalación y el color arena de la misma.

número de condiciones rigurosas para conseguir el permiso de prospección y extracción de gas natural. Así, tan sólo se podía perforar en la isla de Ameland durante los meses de invierno (1 de octubre - 1 de marzo) y tenía que ser desalojada la instalación de sondeo durante el resto del año. Más tarde, se permitió que la torre de sondeo, desalojada durante el verano, quedara almacenada en el lugar de trabajo. Los largos transportes por las playas pertenecieron desde entonces al pasado.

Otra condición llamativa era que alrededor del lugar de sondeo había que levantar una duna artificial, y que todos los atributos presentes alrededor del lugar de trabajo, tenían que estar pintados de color arena (**Figs. 6 y 7**). Para la concesión del permiso de perforación del campo de Zuidwal, se determinó que no podía producirse ninguna contaminación del mar de los Wadden, por lo que todos los residuos tuvieron que ser transportados a tierra, para ser tratados allí, y que tan sólo se podía colocar una plataforma.

Claridad

Los debates, que se vienen celebrando de vez en cuando y en los que los intereses ecológicos y económicos estaban diametralmente opuestos, se simplificaron a partir de 1983, cuando el Gobierno tomó una decisión sobre la petición de concesión presentada, referente a «Zuidwal». Aparte de anunciar un gran número de condiciones rigurosas, que tendrían que cumplir las actividades de sondeo a realizar, se decidió no conceder las demás peticiones de concesión de sondeo presentadas. Por esta negativa a las peticiones, que en conjunto se referían a la parte del mar de los Wadden que aún no había sido cedida en concesión (para las islas ya estaban en vigor las licencias de sondeo), quedaba excluido para esta zona la presentación de nuevas peticiones de concesión de extracción. De esta forma, la zona quedará libre de actividades mineras.

El caso de las concesiones de «Groninga», «Frisia norte» y «Leeuwarden» era diferente. Los concesionarios tenían derecho a realizar sondeos y extraer el gas. Sin embargo, a consecuencia de la resolución sobre el caso «Zuidwal», se inició un diálogo entre la Administración y las compañías petrolíferas, con el resultado de que se convino una moratoria, en la que se acordó que las zonas incluidas en las concesiones quedarían libres de toda actividad de sondeo durante un período de 10 años. Cuando termine este periodo, el 10 de enero de 1994, se tendrá que volver a definir la política a llevar a cabo con respecto a la extracción de minerales. La decisión se tomará en base a la estrategia de planificación, que esté entonces en vigor, teniendo en cuenta las circunstancias existentes en ese momento, con respecto al abastecimiento energético.

Situación actual

El fin cercano de esta moratoria es el tema central de los debates recientes sobre si en un futuro se podría permitir la perforación del suelo del mar de los Wadden, en busca de gas natural. Dado que, en estos momentos, se está preparando la nueva estrategia de planificación para este mar, la problemática sobre le extracción profunda de minerales se ha vuelto a colocar en el centro de la atención. Igual que en los casos previos, las organizaciones ecologistas han organizado protestas populares para dar a conocer al gobierno que la realización de actividades mineras dentro y alrededor del mar de los Wadden no es aceptable, dados los daños que estas pueden causar al medio ambiente. Las compañías petrolíferas, por el contrario, han anunciado que no piensan prolongar la moratoria.

En la isla de Ameland, se presentaron 28.000 reclamaciones contra la explotación de gas.

Las posibles consecuencias dañinas de la extracción de minerales para la naturaleza y el paisaje en el mar de los Wadden, el interés de estos recursos mineros para la sociedad y la consideración entre estos aspectos, serán los puntos que siempre volverán a surgir cuando se trate de establecer una política acerca de este tema complejo. De forma resumida, se puede constatar, que en la definición de esta política, sobre todo las consecuencias para la imagen paisajística, la perturbación de la tranquilidad, el descenso de la superficie y el riesgo de desastres (en caso del vertido de sustancias dañinas), serán los factores importantes.

En el debate sobre el interés social, se volverá a tratar, sobre todo, el significado de los campos de gas de los Wadden para el abastecimiento energético nacional. La política gubernamental respecto a este tema no ha cambiado nada a lo largo de los años. El punto de partida seguirá siendo el aprovechamiento de la reserva de gas en el campo de Slochteren durante el período más largo posible.

Crucial en este aspecto, es que las compañías directamente implicadas tienen derecho a la extracción, en base a las licencias concedidas. El rescate de estos derechos por el Estado sería enormemente costoso y no cabe pensar en ello.

Observación final

En Holanda ya se ha debatido mucho sobre la cuestión de si la extracción de gas en un parque natural de carácter singular, como el mar de los Wadden, puede ser una actividad tolerable. Los procedimientos descritos anteriormente, nos dan algunos puntos de referencia que pueden ser de interés.

Hay que prestar atención al desarrollo oportuno de una legislatura, que posibilite el control de las actividades de extracción, en relación con los objetivos ecológicos. La Administración no podrá actuar de forma adecuada, si no dispone de los instrumentos necesarios. Debido a que una concesión aprobada no tiene, en principio, un plazo de vencimiento, a la Administración le será imposible anticiparse suficientemente a las nuevas demandas de la sociedad.

Por otra parte, merece la pena definir una política energética nacional, para exponer el interés social relacionado con la extracción de, sobre todo, los yacimientos más pequeños de gas. El debate sobre este asunto en Holanda aún no ha concluído. En una parte del mar de los Wadden está prohibido perforar actualmente, mientras que sobre un posible permiso para perforar en la parte restante todavía no se ha dicho la última palabra. ■

TIERRA Y TECNOLOGIA

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACION GEOLOGICA

- *Ingeniería Geológica*
- *Exploración Minera*
- *Hidrocarburos*
- *Hidrogeología*
- *Geología Ambiental*
- *Paleontología*
- *Recursos Minerales*
- *Cartografía*
- *Técnicas de perforación*
- *Geología Estructural*
- *Geofísica*
- *Teledetección y SIG*
- *Energía Nuclear y Residuos Radiactivos*
- *Mineralogía, Petrografía, Petrología*
- *La España verde (Itinerarios Geológicos)*
- *Temas de actualidad*
- *Monográficos de los países de la CEE*
- *Sedimentología*
- *Geoarqueología*
- *Geoecología*

BOLETIN DE SUBSCRIPCION

REMITIR A: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos
Avda. Reina Victoria, 8-4.º B
28003 MADRID
Tel.: 91-5532403
Fax: 91-5330343

SUBSCRIPCION, UN AÑO 2.500 PTS.: 4 NUMEROS

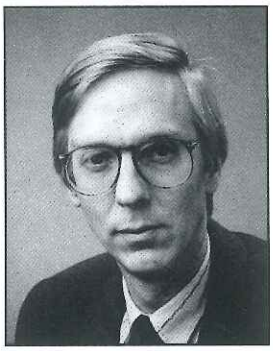
Don/Doña ..... *Empresa* .....
Actividad ..... *CIF o DNI* .....
Calle ..... *Tel.* .....
Población ..... *Fax* .....
Provincia ..... *C. P.* .....

Formas de Pago:

☐ *Cheque bancario adjunto n.º* .....
☐ *Giro Postal n.º* .....

CONFORME
(Firma y sello de la empresa)

EL DESARROLLO DE LA DESCONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN HOLANDA



P. J. de Bruijn

El autor es ingeniero químico por la Universidad Politécnica de Twente. Es especialista en la gestión de aguas y la protección del suelo. Asimismo, fue secretario del Comité técnico para la Protección del Suelo del Ministerio del Medio Ambiente. En DHV es director de proyectos del sector de Tecnología Ambiental, dirigiendo estudios relacionados con, entre otros, la descontaminación del suelo y de las aguas subterráneas, la política ambiental, el estudio de riesgos, el almacenamiento de residuos y la tecnología del control de migración. DHV Environment and Infrastructure BV, Postbox 1076, 3800 BB Amersfoort (Holanda).

En los Países Bajos, la descontaminación del suelo y de las aguas subterráneas comenzó en serio hace aproximadamente 10 años, basándose en la experiencia obtenida en la práctica de la ingeniería civil tradicional. Durante la última década, se han dado pasos importantes hacia delante: un mejor entendimiento de la hidrogeología local y de las propiedades de los contaminantes ha producido mejoras en el diseño y el funcionamiento de los sistemas de descontaminación, lo que a su vez ha llevado a diversas aplicaciones del control de proceso en la descontaminación de agua subterránea.

Proper soil and groundwater clean-up in the Netherlands started some 10 years ago, making use of the traditional civil engineering experience. Optimization has since proceeded. A better understanding of local geohydrology and contaminant behaviour led to improved design and operation of the clean-up system. This in turn led to aplications of process control in grounwater clean-up.

Introducción

La experiencia de «Lekkerkerk» dio lugar al inicio de la descontaminación del suelo y del agua subterránea en los Países Bajos. En Lekkerkerk, un municipio pequeño en la provincia de Holanda del Sur, se había construido un nuevo barrio residencial en una zona pantanosa, cuya superficie había sido elevada artificialmente con residuos sólidos. Desde hace siglos, los residuos inertes industriales, de demolición y domésticos han sido empleados con este fin (en la ciudad de Dordrecht se encontró una amplia colección de zapatos de cuero medievales, en un estado de conservación excelente, que habían sido utilizado para «pavimentar» las calles terrosas de la ciudad). Sin embargo, en el caso de Lekkerkerk, estos materiales contenían, de forma ilegal, residuos químicos; los costes de la descontaminación subsiguiente alcanzaron los 200 millones de florines (aprox. 13.000 millones de pesetas). Esta costosa lección dio lugar al inició de un amplio pro-

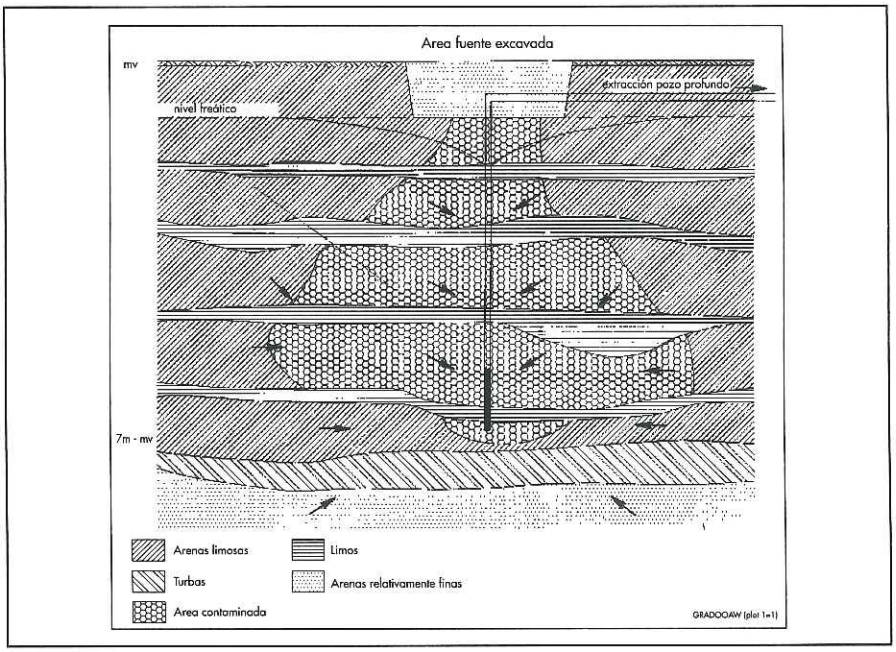


Figura 1.–Representación esquemática de un proyecto de descontaminación de agua subterránea, según el sistema utilizado inicialmente.

grama de identificación, estudio y, hasta cierto punto, limpieza de los lugares contaminados. El número de casos detectados es impresionante y sigue aumentando, siendo el gasto anual de unos 500 millones de florines (aprox. 32.500 millones de pesetas). Se estima que este esfuerzo económico tendrá que mantenerse durante los próximos 50 ó 100 años para eliminar la totalidad de los focos de contaminación (el concepto medio ambiental holandés incluye en la definición de lugares contaminados a los emplazamientos industriales o comerciales, reflejando en primer lugar el nivel absoluto de contaminación, y manteniendo una clasificación sugundaria según el riesgo para la salud pública y el medio ambiente).

El subsuelo de los Países Bajos consiste, en líneas generales, de depósitos fluviales y marinos compuestos de alternancias de capas de grava, arena, arcilla y turba, y con una estructura y potencia que varía según la historia geológica local y regional. En las partes central, oriental y meridional dominan los sedimentos arenosos, cuya potencia puede sobrepasar los 100 m, con intercalaciones de turbas y arcillas de origen fluvial o glacial. En esta zona, el agua subterránea constituye la fuente principal para los abastecimientos urbanos y, además, constituye un recurso importante para la agricultura e industria. Por otra parte, el agua subterránea poco profunda juega un papel clave en la preservación de unos ecosistemas terrestres, húmedos y acuáticos de carácter singular.

Las zonas occidental y septentrional de los Países Bajos son el dominio de los depósitos marinos, con capas extensas de arcillas y/o turbas, alternando con arenas. Dado que el agua subterránea profunda suele ser salobre o salada, sólo se utiliza a pequeña escala para los consumos humanos. Existe, sin embargo, una fuerte interacción entre el agua subterránea de poca profundidad y el sistema de agua superficial, por lo cual la calidad de las aguas subterráneas afecta a la agricultura y al esparcimiento, además del medio ambiente acuático y el ecosistema en general.

Dada la importancia que tiene el mantener la calidad de las aguas subterráneas a un buen nivel, la contaminación local de las mismas supone un motivo principal para la toma de medidas de descontaminación y control. Un

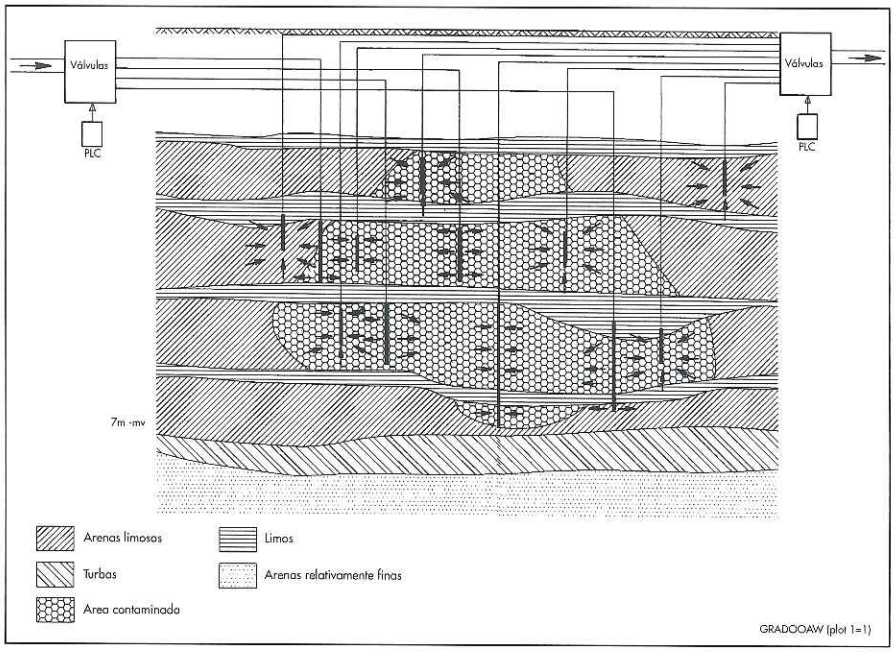


Figura 2.–Representación esquemática de un proyecto de descontaminación de agua subterránea, en según el enfoque actual.

caso de contaminación del suelo implica generalmente un área fuente y una zona de migración afectada. En la mayoría de los casos, el área fuente está formado por las capas más superficiales del suelo, con unas concentraciones de contaminantes altas, mientras que la zona de migración afectada incluye la zona no saturada infrayacente y una parte del sistema de agua freática. La extensión de la zona afectada depende, por supuesto, del tipo y de la edad de la contaminación, de las características hidrogeológicas y de varias propiedades del suelo y de los contaminantes específicos. El concepto de área fuente (el suelo) y zona de migración (el agua subterránea) llevó, obviamente, a tratar el problema de la descontaminación mediante una combinación de la excavación del suelo y el tratamiento del agua con métodos de tipo "extraer y limpiar". En la práctica, este último resultó ser más complicado de lo que se había esperado.

Enfoque inicial

En la **Fig. 1** se representa el método que normalmente fue utilizado durante los primeros años del proceso de descontaminación de aguas subterráneas en los Países Bajos. Debido al conocimiento limitado de la localización y extensión del volumen de agua subterránea contaminada, en los centros de las áreas afectadas se instaló uno o varios pozos profundos, mientras que en los casos de un nivel superficial y de escaso espesor, saturado agua subterránea, se llevó a cabo un drenaje horizontal. El caudal del agua extraída se definió en función de las características hidrogeológicas («cuanto más mejor»), la cota mínima del nivel freático todavía aceptable y, finalmente, por las consideraciones geotécnicas (p.e. daños causados a construcciones). Básicamente, los criterios de diseño reflejaban la experiencia obtenida en la ingeniería civil, centrándose más en «cómo extraer el agua» que en «cómo extraer los contaminantes».

En el caso de utilizar instalaciones para el tratamiento de agua, estas fueron diseñadas en base al caudal y las concentraciones esperadas de los contaminantes más pertinentes. Estas últimas se establecieron de dos formas:

- calculando la media (arbitraria) de las concentraciones registradas;
- muestreando el agua subterránea durante ensayos de bombeo cortos, realizados para definir las características hidrogeológicas locales

El período de duración de las obras de descontaminación es un factor importante a la hora de estimar el total de los costes económicos del proyecto, derivándose estos en la práctica a partir de:

- el tiempo que puede tardar el agua subterránea en migrar desde el límí-

te de la zona contaminada hasta el centro de la extracción;
- el volumen de agua contaminada, dividido por el flujo;
- la corrección de los indicadores citados anteriormente por un «factor de barrido» (normalmente entre 3 y 5) que refleja los procesos de sorción y los fenómenos de transporte.

Sólo en casos excepcionales se determinó el factor de barrido en base a experimentos de laboratorio (experimentos de dessorción en testigos obtenidos en el área de la obra).

La realidad de los trabajos fue muy distinta de lo esperado, debido principalmente a dos factores:
- las concentraciones de contaminantes en el agua extraída y, por tanto, en los influentes en las instalaciones de tratamiento, eran más o mucho más bajas de lo esperado;
- una limpieza «completa», si llegaba a realizarse, duraba mucho más de lo esperado.

Estas observaciones llevaron a la realización de una evaluación de la experiencia obtenida durante los primeros cinco años de descontaminación de agua subterránea.

La concentración de contaminantes en el agua subterránea tiende a aumentar cuando se para el proceso de filtración.

Evaluación

En 1986, unos 125 proyectos de descontaminación se habían realizado, estaban siendo ejecutados o a punto de comenzar. El Instituto para la Gestión de Aguas Continentales y Tratamiento de Aguas Residuales encargó a DHV la recopilación y el análisis de la información disponible sobre el diseño y la planificación, la ejecución y los resultados de estos proyectos. Los lugares contaminados, elegidos para el estudio, estaban destinados a una amplia variedad de actividades, incluyendo la gasificación del carbón, la industria química, el acabado de productos de textil y metálicos, lavanderías químicas, gasolineras, etc. El grado limitado de avance de las obras y, desgraciadamente, la adecuación de la documentación sólo permitieron evaluar unos 25 proyectos, referiéndose en este artículo a los resultados de 13 de éstos.

Las concentraciónes de contaminantes esperadas en el agua extraída y la duración de las operaciones de descontaminación se resumen en **Tabla 1**. Los resultados ilustran las tendencias señaladas anteriormente.

Un detallado análisis de estos casos reveló las posibles causas de las discrepancias entre las estimaciones y la realidad. Las diferencias están relacionadas con varios aspectos que se ignoraban y todavía se ignoran con frecuencia, o con aquellos que, en un trabajo supuestamente rápido y barato, no recibieron la atención que merecían, teniendo en cuenta su importancia para un trabajo de descontaminación bien hecho.

Caso	Contaminante	Nivel de concentración inicial		Período de ejecución		
		Método de estimación[1]	Cociente real / estimado	Método de estimación[2]	Cociente real/ estimado	Duración (años)
1	fenol	a	2,0	3	1,0	0,04
2	tri, tetra	–	–	3	> 1,5	> 1,1
3	estaño	b	1,0	–	–	–
4	tetra	b	1,0	3/4	–	–
5	tetra	a	–	3	> 2,8	> 1,3
6	tetra	a	0,2	–	10	2,3
7	ciamida	–	–	2\3	> 1,5	> 3
8	tetra	b	–	1/2	> 1,0	> 1
9	naftaleno	a	0,1	–	–	–
10	estaño	–	0,4	1/3	> 1,2	3
11	benceno	–	–	2/3	2,5	1
12	tetra	a	0,01	1/3	> 1,3	> 2
13	cadmio	–	–	–	–	–

– no especificado
> proyecto todavía no terminado
[1] a. concentración media
b. ensayo de extracción
[2] 1. tiempo de migración del agua subterránea periférica
2. volumen / flujo
3. 1 6 2 con factor de barrido
4. experimento de columna

Tabla 1. Concentraciones reales y estimadas, y duración de la descontaminación

Delimitación de la contaminación del suelo y del agua subterránea

A menudo, las investigaciones preliminares no parecen ser suficientes. El volumen real de agua contaminada es mucho mayor de lo estimado inicialmente y el área fuente de suelo contaminado es mayor o más disperso. Incluso un suelo con un nivel de contaminantes relativamente bajo, que no ha sido excavado durante las obras, puede contaminar de forma considerable y durante un largo período de tiempo la infiltración de la lluvia.

Hidrogeología y el diseño del sistema de extracción

En la mayoría de los casos se subestimó la importancia de la heterogeneidad del subsuelo. Diferencias relativamente pequeñas en la gradación y la textura de los estratos que componen el suelo, dan lugar a variaciones substanciales en las velocidades de flujo horizontales y verticales. Las capas con una permeabilidad ligeramente más alta actuarán como vía de transporte preferida para el agua extraída. Como resultado de este fenómeno, estos estratos llevarán agua periférica "limpia" mucho antes de que los flujos subterráneos puedan haber descontaminado las capas menos permeables. Además, si se utilizan filtros grandes, los extremos de estos comenzarán a extraer agua «limpia» de las zonas por encima y por debajo del nivel contaminado. Finalmente, algunas partes de la zona de extracción no se pueden descontaminar del todo mediante el barrido con agua subterránea, como es el caso de la parte superior de la zona freática saturada, que cambia a ser no saturada debido a la depresión del nivel freático, producida por la extracción (**Fig. 1**). Por otra parte, si se aplican filtros o drenes múltiples, se crean zonas estancadas entre las subáreas de extracción.

Comportamiento de los contaminantes en el suelo

Los contaminantes más importantes, tanto de tipo orgánico como inorgánico, muestran un comportamiento complejo dentro del sistema multi-fásico que es el suelo. Las características físico-químicas y la macroquímica determinan la partición (la distribución entre las fases sólidas y líquidas) y la mobilidad de un contaminante. Los procesos reguladores incluyen la sorción no-lineal y competitiva, la formación de complejos, la precipitación y la disolución. Son muchos los parámetros involucrados: el pH y la capacidad tampón del suelo, la potencial redox, la capacidad de intercambio de cationes (CEC) y las características relacionadas con los factores anteriores, como el contenido de finos y la abundancia de materiales vegetales, de hierro, manganeso, cloro, etc. Además, estos parámetros varían en el espacio y en el tiempo, por ejemplo en la transición de macroporos a microporos y en las superficies de partículas sólidas. Quedan por citar los diferentes tipos de mecanismos de transporte, que varían desde la difusión molecular, pasando por la dispersión hasta llegar al transporte por convección por la matriz edáfica.

Como consecuencia, el progreso de una obra de descontaminación se ve obstaculizado por, principalmente:

- la dessorción no lineal de la fase sólida a la líquida;
- la difusión lenta de los contaminantes de las zonas estancadas y de los microporos a los macroporos;
- la liberación lenta de los contaminantes por los cuerpos arcillosos o de turbas, lo cual es, de hecho, una combinación bajo condiciones desfavorables de los dos puntos citados anteriormente;
- el intercambio por difusión y dispersión de los contaminantes entre estratos con diferentes propiedades físico-químicas y hidrogeológicas y, por tanto, con concentraciones de contaminantes diferentes.

Se concluyó que la mejora de la preparación y ejecución de las obras de descontaminación era imprescindible. Esto se podría conseguir mediante:

- una ampliación de las investigaciones previas de campo;
- un análisis adecuado de las características hidrogeológicas locales y regionales, que incluye una caracterización y esquematización más detallada de la estratigrafía local;
- la predicción, en base a experimentos de columna, de la repuesta del suelo contaminado a los flujos subterráneos (experimentos de dessorción sobre muestras tomadas en el propio lugar);
- la elaboración del diseño y del manejo de los sistemas de extracción de agua subterránea.

El enfoque inicial se centró más en «cómo extraer el agua» que en «cómo extraer los contaminantes»

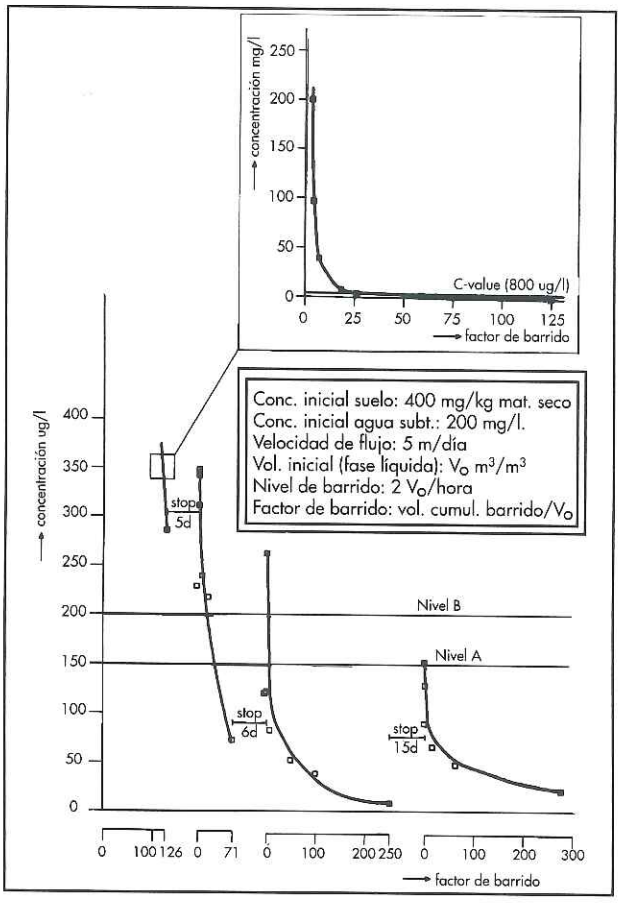


Figura 3.–La dessorción de zinc en una muestra no alterada al ser barrido de forma intermitente con agua subterránea.

DESARROLLO Y ESTADO ACTUAL

Investigaciones preparatorias de campo

En la práctica en Holanda, antes de empezar a pensar sobre las medidas de corrección, se considera absolutamente necesario delimitar la extensión espacial (en 3 dimensiones) de la contaminación de agua y suelo. Los contornos de los niveles A y C de la contaminación (el nivel A corresponde con el límite exterior de la contaminación, mientras que el nivel C delimita la zona donde la contaminación supone un riesgo actual o potencial serio para la salud pública y el medio ambiente) tienen que estar establecidos, tanto en el suelo (incluyendo la zona saturada) como en el agua subterránea. En la actualidad, el Ministerio de Medio Ambiente está preparando una normativa para esta fase de los estudios, que obliga llegar a una precisión espacial de unos 10 metros. A pesar de ser útil en casos de contaminación superficial de suelos, uno puede preguntarse si esta normativa puede ser aplicada de forma razonable en los casos de contaminación del agua subterránea con disolventes halogenados a profundidades entre 50 y 80 metros, como suele ocurrir.

En la mayoría de los casos se subestimó la importancia de la heterogeneidad del subsuelo

En cualquier caso, en comparación con la situación de hace 10 años, este aspecto ha sido mejorado lo suficiente. Hay que resaltar que los límites «exactos» de las zonas centrales y periféricas de la contaminación del suelo representan un factor importante a la hora de establecer el método óptimo de descontaminación, que puede variar entre una excavación más extensa, con los costes añadidos de tratamiento y vertido del material, y unas medidas prolongadas del tipo «bombeo y tratamiento». Generalmente, los beneficios de la optimización de este aspecto del proyecto compensan ampliamente las inversiones adicionales causadas por el estudio de campo.

Hidrogeología

Análogo a la penetración de los ordenadores en la vida privada y profesional durante la última década, la modelización numérica del componente hidrogeológico de un proyecto de descontaminación de agua subterránea se ha convertido en una práctica cotidiana. Los modelos de tipo 2-D, semi 3-D y 3-D están disponibles en diferentes formas, y tanto el *hardware* como el *software* permiten llegar a un nivel de resolución alto y realizar un tratamiento eficaz de los datos de entrada y salida. Adicionalmente, la intensificación del trabajo de campo hacen posible una esquematización más detallada del sistema formado por el suelo y el agua subterránea local.

Como consecuencia, la capacidad para controlar y manipular los flujos de agua subterránea aumentó en la misma medida. La **Fig. 2** representa los conceptos modernos de un plan de descontaminación de agua subterránea: la combinación de infiltración y extracción, y la aplicación de un gran número de pequeños filtros de extracción bien colocados en vez de un número limitado de filtros grandes. El motivo para trabajar de esta forma es, básicamente, una optimización: los costes iniciales ligeramente más altos están más que compensados por la reducción de los gastos operacionales.

En este momento, son dos los factores que limitan el perfeccionamiento de la modelización hidrogeológica. En primer lugar, el análisis detallado y exacto de la hidrogeología local y regional requiere datos detallados acerca de las velocidades de flujo y sus direcciones, tanto temporales como en el espacio tridimensional. Esto implica que se necesita una red de filtros de observación y la realización de mediciones frecuentes (digamos semanales) durante un período largo (de varios años). Una base de datos de este tipo existe sólo en casos excepcionales, y ni el cronograma ni el presupuesto de los proyectos permite obtener la información deseada. Por este motivo, el valor añadido del perfeccionamiento de la modelización hidrogeológica más alla de su estado actual, se reduce hasta convertirse en una ilusión.

El segundo factor refleja limitaciones presupuestarias, ya que el convencer a un cliente a pagar la dedicación de unas cuatro semanas de trabajo a este tema ya supone un logro considerable por sí solo. Sin embargo, si se compara esta situación con la que existía dentro del mundo de las consultorías hace 10 años, se ha dado un paso importante hacia delante.

El comportamiento de los contaminantes

Como ha sido afirmado anteriormente, el comportamiento de los contaminantes, superpuesto sobre la hidrogeología, es un factor clave en el diseño, la optimización y la estimación de los costes de un proyecto de descontaminación. La dessorción, que como una «caja negra» puede representar todo un complejo de procesos, puede ser considerada como la característica más importante. En este sentido, hay que resaltar que este fenómeno no es una propiedad de un contaminante en sí, sino de un contaminante en un suelo específico y bajo unas condiciones particulares, que incluyen las variaciones en las concentraciones y la historia de la contaminación.

Considerando lo anteriormente citado, las generalizaciones y extrapolaciones producen incertidumbres y errores sustanciales. Además, la dessorción se distingue de la adsorción en cuanto a los tipos y la dinámica de los procesos y los mecanismos de transporte involucrados. Ya que la adsorción es relevante para la migración de los contaminantes y su movimiento en el medio ambiente, este fenómeno recibe mucha atención. Sin embargo, la descontaminación está condicionada por la dessorción, por lo cual los datos referentes a la adsorción sólo pueden ser aplicados parcialmente.

Como consecuencia, actualmente se caracteriza el comportamiento de los contaminantes en la mayoría de los casos de forma experimental. Con este fin, se recogen muestras no alteradas del lugar de estudio, preferiblemente como una serie de columnas para cada unidad estratigráfica en la zona contaminada. Estas columnas son percola-

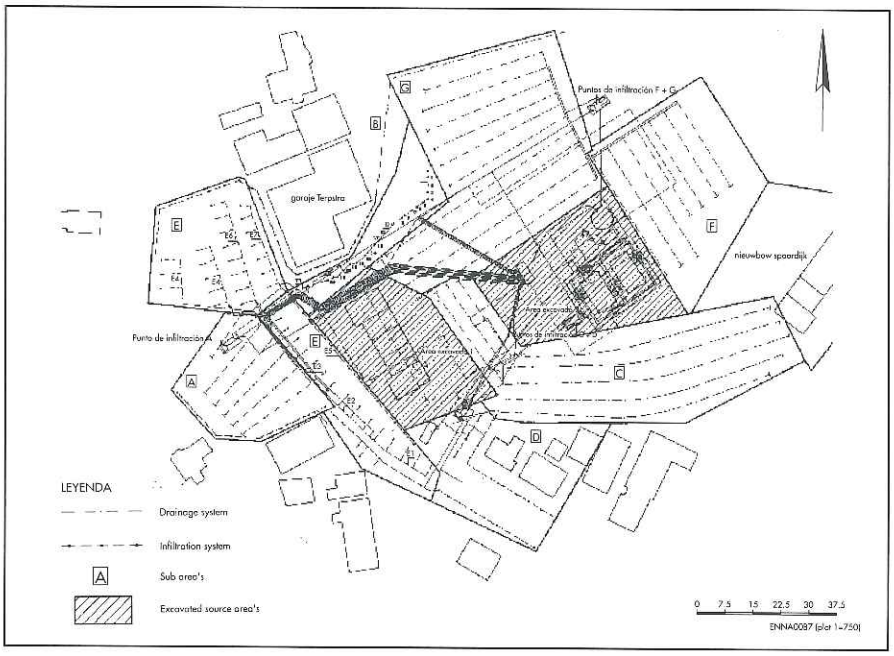


Figura 4.–Representación esquemática del sistema actual de descontaminación de agua subterránea (ENNA Aerosols, Sexbierum, Frisia).

das con agua subterránea «limpia» del lugar y se registra periódicamente el nivel de los contaminantes en el agua percolada. Con los resultados se ajustan las ecuaciones no lineales de desorción (isotermos de Freundlich), que sirven para simular el desarrollo en el tiempo de la operación de descontaminación. El cociente del flujo y volumen, llamado el factor de barrido, que se necesita para llegar a un nivel de descontaminación determinado, indica el tiempo necesario para la obra, con los flujos esperados por los diferentes estratos.

La **Fig. 3** muestra algunos de los resultados típicos de los experimentos de columnas respecto a la dessorción de metales pesados, como el zinc, en los suelos. En primer lugar muestra la dessorción no lineal, donde el traspaso de masa a la fase líquida se reduce después de una fase inicial rápida. En segundo lugar, se ve que para llegar a los niveles deseados de descontaminación (que en la situación holandesa se fijan en el nivel B o preferiblemente el A), el agua tiene que barrer el suelo muchas veces, en este caso más de 200. Además, la **Fig. 3** ilustra que la concentración de contaminantes en el agua subterránea tiende a aumentar cuando se para el proceso de filtración. Por esto, un proyecto de descontaminación dará resultados insuficientes si se muestrea algun tiempo después de su terminación. Finalmente, la figura indica que un plan de extracción intermitente mejora la cantidad de contaminantes respecto al volumen de agua extraída.

Diseño y operación

El análisis de la experiencia obtenida durante la última década llevó a abordar el tema de la descontaminación de agua subterránea de otra forma. La optimación requería dos cosas: por una parte, una mayor complejidad y grado de detalle en el diseño y el equipamento del sistema actual de control del agua subterránea, y por otra, una mayor flexibilidad en el control de procesos y en los procedimientos de actuación.

La **Fig. 4** muestra la organización de una obra de descontaminación de agua subterránea en la actualidad. Se trata de un terreno donde está ubicado un centro de producción de aerosoles, que causaba una contaminación substancial de las aguas subterráneas por disolventes. La zona afectada fue dividida en subáreas más pequeñas por los siguientes motivos:

- poder controlar con mayor grado de detalle la circulación del agua subterránea;
- el tipo, la extensión y la profundidad de la contaminación;
- las condiciones impuestas por las construcciones e infraestructura existentes;
- la heterogeneidad de la estratificación del suelo y de sus características hidrogeológicas.

El sistema de control del agua subterránea en cada uno de los subáreas consistía en filas de aparatos de infiltración y extracción (drenes horizontales y filtros verticales). Cada serie de drenes y filtros funciona de forma independiente y puede ser utilizado tanto para la infiltración como para la extracción.

Los criterios aplicados al diseño del sistema incluían:

- reducir al máximo la extracción de agua subterránea limpia de zonas periféricas;
- minimizar la distancia entre la contaminación y los aparatos de extracción;
- maximizar los gradientes y las velocidades de flujo en los estratos más potentes;
- reducir al máximo las zonas no barridas (zonas no saturadas y estancadas);
- crear una alternancia en el sentido de flujo por las capas contaminadas;
- mitigar el impacto en el entorno (cambios en el nivel del agua subterránea, ajustes en el terreno).

El sistema funciona de forma intermitente, tanto en el tiempo como en

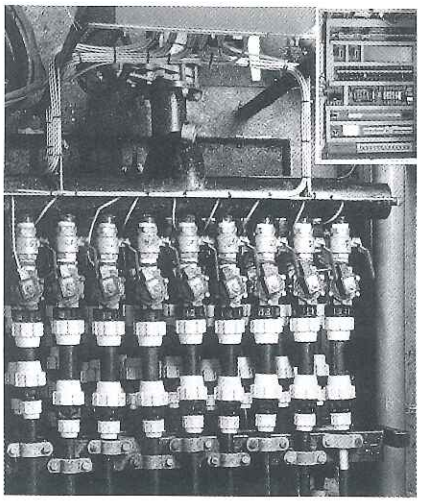


Figura 5.–Unidad de control PLC y las válvulas que comunican las secciones individuales de drenaje con el conducto principal de extracción.

cuanto a las funciones de infiltración y extracción. Afinando los períodos y modos de funcionamiento para cada subárea, se consiguió poder reducir la capacidad de las bombas y de las instalaciones de tratamiento. El sistema de control maneja por separado a las series de drenes y aparatos de infiltración, reaccionando según el estado de los siguientes parámetros:

- flujos;
- la duración y periocidad del funcionamiento (horas por día de funcionamiento, duración de los intervalos inactivos);
- el nivel del agua subterránea en una serie de pozos de control (control automático de niveles y parado del bombeo si se sobrepasa la depresión del nivel freático aceptable);
- el volumen total del agua bombeada hacia la instalación de tratamiento.

El sistema de control aplicado consiste básicamente de una unidad PLC (Controlador Lógico Programable) que dirige el funcionamiento de las válvulas eléctricas en cada sección de drenaje o de infiltración. Las válvulas conectan y desconectan las secciones con una conducción central de aspiración y con la unidad central de bombeo. En la **Fig. 5** está representada la unidad PLC y las válvulas entre las líneas de conductos y el conducto de aspiración. Hasta ahora la unidad PLC se programa y reprograma de forma manual, existiendo sólo algunos controladores de tipo *on-line*.

Expectativas

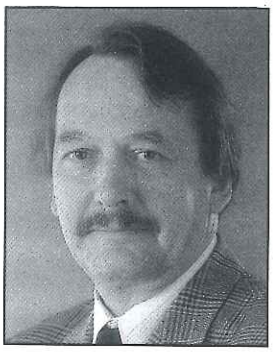
La situación actual, tal como ha sido esbozado anteriormente, puede mejorarse mediante la aplicación de medidas adicionales en los campos de la instrumentación y del control de procesos. Con respecto al control de flujos subterráneos y del nivel freático, la introducción de sistemas de medición *on-line* y de mecanismos de realimentación es relativamente fácil. El nivel freático llegará a ser de gran importancia en los casos de control de agua subterránea en emplazamientos industriales con instalaciones de proceso vulnerables y costosos. Sin incluir algunos parámetros específicos como el pH, resulta mucho más complicado establecer una realimentación directa en base a la concentración de contaminantes (es decir, que el sistema se para automáticamente al alcanzar la concentración en una muestra de ensayo un determinado nivel y arrancar cuando éste sobrepasa un cierto límite). Los específicos sensores baratos y fiables, que se necesitan para esta tarea, todavía no están disponibles en el mercado.

En la actualidad, la realimentación proviene de la evaluación periódica del progreso del proceso de descontaminación. Esto implica que hay que llevar a cabo un muestreo y análisis con un tiempo de repuesta de algunas semanas. Sin embargo, dado que el sistema del suelo y agua subterránea está caracterizado por una reacción relativamente lenta, de días a semanas, la necesidad para una realimentación directa es limitada.

Con respecto a las obras de descontaminación de aguas subterráneas, cuya ejecución dura varios años, los beneficios de una automatización a más alto nivel parecen ser limitados. En el caso de un control permanente de los lugares contaminados, como los emplazamientos industriales donde la excavación de los áreas fuente no es posible, los beneficios a largo plazo de una optimación de la situación existente pueden superar los costes del desarrollo de la instrumentación y de los sistemas de control on-line. Esta perspectiva refuerza la importancia de incluir la experiencia obtenida en el control de proceso tradicional en la práctica de la descontaminación de aguas subterráneas. ■

DHV
ESPAÑA
Gestión e Ingeniería
de
Agua y Medioambiente
DHV España SL
Avenida de los Madroños, 55
28043 Madrid
tel (91) 300 38 78
fax (91) 388 08 01

LA EXPLOTACION DE GRAVA Y LA RESTAURACION DE LAS ZONAS DE EXTRACCION EN LOS PAISES BAJOS



Th. F. Krans

Dr. Th. F. Krans es el Director General del Grupo Panheel, que está compuesto por varias sociedades mercantiles, donde colaboran las empresas holandesas de explotación de áridos. Panheel Groep, Postbox 5080, 6097 ZH Heel (Holanda).

Se describen la historia y la situación actual de la explotación de áridos en el Sureste de Holanda, sus consecuencias medioambientales y las posibles vías de desarrollo de este sector de la minería en el futuro próximo.

The article treats the history and the present situation of the gravel mining in the Southeast of the Netherlands, as well as the environmental impact and possible ways of development of this branch of the mining industry in the near future.

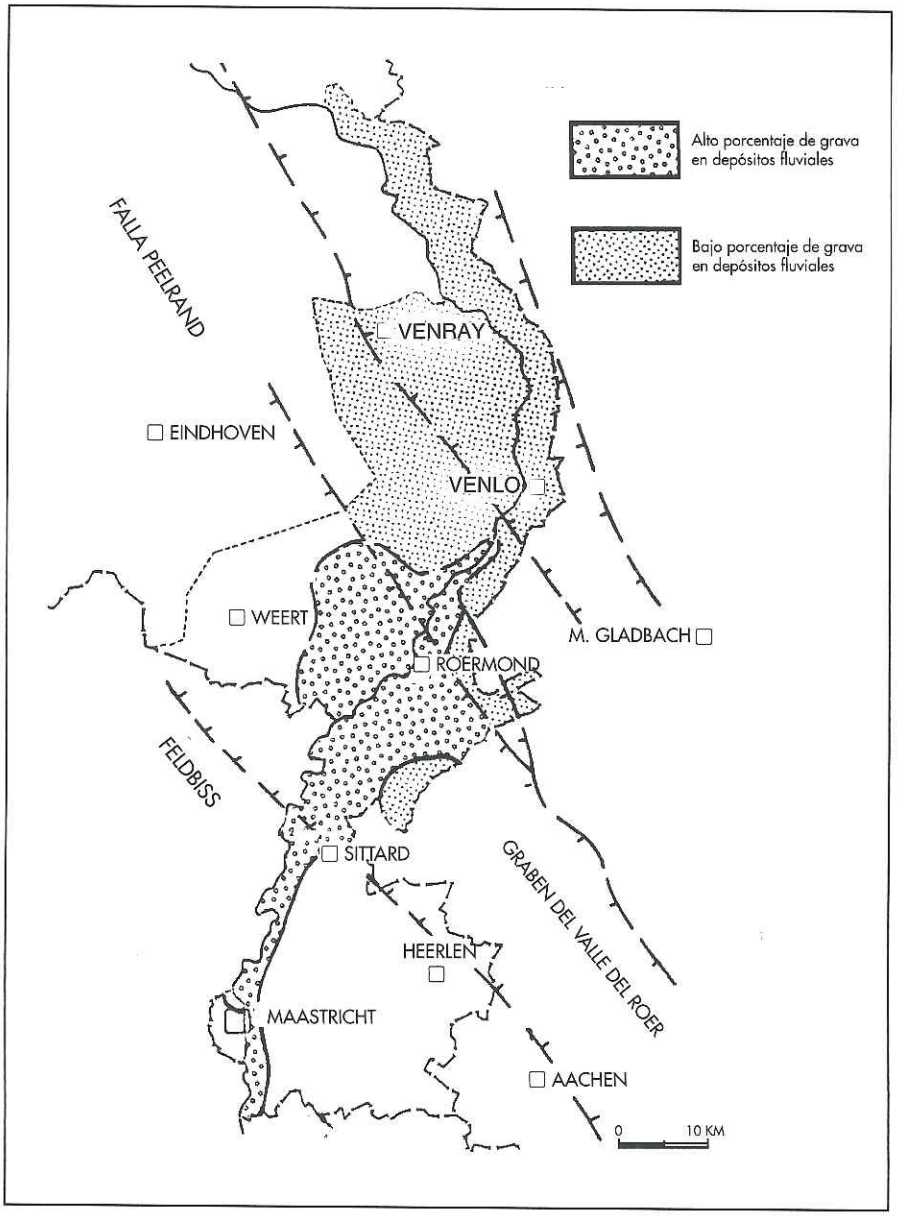


Fig. 1.–Zona de explotación de grava, generalmente por debajo del nivel freático. (FELDER et al.).

Los depósitos de áridos en Holanda

En los sectores central y meridional de la provincia de Limburgo, en el Sureste de los Países Bajos, se localizan depósitos de grava en cantidades que permiten una explotación económicamente rentable, siendo el porcentaje de grava, dentro de la mezcla grava/arena, el más alto. Estos depósitos están situados en la parte más reciente del valle del río Mosa, concretamente en el Graben del río Ruhr, cuyo límite meridional está formado por una falla importante, la *Feldbiss,* y que tiene como límite septentrional otra falla, denominada *Peelrandbreuk* (**Fig. 1**).

Los áridos se encuentran casi en su totalidad por debajo del nivel freático permanente

Los áridos se encuentran casi en su totalidad por debajo del nivel freático permanente y en gran parte han sido depositados por el río Mosa, en un período que abarcaría desde hace 300.000 años hasta la actualidad. Sus componentes provienen mayoritariamente de la cuenca del río Mosa, aun-

Fig. 2.–La draga deposita la grava a un lado y la arena a otro.

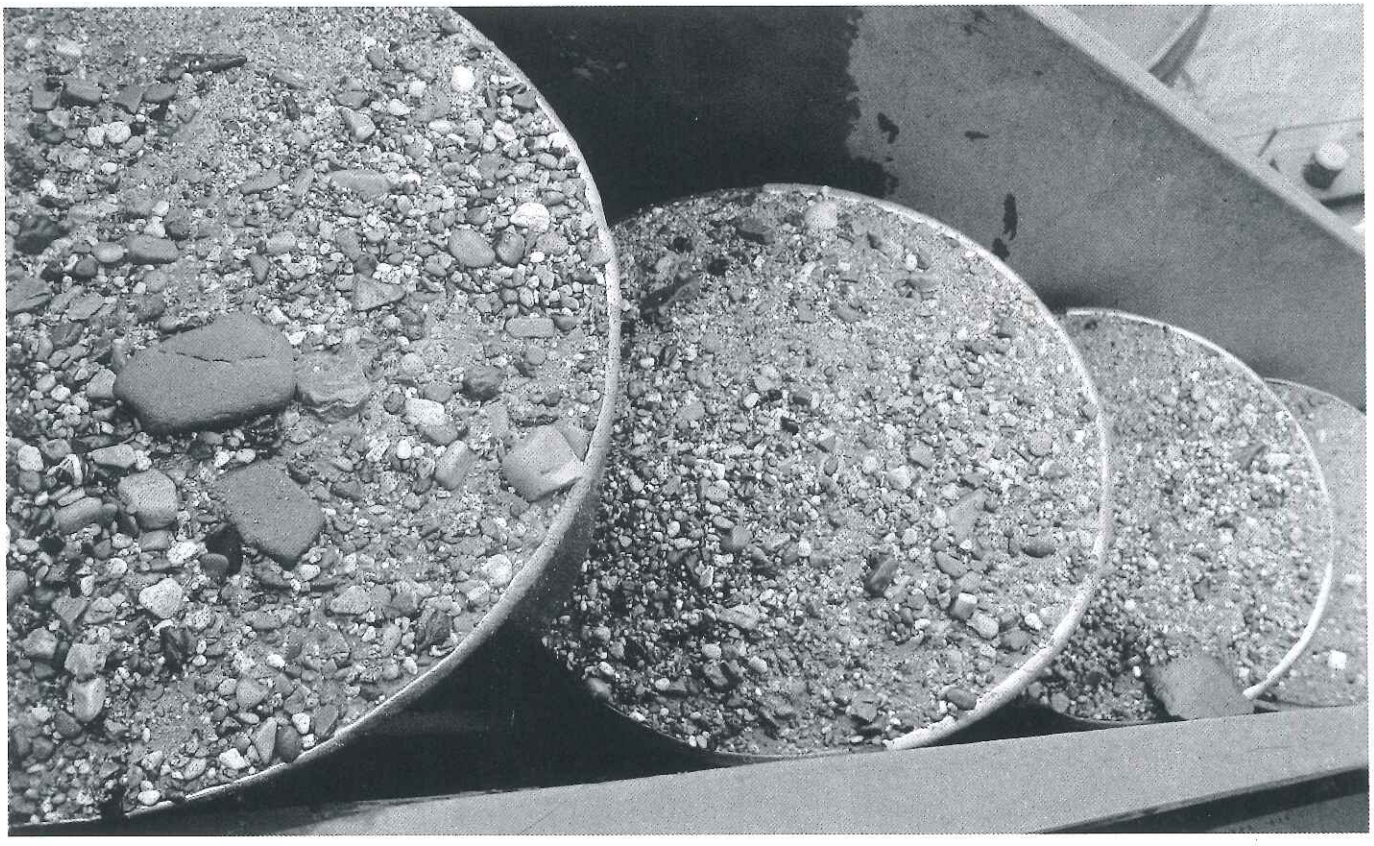


Fig. 3.–Extracción de la mezcla de arena y grava mediante una cadena de cubos.

que al Norte de la *Feldbiss,* este cauce ha erosionado los depósitos del río Rín, integrándolos en sus propios sedimentos.

Dentro del Graben del valle del Ruhr, la potencia de los depósitos sobrepasa los 20 metros en algunos lugares, mientras que al Sur de la *Feldbiss,* las capas de grava son notablemente más finas, aunque el grosor de los componentes es mayor y la fracción de arena más pequeña que dentro del Graben. Aguas abajo, al Norte del Graben, la arena domina en los sedimentos.

El método de explotación

En Limburgo se aplica la denominada «explotación húmeda». Este procedimiento consiste en producir la grava en explotaciones que están en contacto directo con el cauce principal del río depositándose ésta directamente desde la draga a los barcos de transporte (**Fig. 2**).

Todo el tratamiento de los áridos (lavado, clasificación, etc.) se realiza en la misma draga. Como consecuencia, sólo se puede producir si se dispone de un barco de carga al costado para depositar la grava. En este aspecto, este método se distingue de la «explotación seca», en la cual la masa de áridos extraídos se lleva a la orilla para ser tratada y transportada en camiones.

Se aplican 3 métodos distintos (**Fig. 3**) para subir los áridos a la superficie:

a) por medio de una cadena de cubos: dragas;

b) por medio de una pala: excavadoras;

c) por medio de aire comprimido: aspiradoras.

Antes de empezar con la extracción de la grava, hay que quitar la cobertura. La primera capa, con un espesor de unos decímetros, se almacena para ser utilizada como tierra vegetal en la restauración del terreno. El resto de la cobertura, con una potencia que varía de 1 hasta 20 metros, se utiliza directamente en el relleno de otras graveras. Su composición de arena fina no es muy adecuada para fines industriales.

La composición del paquete de grava está representada en **Cuadro 1**:

FRACCION (mm diám.)	MATERIAL	PORCENTAJE (%)
< 5	Arena	36,6
5 - 31,5	Grava	46,6
> 31,5	Grava gruesa	16,8

Cuadro 1.–*Composición del paquete de grava.*

Muchas máquinas de extracción disponen de una instalación para reducir el tamaño de la grava gruesa a fracciones con un diámetro < 31,5 mm, que se mezclan con el resto del material.

Permisos

La tramitación para obtención de los permisos necesarios suele durar varios años. Antes de solicitar las licencias, se habrá de comprar al menos una parte de las fincas que compondrán la futura explotación, pudiéndose solicitar después un *Permiso de extracción.* Si se trata de un proyecto que abarca más de 100 hectáreas, la solicitud debe incluir un *Estudio de Impacto Ambiental* (EIA). El EIA supone la realización de un estudio de todas las consecuencias que la gravera pueda tener para el medio ambiente. En él, se describe además el plan de restauración. Por otra parte, hay que solicitar un *Permiso - Ley de establecimientos peligrosos,* en cuya solicitud se indica, entre otras cosas, cuales serán las molestias para los vecinos en cuanto a los ruidos producidos por la explotación. Un nivel de ruidos inferior a los 50 dB en zonas urbanas se considera aceptable, mientras que para niveles entre 50 y 60 dB, es preciso demostrar la imposibili-

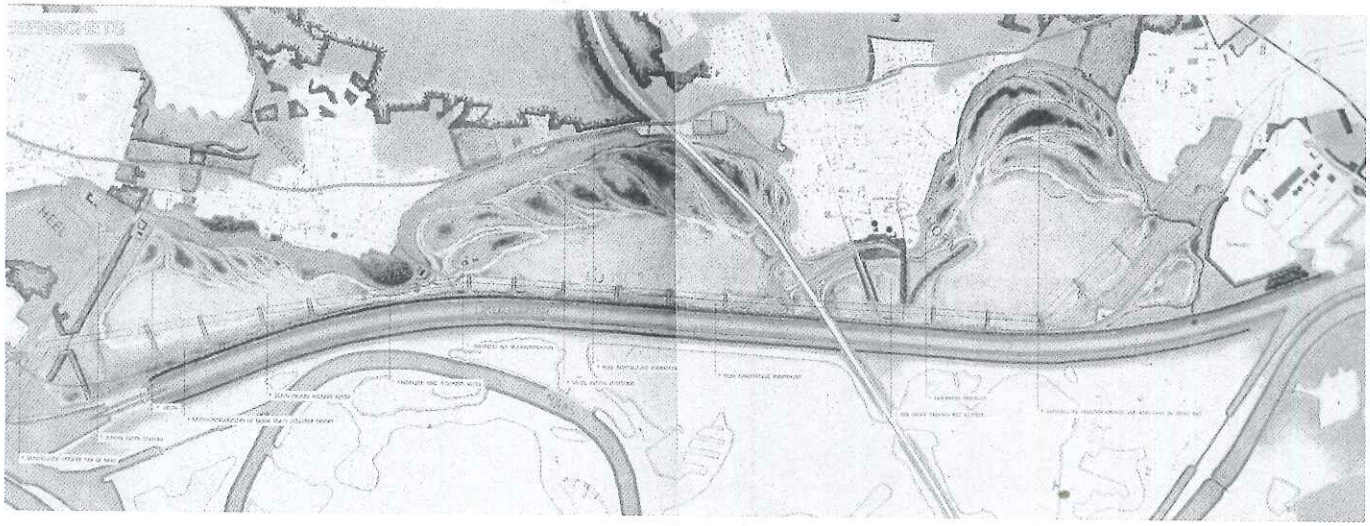


Fig. 4.–La planificación de un proyecto de restauración.

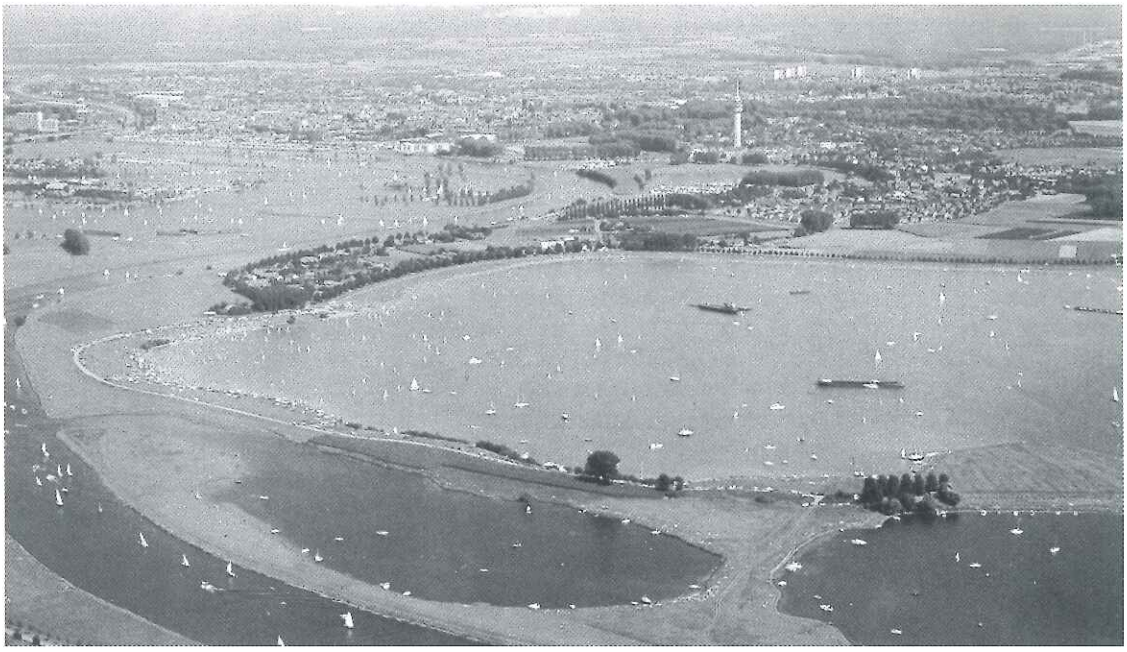


Fig. 5.–Fotografía aérea de los lagos formados por la extracción de grava cerca de Roermond.

dad de llegar a niveles de emisión acústica más bajos, a pesar de haber aplicado diferentes tipos de medidas para la reducción de ruidos (barreras acústicas, aislamiento acústico de las máquinas, etc.).

Otro permiso necesario es el denominado *Permiso - Ley de Contaminación de Aguas Superficiales,* que exige que la tierra vegetal que se utilizará en la restauración no está contaminada, obligándose a tomar medidas especiales en el caso de estarlo, según el grado de contaminación. Todos estos permisos se solicitan en la provincia correspondiente, en este caso Limburgo. El Ayuntamiento, cuyo territorio esté afectado, tiene que declararse de acuerdo con el *cambio del plan de ordenación territorial.* Por supuesto, antes de formalizar la solicitud, la empresa minera y el Ayuntamiento habrán discutido el proyecto ampliamente. La mayoría de las explotaciones se sitúan dentro del cauce del Mosa, por lo que, como último requisito, habrá que pedir un *Permiso - Ley de Ríos* en el Ministerio de Transportes y Aguas.

El Plan de Extracción

En 1969, las autoridades de la Provincia de Limburgo y las empresas de extracción de áridos acordaron que hasta el año 1989, sólo se solicitarían permisos para la extracción de gravas dentro de una zona determinada, definida por la Provincia: la Zona Estructural *(Structuur-visiegebied).* En este acuerdo, la Provincia se encargó de la restauración de las áreas explotadas, mientras que las empresas extractoras se obligaron a pagar un total de 243 millones de florines (aprox. 15.000 millones de pesetas) por la grava y la arena producida, destinados a la restauración de la zona (**Fig 4**).

Es obligatorio realizar un Estudio de Impacto Ambiental para zonas de explotación mayores de 100 hectáreas.

Después de planificar la restauración, la ejecución de la misma se encargó a las propias empresas mineras, para asegurar el empleo futuro («trabajar generando trabajo»). Ya se ha planificado la restauración de prácticamente la totalidad de los proyectos de extracción, aunque sólo en algunos casos se ha podido terminar estos trabajos, ya que la mayoría de los proyectos todavía se encuentran en la fase de extracción del material.

El volumen total de áridos que podía ser extraído de la Zona Estructural se estimó en 270 millones de toneladas de gravas con un diámetro entre 5 - 31,5 mm, suficiente para unas 2 décadas. En 1969, las autoridades de la Provincia de Limburgo se comprometieron a redactar, en el transcurso de los siguientes 20 años, un *Plan de Extracción,* en que se designarían a nuevas zonas para futuras explotaciones de áridos.

Hasta la fecha, este Plan no ha sido definido todavía. Sin embargo, como medida provisional, la Provincia ha delimitado una nueva zona para la extracción de 25 millones de toneladas de grava: la denominada zona STEVOL.

La Zona Stevol

En esta zona, situada dentro de los municipios de Stevensweert y Ohe en Laak, la explotación debería haber empezado ya en el año de 1989. Todas las partes estaban de acuerdo sobre los planes y la entrega de los permisos parecía inminente. Sin embargo, la Administración Provincial exigía un Estudio de Impacto Ambiental, a pesar de que la Ley, que obliga la realización de un EIA para zonas mayores de 100 hectáreas, fue aprobada mucho después de la entrega de la solicitud de extracción. Según las empresas, en estas circunstancias no se les podía obligar a realizar un EIA. La apelación contra la decisión de la Administración Provincial fue, sin embargo, denegada y el

proceso de solicitud de los permisos sufrió un retraso de más de tres años.

En este momento se han entregado todas las solicitudes necesarias, incluyendo el EIA y se espera la concesión de los permisos. Se estima que a finales del 1992 se concluirá el procedimiento administrativo y que la explotación podrá empezar a principios del 1993. A diferencia de los proyectos dentro de la Zona Estructural, el plan de restauración de la Zona Stevol formará parte de las condiciones del permiso y se llevará a cabo por las propias empresas.

El futuro de las explotaciones

En las últimas décadas, importantes cantidades de grava han sido extraídas de diferentes partes de la Provincia de Limburgo. El aumento rápido del nivel de bienestar ha traído consigo la construcción de viviendas, carreteras y vías acuáticas, generando una fuerte demanda de grava como materia prima. Especialmente en la parte Central de Limburgo, la actividad minera ha producido importantes cambios en el paisaje.

La extracción de grava ha sido positivo en cuanto a facilitar la práctica de los deportes náuticos, como se puede observar en la **Fig. 5**.

Entre las consecuencias negativas están las modificaciones del paisaje, de ecosistemas y del medio ambiente, lo cual ha dado a la extracción de áridos en Limburgo mala fama entre grupos de la población y diversas organizaciones. La forma en la que se practicaba la extracción en el pasado (normalmente a gran escala y durante un largo período de tiempo, con responsabilidades administrativas mal definidas, confusión sobre la restauración y el modo de conservación) probablemente ha contribuido a que se genere esta imagen negativa.

Lógicamente, las llamadas para el cese de las actividades de extracción de áridos en Limburgo no se hicieron esperar. Sin embargo, el gobierno central no actuó en dicha dirección y obligó a la Provincia de Limburgo a designar, aparte de la Zona de Stevol, otras zonas para unas 70 millones de toneladas de grava como mínimo, antes de terminar gradualmente las actividades de extracción. Tras unas negociaciones, la Provincia logró rebajar esta "obligación" por parte del Ministerio de Transportes y Aguas hasta 35 millones de toneladas.

Por su parte, las empresas proponen otra vía de actuación. Mediante la planificación integrada de la explotación y la restauración, se pretende conseguir un resultado final óptimo, que, incluso, permita mejorar la ordenación espacial existente. Para ello, se encargó un estudio sobre este tema a tres empresas consultoras independientes, cuyos resultados se presentaron, en 1990, en el informe «Visión del desarrollo integral del valle del Mosa». En el mismo, se indica como la extracción de áridos puede contribuir de forma positiva al desarrollo espacial y funcional del valle. Mientras tanto, otra empresa consultora realizó, por encargo de la Provincia, un informe similar, titulado «Futuro para un río de grava».

La idea principal es el aumento de la anchura del Mosa en todo el tramo que forma la frontera entre los Países Bajos y Bélgica. Se ampliará la anchura del cauce por dos o tres para reducir la velocidad de flujo del agua, lo que provocará la redistribución de la arena y grava en el lecho del río y la creación de pequeñas islas, caletas y cauces secundarios, y sitio para el desarrollo de una vegetación de rivera. El nuevo y atractivo paisaje, que podría formarse en unos diez años, estará compuesto por grupos crecientes de sauces y matorral, separados por brazos del río (**Fig. 6**).

Las empresas productoras apoyan las ideas presentadas en los informes, que encajan la extracción de áridos en un amplio plan de desarrollo de la naturaleza, si esto garantiza la continuidad de la producción de áridos para cubrir la demanda nacional y si permite una explotación económicamente rentable. ■

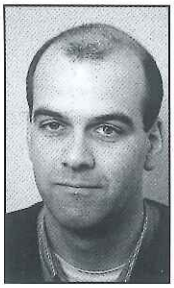
Bibliografía

FELDER, W. M., Grind, zand en klei in de provincie Limburg; Grondboor en Hamer, V.43, N.° 5/6, pp. 231-247.

Fig. 6.–Una orilla restaurada con vegetación recién plantada.

CIERRE DE LAS CUENCAS MAREALES EN EL SUROESTE DE HOLANDA: LAS CONSECUENCIAS GEOMORFOLOGICAS Y EL IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

J. P. M. Mulder[1] F. M. L. Berben[3]



A. J. F. van der Spek[2]

[1]Jefe de la subsección de morfología del Departamento de Investigación de la División de Aguas Mareales; responsable de la investigación aplicada en el campo de la morfología costera y de estuarios. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, subdirección Rijkswaterstaat, división de aguas marinas. Apartado de Correos 20907, 2500 EX La Haya.

[2] Investigador de morfología costera, actualmente estudiando el desarrollo de los áreas intermareales holandeses durante el Holoceno en relación con la subida del nivel del mar. Servicio Geológico de Holanda. Apartado de correos, 2000 AD Haarlem.

[3] Ingeniero de obras fluviales del Departamento de Ríos de la Administración de Güeldres, ha realizado estudios morfológicos y hidráulicos de los ríos Rin, Mosa y Yssel. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Dirección de Gelderland. Apdo 9070, 6800 AD Arnhem.

Las grandes obras de ingeniería costera, desarrolladas en el Suroeste de los Países Bajos, no sólo han aumentado la seguridad de la región. Al mismo tiempo han causado cambios geomorfológicos, medio ambientales y socioeconómicos

.

The great coastal engineering works that have been carried out in the Southeastern part of the Netherlands have improved the safety in this region. The also caused geomorphologic, environmental and socio-economic changes.

INTRODUCCION

Holanda cuenta con una larga historia de ingeniería costera. El bajo nivel de las zonas estuarias de los ríos Rin, Mosa y Escalda ha forzado a los habitantes, desde tiempos remotos, a protegerse contra las inundaciones. Los primeros poblados se construyeron sobre montículos y más tarde aparecieron los primeros diques. Con el desarrollo de la tecnología y las necesidades cada vez más complejas de la sociedad durante el Siglo XX, otros aspectos, aparte de la seguridad, han crecido en importancia. Como consecuencia, ha surgido la necesidad de sopesar todos los aspectos relevantes, en base a un entendimiento exhaustivo del funcionamiento del ecosistema costero. Esto queda reflejado en la historia del Proyecto Delta, el proyecto más reciente de ingeniería a gran escala en Holanda.

El Proyecto Delta

Después del desastre que causó la inundación de 1953, en el que perdieron la vida 1.835 personas en el suroeste de Holanda, se decidió cerrar la mayor parte de las cuencas mareales en la zona (**Fig. 1**). El propósito de esta empresa, conocida como el Proyecto Delta, era la protección definitiva de esta parte del país contra el mar, y la restricción de los efectos de la intrusión del agua salada, incluidos sus efectos dañinos sobre la agricultura. Los canales que comunican a Rotter-

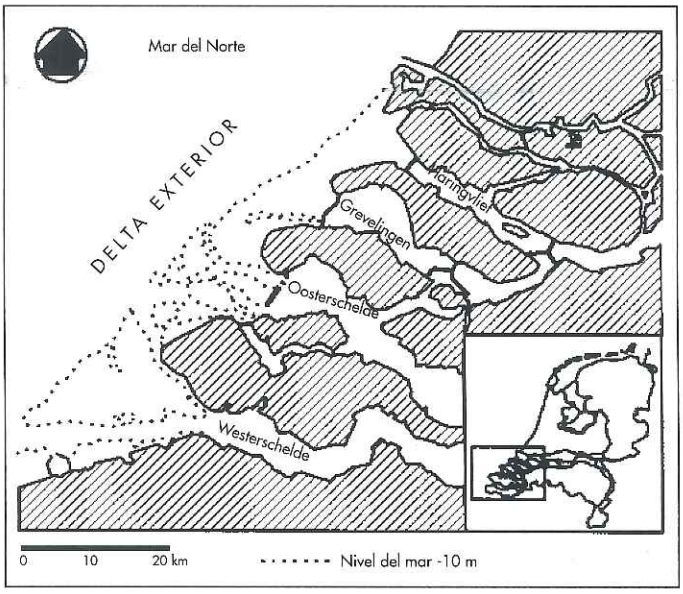


Fig. 1.–El área deltaica del suroeste de Holanda; un sistema de islas, cuencas mareales, ensenadas de marea y deltas de marea baja.

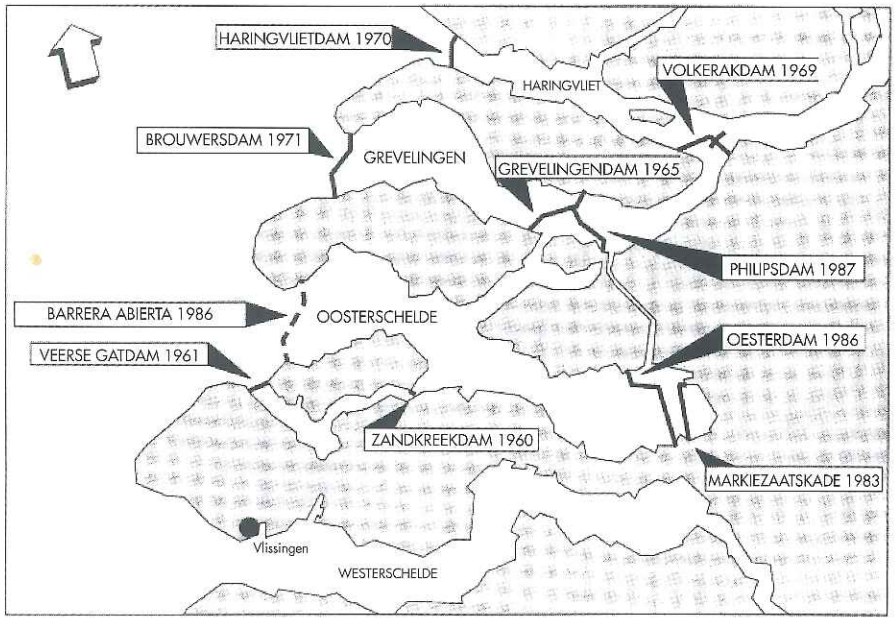
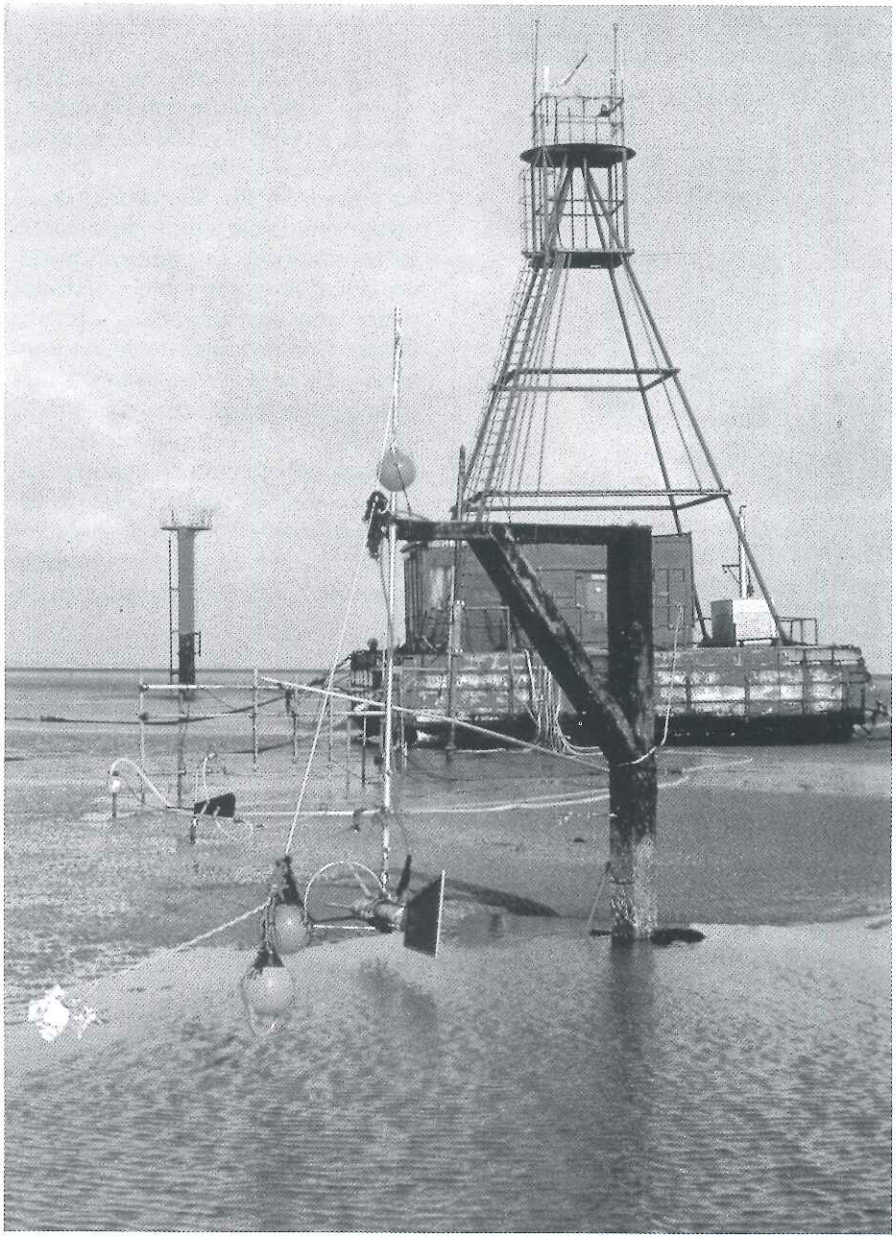


Fig. 2.–Ubicación y año de terminación de los diques construidos en el marco del Proyecto Delta.

Fig. 3.–Instalación para el estudio de los procesos geomorfológicos y hidráulicos en el «Galgeplaat», un banco de arena situado en la parte central del Oosterschelde.

El propósito del Proyecto Delta era la protección definitiva del SO de Holanda contra el mar y la restricción de la intrusión del agua salada



dam y a Amberes con el mar se han dejado abiertos para no obstaculizar la navegación (para más información ver: Saeijs, 1982; Huis in 't Veld *et al.*, 1987).

La ejecución del Proyecto Delta, que comenzó en 1957, se llevó a cabo en varias fases (**Fig. 2**). La primera fase consistió en el cierre de las cuencas mareales más pequeñas, mientras que la última y más grande fue el cierre del Oosterschelde.

Durante la ejecución del proyecto, empezaron a ganar en importancia varios aspectos, que hasta entonces apenas se habían tenido en cuenta. Las posibilidades para el turismo y el esparcimiento, por ejemplo, se hicieron cada vez más importantes en los años sesenta. Además, la valoración de una cuenca mareal abierta para la naturaleza y el medio ambiente, así como para la cría de mariscos, ganó peso a

principios de los años setenta. Esto llevó a la decisión, en 1976, de mantener el carácter de cuenca mareal del Oosterschelde, construyendo una barrera abierta que puede ser cerrada durante tormentas fuertes y mareas anormalmente altas, en vez de un dique fijo. El Proyecto Delta finalizó en 1987.

Investigando el ecosistema

La investigación del ecosistema ha revelado que el Proyecto Delta ha causado cambios en los procesos físicos del entorno, que no habían sido previstos desde el principio, y que tienen consecuencias para varios intereses sociales en la zona (Mulder et al., 1990; Smaal et al., 1991). Recientemente, se han producido los cambios en los procesos geomorfológicos en las zonas costeras en el suroeste de Holanda y en el Oosterschelde. (**Fig. 3**)

CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS EN LOS DELTAS DE MAREA BAJA

Deltas de marea baja en el Suroeste de Holanda

Enfrente de las entradas de las cuencas mareales, en el suroeste de Holanda, se encuentra un sistema de deltas de marea baja que están conectados entre sí lateralmente y que se conoce como el *«Voordelta»* o delta exterior (**Fig. 1**). La morfología de los deltas de marea baja está en equilibrio dinámico con los movimientos del sedimento, causados, por un lado, por las corrientes de reflujo y de marea alta en las cuencas, y por otro, por la corriente de marea que en el mar del Norte es paralela a la costa, y finalmente, con la acción del oleaje. En este complejo sistema de corrientes, existe un intercambio de sedimento entre los deltas de marea baja. La magnitud de estos deltas depende principalmente del transporte de sedimento desde las cuencas mareales, durante la marea baja, estando determinado éste por el prisma de marea de la cuenca (Van den Berg, 1986). La dirección del oleaje predominante produce la formación de bancos marginales en la parte septentrional de los deltas de marea baja, sobre los cuales se pueden formar barras transversales.

Cambios producidos por el Proyecto Delta

Tras el cierre de las cuencas de Haringvliet y Grevelingen alrededor del año 1970, se redujo la velocidad de las corrientes de entrada y salida, en el lado exterior de los diques, entre un 50 y 90 %, quedando el transporte de arena prácticamente eliminado. La erosión en la parte exterior de los deltas, causada por la acción del oleaje y corrientes de marea del mar del Norte, y que previamente era compensada por el sedimento procedente de las cuencas, pudo ahora seguir sin tregua. Como consecuencia, la forma de los deltas de marea baja empezó a cambiar.

En el período entre 1970 y 1978, se erosionó la parte exterior de los deltas de marea baja, principalmente como resultado de la acción del oleaje. El material liberado fue depositado, en parte, en antiguos canales de marea y en barras transversales. La sedimentación de materiales finos en estos canales era mayor en las zonas cercanas a los diques, que en otras más lejanas de la costa. Este fenómeno se debe a la relación lineal entre el corte transversal del canal y su caudal de agua durante la marea (De Jong & Gerritsen, 1984), ya que éste se redujo más cerca de los diques. En los canales cerca de los diques, fue depositado principalmente lodo, en algunos lugares hasta más de 0.5 m por año. Las barras transversales se desarrollaron sobre todo a lo largo del borde septentrional de los deltas de marea baja. Estas barras tienden a trasladarse hacia la costa y en menos de 10

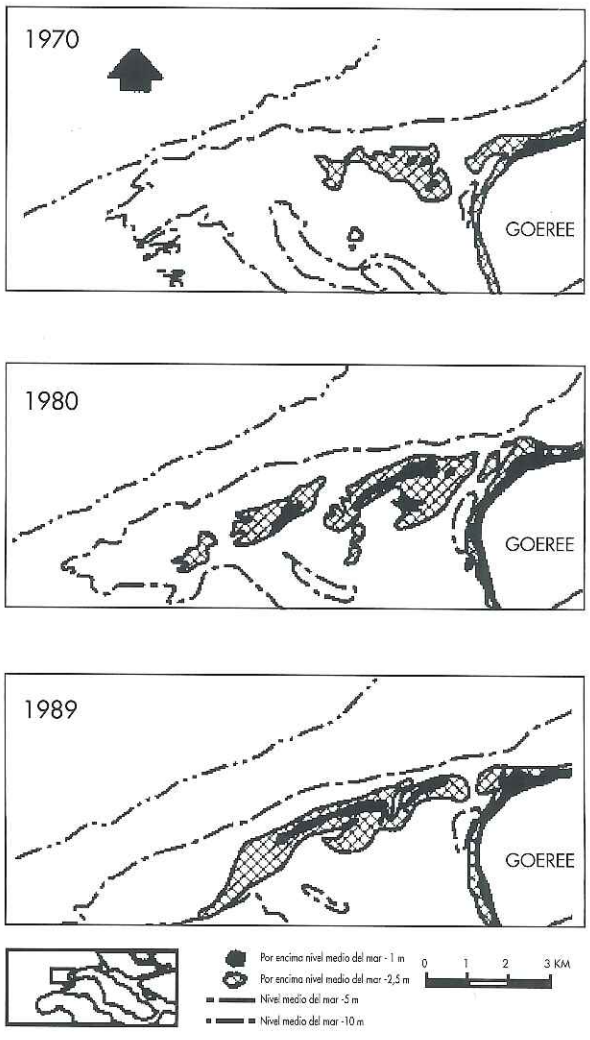


Fig. 4.–Fases sucesivas del desarrollo de barras paralelas a la costa, al borde del delta de marea baja, después del cierre de la ensenada de marea de Grevelingen en 1971 (según Mulder et al., 1991).

Fig. 5. –Imagen de una parte del Oosterschelde, con una alternancia de bancos de arena y ensenadas de marea.

años han evolucionado hasta llegar a ser barras intermareales, paralelas a la costa (Kohsiek, 1988). A partir de este momento, aumentó la influencia de las corrientes de marea. Las corrientes de marea alta transportaban arena sobre los bancos en dirección norte, compensando la acción del oleaje. Como resultado, se estabilizó el tamaño de las barras y se redujo la velocidad a la que se transladaban hacia la costa (Louters *et al.*, 1991; **Fig. 4**).

Hacia 1980, la parte de los canales de marea situada en las zonas distales de la costa se había estabilizado prácticamente. Su corte transversal estaba en equilibrio con la descarga de la marea; ahora, ésta última está siendo determinada totalmente por la marea del mar del Norte. Más cerca de la costa, la sedimentación de lodos en los canales continuaba, mientras que el crecimiento de las barras paralelas a la costa hacia el Norte está siendo limitado por los canales de marea. La sedimentación continuará en la zona detrás de las barras, en un ambiente de relativamente baja energía hidrodinámica (Louters *et al.*, 1991).

La barrera abierta en el Oosterschelde, que ha sido terminada recientemente (1987), ha reducido el prisma de marea en un 30 %, lo cual ha causado unos fenómenos en el delta de marea baja, parecidos a aquellos de las otras cuencas cerradas. Hasta ahora, sin embargo, no se ha observado el desarrollo de barras paralelas a la costa en el delta de marea baja del Oosterschelde.

El cierre de las cuencas redujo la velocidad de las corrientes entre un 50 y 90 %

CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS EN EL OOSTERSCHELDE

La geomorfología del Oosterschelde

La geomorfología de la cuenca del Oosterschelde se caracteriza por un sistema de profundos canales, separados por bancos, áreas intermareales y ciénagas de marea (**Fig. 5**). La forma del area intermareal está relacionada con el ciclo de los 14 días de marea viva y baja, en los cuales, varía considerablemente la magnitud de las mareas y las velocidades de las corrientes (Kohsiek *et al.*, 1988). Estas velocidades eran, antes de la construcción de la barrera abierta, lo suficientemente fuertes como para garantizar el transporte de considerables volúmenes de arena. Sin embargo, durante la marea baja, apenas tenía lugar ningún transporte de sedimento, mientras que durante las mareas vivas, se depositaba entre 4 y 5 veces más arena en el area intermareal, que durante las mareas bajas. La acción del oleaje erosionaba los bordes de los bancos, en especial cuando la velocidad del viento superaba los 15 m/s. La deposición de la arena, producido por las corrientes y la erosión generada por las olas, estaban en equilibrio dinámico con la morfología.

Cambios producidos por las obras del Oosterschelde

Después de la terminación de las obras del Oosterschelde, en 1987, se ha creado una nueva situación hidrodinámica en las cuencas: una reducción del 15 % en la magnitud de las mareas y del 30 % del prisma de marea y de las velocidades de las corrientes. El equilibrio dinámico con la morfología ha sido alterado y esto ha llevado a unos cambios en la misma. La reducción del prisma de marea y de las velocidades de las corrientes está causando unas migraciones de los meandros de los canales de marea. La superficie del corte transversal de los canales arenosos se irá reduciendo proporcionalmente con la diminución del prisma de marea: como resultado se reducirá la profundidad media de los canales en un 30%. Se necesitarán aproximadamente 500 millones de metros cúbicos de sedimentos para adaptar los canales a la nueva situación hidráulica, existiendo dos posibles fuentes para este sedimento: (1) la erosión de los bancos, las marismas y ciénagas de marea; (2) los sedimentos generados por la erosión del delta de marea baja. El transporte del sedimento hacia los bancos y las marismas de marea en la cuenca, ha descendido entre un 80 y 90 %, a consecuencia de la reducción de la velocidad de la corriente. Por ello, la sedimentación en los bancos se ha reducido de forma importante, mientras que el oleaje sigue causando una erosión neta. Desde 1987 se ha obser-

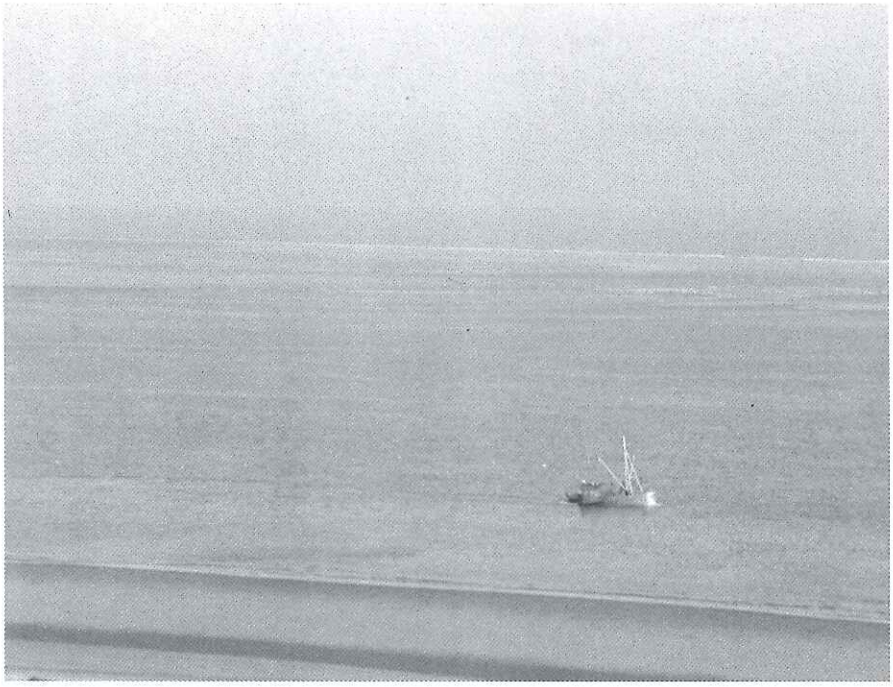


Fig. 6.–Al fondo de la imagen se ven los «Bollen van de Ooster», bajos de arena acumulados en el delta exterior del Greveling, después del cierre de esta cuenca en 1971.

vado una erosión destacada en el area intermareal. Los niveles de elevación han bajado, generalmente, de 0.1 a 0.2 metros.

Las primeras mediciones del balance de sedimento, indican un pequeño flujo de material desde el delta de marea baja hacia la costa (actualmente no más de un millón de metros cúbicos al año). Se estima, basado en un estudio detallado de los procesos geomorfológicos (Kohsiek *et al.*, 1988) y en varios estudios de modelos (De Vriend *et al.*, 1989), que en los próximos 30 años la pérdida total del área de bancos, marismas y ciénagas de marea, ascenderá a unas 1.500 hectáreas, aproximadamente, lo que significa una pérdida de entre el 10 y 15 % de su área actual. La reducción de bancos y marismas de marea puede variar considerablemente de un lugar a otro y dependerá de las características de marea locales, la exposición a la acción del oleaje, y la resistencia del substrato. La erosión inicial variará desde los 25 m/año para un banco arenoso, expuesto al oleaje, hasta 1 m/año para una marisma de marea, compuesta de tierra que contenga altos porcentajes de turba y lodo.

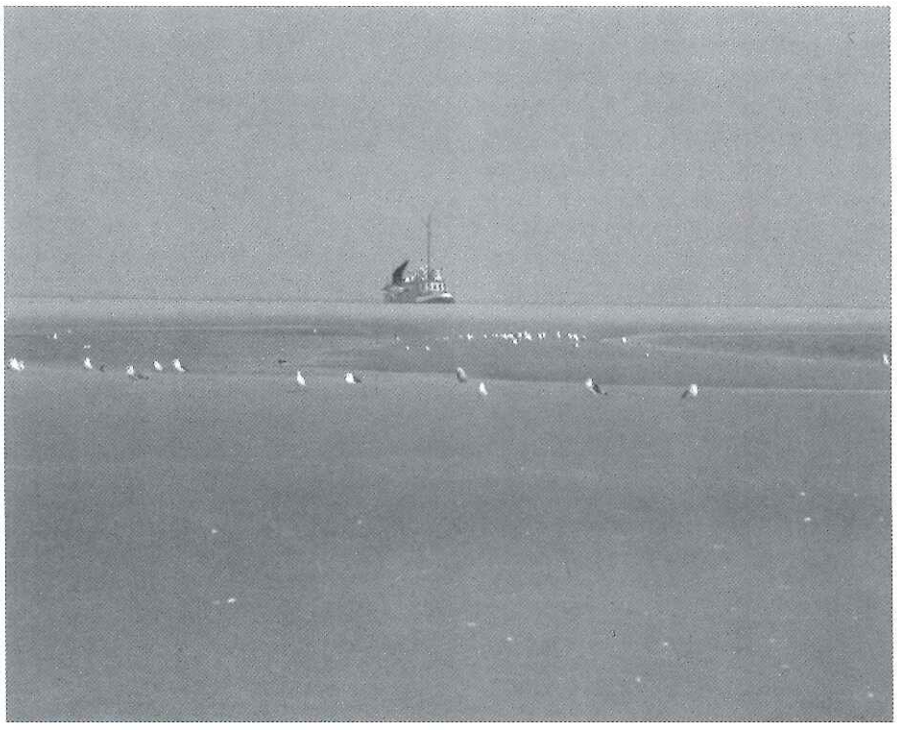


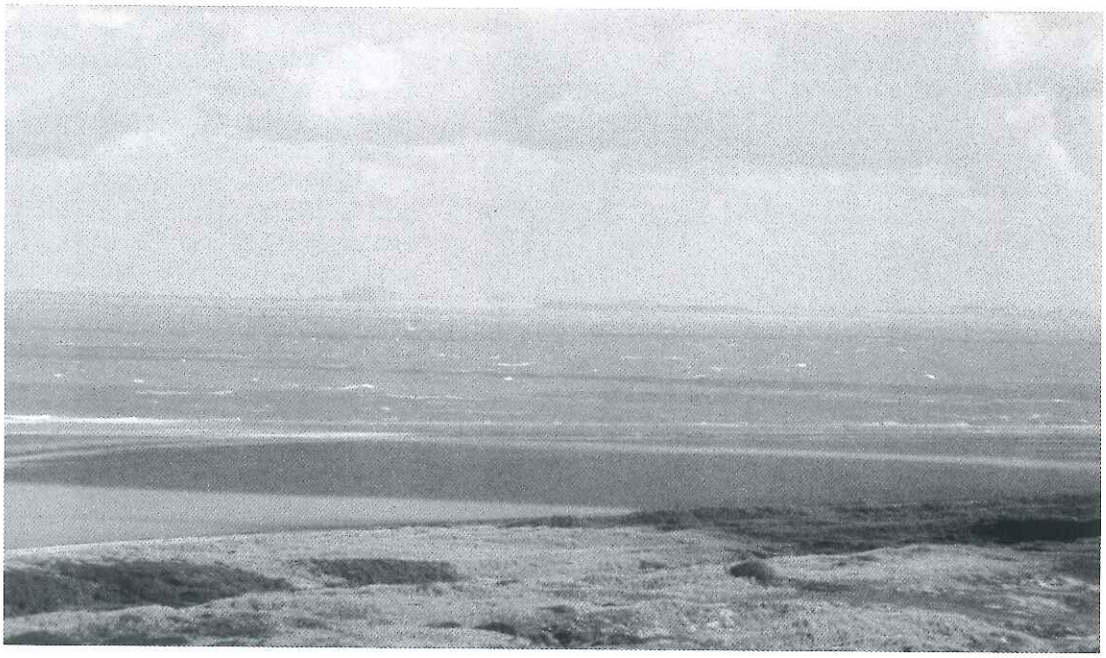
Fig. 7.–Arenales recientes en la desembocadura del Grevelingen.

IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

Los cambios geomorfológicos en el delta exterior y en el Oosterschelde, afectan al medio natural en estas áreas y tienen consecuencias para varias actividades humanas. El medio ambiente es afectado a todos los niveles. Las nuevas condiciones hidráulicas y la calidad del agua afectan a la producción primaria de las algas. Los cambios en el nivel de substrato, causados por la formación de bancos o la erosión de estos, el relleno con sedimentos finos

La alteración del equilibrio dinámico ha producido cambios morfológicos

de las partes más profundos de los canales y los cambios en la composición del substrato, debidos a la sedimentación o la erosión de lodo, afectan al desarrollo de la fauna bentónica. Estas áreas, con sus bancos intermareales y su abundancia en alimentos, cumplen una función importante para muchas especies de aves, que los sobrevuelan o invernan allí. La erosión de los bancos en el Oosterschelde reduce la capacidad de éste para alimentar a las aves; al contrario, se incrementa la capacidad del delta exterior por el crecimiento de bancos y de áreas menos profundas. A consecuencia, las espe-



Vista panorámica del delta exterior del Haringvliet. Al fondo, la zona portuaria de Rotterdam.

cies y el número de aves en el área están sujetas a cambios.

Durante muchos años, las pesquerías de marisco en esta zona han sido económicamente muy importantes. Esta rama de industria está siendo afectada por los cambios que se producen en la fauna bentónica. Por otra parte, grandes colonias de berberechos se han desarrollado localmente en áreas protegidas, detrás de los bancos de arena establecidos nuevamente en el delta exterior (**Fig. 6**). Esto indica que la producción de berberechos podría incrementarse. En el Oosterschelde, la erosión de los bancos y el incremento local de los depósitos fangosos, ha afectado de forma negativa a algunas localidades donde se crían mejillones. Sin embargo, la reducción de las velocidades de corrientes ha permitido a los mejillones y berberechos establecerse en zonas más amplias dentro de los canales.

El esparcimiento y el turismo representan otros aspectos económicos fuertes en la zona. Se benefician de las extensas playas de arena a lo largo de la costa, de las nuevas playas enfrente de los diques de cierre y de las zonas relativamente bien protegidas detrás de los bancos de arena, que son apropiados para navegar en yate y practicar la pesca (**Fig. 7**). Las mejoras en la accesibilidad de la zona por medio de los nuevos diques (**Fig. 1**) está teniendo efectos positivos sobre el desarrollo del esparcimiento. Los cambios geomorfológicos tienen también consecuencias para los aspectos de la navegación y seguridad y el relleno de los canales afecta a la navegabilidad, por lo que habrá que dragar para mantener la profundidad a lo largo de algunas rutas de navegación importantes (**Fig. 8**). Los nuevos bancos de arena en la costa representan rompeolas, que reducen el efecto del ataque directo de las olas sobre las dunas durante tormentas fuertes. Los cálculos indican que, localmente, la seguridad ha aumentado entre un 15 y 20 %.

CONCLUSIONES

La ejecución del Proyecto Delta ha proporcionado una garantía para salvaguardar el suroeste de Holanda contra las inundaciones. Al mismo tiempo ha generado varios cambios importantes en las características geomorfológicas de la zona, lo cual supone un gran impacto medio ambiental. Estos cambios afectan a diversos aspectos socioeconómicos en la zona, por lo que se subraya la necesidad de desarrollar planes integrales de administración para sopesar justamente el valor relativo y la importancia de los diferentes intereses. ■

BIBLIOGRAFIA

De Jong, H. & Gerritsen, F. (1984): Stability parameters of Western Scheldt estuary; Proc. 19th Coastal Eng. Conf., Houston, ASCE, pp. 3.078-3.093.

De Vriend, H. J., Louters, T. Berben, F. & Steijn, R. C. (1989): Hybrid prediction of a sandy shoal evolution in a mesotidal estuary. En: R. A. Falconer, P. Goodwin and R. G. S. Matthew (eds), Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters, Int. Conf. Bradford, England. Cap. 14, pp. 145-156.

Huis in 'T Veld, J. C., Stuip, J., Walther, A. W. & van Westen, J. M. (eds.) (1987): The closure of tidal basins; Delft University Press, 2nd edition.

Kohsiek, L. H. M. (1988). Reworking of former ebb-tidal deltas into large longshore bars following the artificial closure of tidal inlets in the southwest of the Netherlands. En: De Boer, P. L. *et al.* (eds). Tide-influenced sedimentary environments and facies; D. Reidel Publishing Company, pp. 113-122.

Kohsiek, L. H. M., Buist, H. J., Bloks, P., Misdorp, R., van den Berg, J. H. & Visser, J. (1988>): Sedimentary processes on a sandy shoal in a mesotidal estuary (Oosterschelde, The Netherlands) En: De Boer, P. L. *et al.* (eds.). Tide-influenced sedimentary environments and facies; D. Reidel Publishing Company, pp. 201-214.

Louters, T., Mulder, J. P. M., Postma, R. & Hallie, F. P. (1991): Changes in coastal morphological processes due to the closure of tidal inlets in the SW Netherlands. Journal of Coastal Research, V. 7, N.° 3, pp. 635-652.

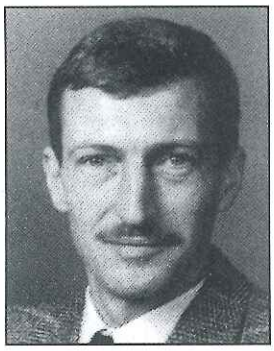
Mulder, J. P. M., Louters, T., Postma, R. & Hallie, F. P. (1991): Integrated coastal research in the SW Netherlands, Proc. 22nd Int. Conf. Coast Eng., Delft 1990, ASCE, New York, pp. 2.984-2.998.

Saeus, H. F. L. (1982): Changing estuaries; a review and new strategy for management and design in coastal engineering; Ph. D. thesis, Leiden; también Rijkswaterstaat Communiications 32, Government Publishing Office, La Haya.

Smaal, A. C., Knoester, M., Nienhuis, P. H. & Meire, M. P. (1991): Changes in the Oosterschelde ecosystem induced by the Delta works. En: Estuaries and Coasts, spatial and temporal comparisons. N. Elliott & J. P. Ducotroy (eds.), Olsen and Olsen, pp. 375-384.

Van den Berg, J. H. (1986): Aspects of sediment - and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (The Netherklands). Ph D. thesis, Utrecht, también Rijkswaterstaat Communications 43, Government Publishing Office, La Haya.

EL ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO DE CALOR PARA LA UNIVERSIDAD DE UTRECHT



L. J. M. van Loon

El autor es ingeniero agrónomo por la Universidad Agrícola de Wageningen. Ha realizado proyectos medio ambientales de diferente índole, tanto como especialista de suelo y agua subterránea, como en el campo de la energía. Heidemij Adviesbureau, Lovinklaan 1, Postbox 264, 6800 AG Arnhem (Holanda).

En el subsuelo del terreno de la Universidad Estatal de Utrecht (Holanda) se ha construido un sistema para el almacenamiento a largo plazo de calor . El resultado del proyecto, cuya rentabilidad se pondría de manifiesto a partir del quinto año de funcionamiento, es el aumento del rendimiento de las instalaciones de cogeneración. Este proyecto de ensayo sirve para estudiar el funcionamiento de, entre otros, una instalación de descalcificación y el control de los caudales de agua subterránea dentro de un sistema de este tipo. Un amplio programa de seguimiento facilitará la evaluación del proyecto.

In the subsoil of the State University of Utrecht, a long term energy storage facility has been constructed, making the exploitation of the cogeneration plants more efficient. The pay-back period for a similar proyect would be about 5 years. This experimental proyect also serves to study the working of a decalcification facility and of groundwater flows within an energy storage system like this. An extense monitoring programme will permit the evaluation of the proyect.

Introducción

La Universidad de Utrecht consta de 14 Facultades, entre ellas las de Medicina, Veterinaria, Matemáticas, Físicas, Derecho y Ciencias Sociales. Los 24.000 estudiantes y los 8.000 empleados trabajan en dos sitios distintos: por una parte, en una serie de edificios dentro de la ciudad y por otra en el Centro Universitario denominado «De Uithof». En 1990, el consumo de electricidad de De Uithof, con su superficie de 335.000 m^2, fue de 39.500.000 kWh mientras que para la calefacción se empleó el equivalente de 10.000.000 m^3 de gas natural.

En la primavera de 1991 se puso en funcionamiento un sistema de almacenamiento subterráneo de calor, diseñado para las dos centrales de cogeneración de De Uithof. El estudio de rentabilidad se realizó en 1987, mientras que el estudio geotécnico y el diseño fueron completados en 1988. En los años 1989 y 1990 tuvieron lugar las preparaciones para la obra y la realización de la misma. El sistema permite la utilización de las centrales de cogeneración también durante los períodos de baja demanda de calor para la calefacción de los edificios.

El proyecto está siendo ejecutado bajo contrato de la Sociedad Holandesa para la Energía y el Medio Ambiente (NOVEM), en el contexto del Programa Nacional de Investigación de Energía Geotérmica y de Almacenamiento de Calor en Aquíferos, que está subvencionado por el Ministerio de Asuntos Económicos, recibiendo también el apoyo financiero de la Comisión de la CE. El contratista principal es Bredero Energy Systems (Bunnik, Holanda), mientras que Heidemij Adviesbureau actúa como consultor para la parte subterránea del sistema.

Descripción general

A mitades de los años 60 comenzó la construcción del Centro Universitario «De Uithof», con el fin de albergar, con el tiempo, a la mayor parte de la Universidad y del Hospital Académico de Utrecht. En la actualidad, estos planes han sido prácticamente realizados.

La energía necesaria para la calefacción de los edificios en De Uithof se produce en dos grandes cámaras de calderas centrales y en varias pequeñas. Cada una de las cámaras centrales contiene tres calderas, con una potencia de 9,3 MW cada una, e instalaciones de tipo cogeneración, cada una de las cuales con una potencia eléctrica de 3,75 MW. Las centrales de cogeneración están equipadas con 3 ó 4 motores

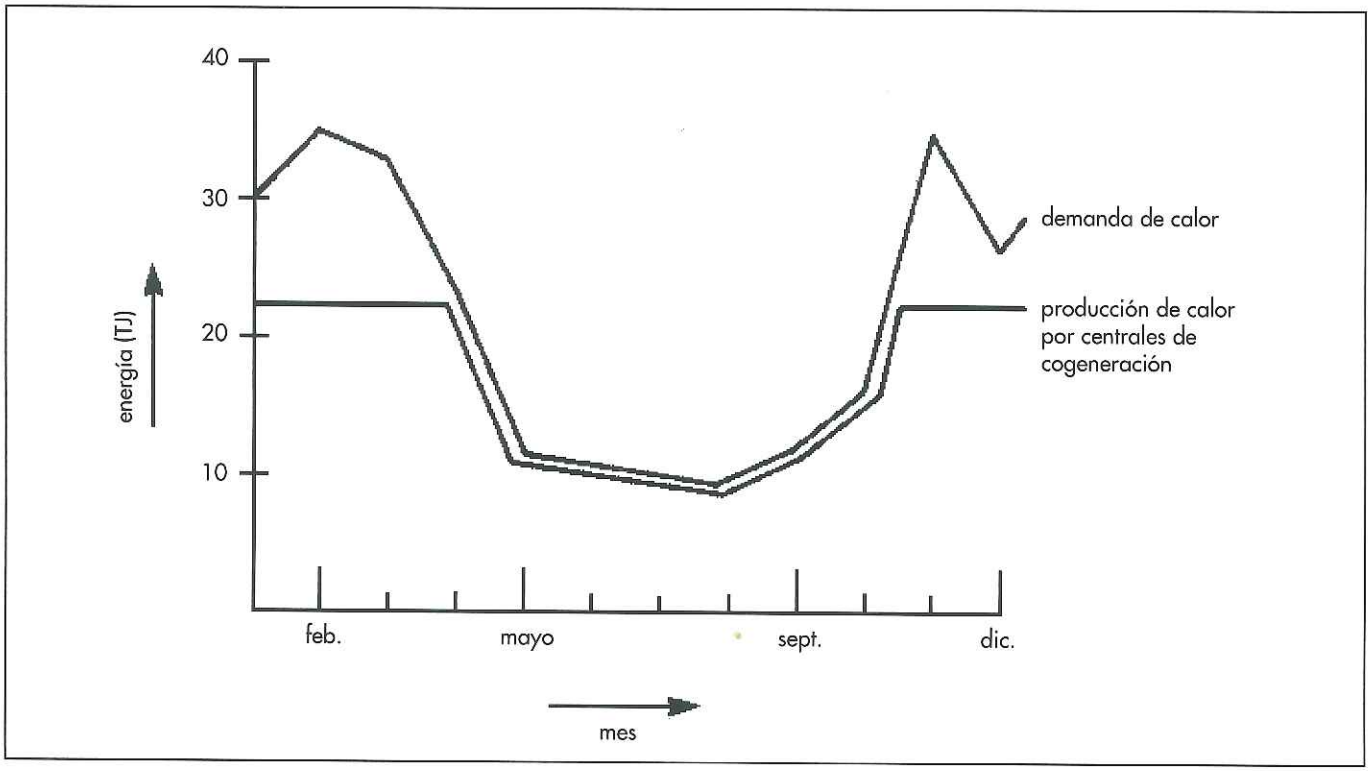


Figura 1.–Demanda de calor por «De Uithof» y la producción de calor por las centrales de cogeneración.

de pistones a gas, del tipo de baja combustión y alta compresión, los cuales producen una baja emisión de NOx. Antes de la inauguración del sistema de almacenamiento subterráneo de energía, la demanda de calor por los edificios fue decisiva a la hora de fijar la producción de electricidad. Sólo en invierno se transfirió la electricidad sobrante a la red.

La **Fig. 1** representa la demanda mensual de calor de De Uithof durante el año y el nivel de producción de las instalaciones cogeneradoras. Queda claro que, si no se reduce el funcionamiento de la instalación, durante el verano se produciría un exceso de calor; almacenando esta energía en el verano y utilizándola en invierno para la calefacción de los edificios, se puede obtener un mayor rendimiento de la instalación de cogeneración y reducir de forma importante la factura del consumo eléctrico.

Características del sistema

El calor se almacena en un acuífero arenoso, situado a una profundidad entre 210 y 260 m por debajo de la superficie, encontrándose capas arcillo-

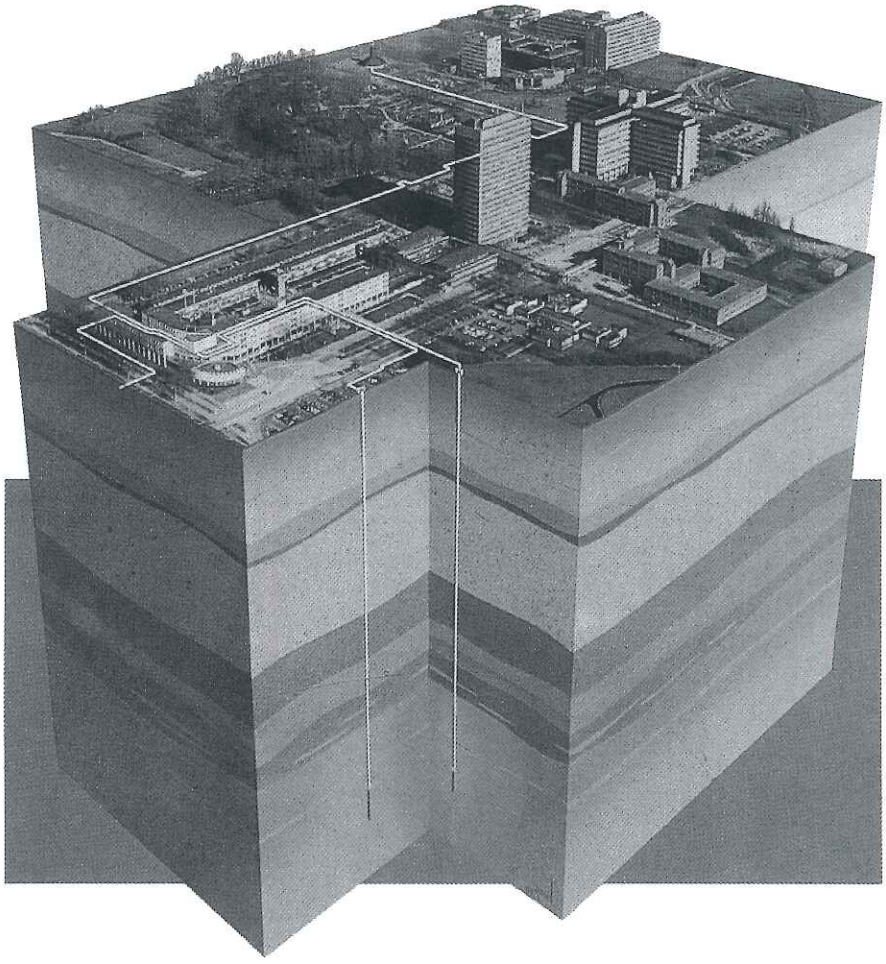


Figura 2.–Representación gráfica del sistema de almacenamiento.

	Pozo caliente	Pozo frío
Caudal	50 m^3/h	100 m^3/h
Capacidad de inyección	100 m^3/h	50 m^3/h
Volumen de agua	130.000 m^3/h	100.000 m^3/h
Capacidad térmica	2,6 MW	6,0 MW
Profundidad	210-260 m	210-260 m
Temperatura de inyección	85-90 °C	40-50 °C
Energía introducida	6.000 MWh/año (= 680.000 m^3 gas natural)	
Energía extraída	3.900 MWh/año (= 440.000 m^3 gas natural)	

Tabla 1.–Algunos datos técnicos del proyecto

sas a techo y muro. En la **Fig. 2** se puede apreciar una representación gráfica del sistema de almacenamiento. En verano se carga el acuífero, extrayendo agua del pozo relativamente frío (en la figura situada a la derecha), calentándola con el calor generado con la instalación de cogeneración e inyectándola en el pozo caliente a unos 90°C. El agua caliente expulsa al agua fría y forma una «esfera caliente» alrededor del pozo. Cuando llega la época de demanda de calor, el agua caliente es extraída para ser utilizada para la calefacción de dos edificios de De Uithof mediante un intercambiador térmico, y posteriormente, inyectada en el pozo frío. Para impedir la obstrucción de los pozos y de los intercambiadores térmicos por la precipitación de calcio, el agua subterránea está sometida a un tratamiento en una instalación de descalcificación.

Datos técnicos y económicos

En la **Tabla 1** se resumen algunas de las características del proyecto. La inversión necesaria para la realización de un proyecto similar rondaría los 2 millones de florines (aprox. 130 millones de pesetas) sin IVA; sin embargo, dado el carácter experimental de este proyecto, se produjeron gastos adicionales para la investigación, el programa de seguimiento, la evaluación, etc. Según cálculos, se consiguió una reducción de los gastos de 350.000 florines (aprox. 23 millones de pesetas) respecto a la situación anterior, por lo cual un proyecto de este tipo y tamaño empezaría a generar beneficios a partir del quinto año de funcionamiento, aproximadamente.

Situación hidrogeológica

El suelo por debajo de De Uithof contiene tres acuíferos: el primero a 10 - 50 m, el segundo a 65 - 120 m y el tercero a 195 - 300 m de profundidad. Después de realizar dos sondeos de ensayo y amplias discusiones con los organismos competentes, se ha elegido el tercer acuífero para el almacenamiento de calor.

Almacenando el exceso de calor del verano, se obtiene un mayor rendimiento de la instalación cogeneradora

El *primer acuífero* daba problemas técnicos y medio ambientales, pudiendo producirse cambios en la elevación del terreno, pérdidas de calor, roturas en la capa de arcilla sellante y posibles conflictos con otros usuarios del agua subterránea.

El *segundo acuífero* está compuesto por arenas gruesas y grava. Los cálculos de almacenamiento daban como resultado que el rendimiento térmico no podía ser superior a los 30 %. Además, el agua del acuífero se aprovecha en otros sitios para el abastecimiento humano, por lo cual la obtención de los permisos necesarios se convertiría en una tarea muy difícil o quizás imposible.

El *tercer acuífero* tenía unas características físico-hidrológicas adecuadas para el almacenamiento de calor a una profundidad comprendida entre los 210 y 260 metros. Está compuesto por material bastante homogéneo, constituido por arenas con un tamaño de grano de 200-400 μm y una permeabilidad horizontal media de 5 m/día. El agua tiene una composición ligeramente salobre (43-380 mg Cl/litro). El buzamiento de los estratos podría producir una migración del agua subterránea de unos 2 metros por año, lo cual resulta totalmente aceptable.

Diseño de los pozos

El diseño de los pozos (**Fig. 3**) está basado en los datos del segundo sondeo de ensayo, realizado en el mes de

junio de 1988 y acompañado por un estudio hidrogeológico, que consistía en varios ensayos. Para el diseño, se determinó un caudal de extracción e inyección de 100 m³/h. Los pozos están separados por unos 70 metros y situados ambos en uno de los aparcamientos del campus. Tienen un diámetro de 600 mm y están equipados con una entubación de acero inoxidable, debido al agua salobre y caliente,

Una instalación similar sería rentable en 5 años

además de un filtro con diámetro de 300 mm. En caso de producirse unas pérdidas caloríricas no aceptables, debidas a la permeabilidad relativamente alta del techo del acuífero, existe la posibilidad de blindar este tramo del pozo.

En la entubación se ha incorporado un aislamiento térmico. A la hora de elegir el sistema de aislamiento, se ha tenido en cuenta varios parámetros, como un nivel de aislamiento duradero y alto, la resistencia necesaria de 20 bar del material, una adhesión suficiente al *casing* de acero, los aspectos técnicos de la obra y los costes. Teniendo en cuenta estas exigencias, se eligió cemento de tipo *sphere-light,* con lo que se ha conseguido un buen resultado.

Debido a las altas temperaturas y a los problemas de refrigeración de los motores de las bombas (de acero inoxidable) durante caudales reducidos, se ha situado a estos en superficie. La potencia eléctrica de las bombas del pozo frío es de 30 kW (100 m³/h) y del caliente de 11 kW (50 m³/h), pudiéndose modificar la potencia de ambas de forma continua.

Para evitar la formación de burbujas de gas en la instalación durante

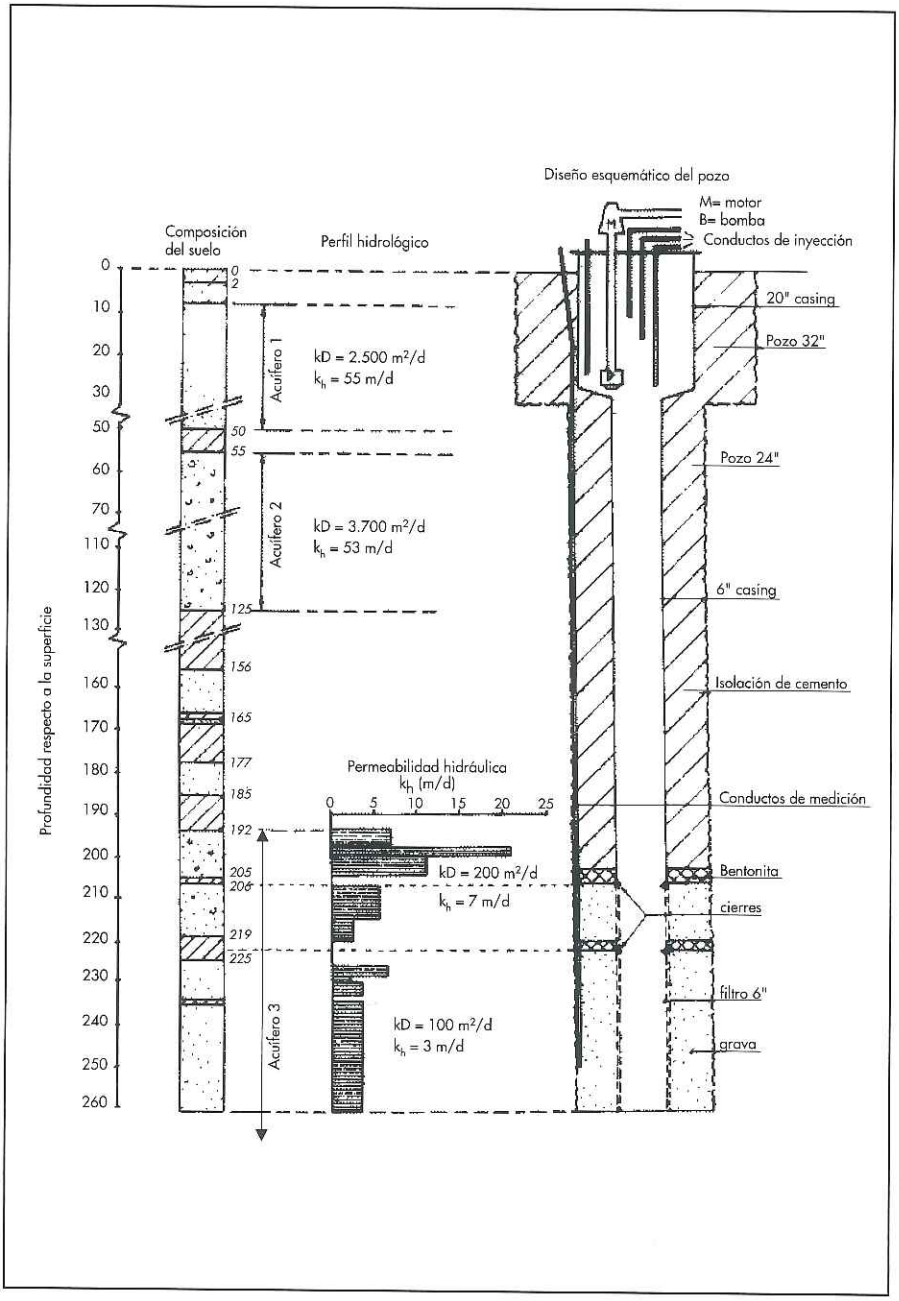


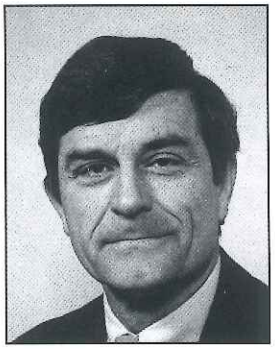
Figura 3.–Características del suelo y diseño del pozo.

caudales pequeños, los pozos de inyección se han equipado con varios conductos de diferentes diámetros. Cuando se reduce el caudal, se procede a utilizar conductos con un diámetro cada vez menor, mientras que el conducto más pequeño dispone de un dispositivo para reducir aún más el caudal. El diseño también ha incorporado varias instalaciones de medición, de mantenimiento y de prevención contra presiones excesivamente altas o bajas. Todas estas, junto con el motor de las bombas, acoplamientos, válvulas y la instalación eléctrica, se encuentran centralizadas en dos casetas.

Resultados provisionales

Durante los primeros años, se necesita mucha energía para calentar los pozos, elevando así la temperatura del pozo caliente desde aprox. 15 °C hasta 90 °C. Después de 4 años, el rendimiento del sistema tiene que haber alcanzado su valor máximo de aprox. 65%, lo que significa que el 65% de la energía que se inyecta en el suelo durante el verano se puede extraer durante el invierno. ■

MONUMENTOS GEOLOGICOS EN HOLANDA



G. P. Gonggrijp

El autor es investigador en el «Institute for Forestry and Nature Research», Postbox 46, 3956 ZR Leersum (Holanda). Posee una amplia experiencia en el campo de la conservación del patrimonio geológico, siendo en la actualidad el secretario del «European Working Group on Earth-Science Conservation» y del Grupo de Trabajo GEA.

Aunque Holanda no es un país que posee, a primera vista, una geología muy destacada, sí cuenta con varios objetos geológicos que merecen y necesitan protección. Este artículo describe las acciones emprendidas para la conservación del patrimonio geológico holandés y varios de los monumentos establecidos.

Although Holland does not, at first sight, exhibits a spectacular geology, it posesses various geological sites that deserve and require protection. This article describes the measures taken to protect the national earth-science heritage and various of the geological parks.

Geología y geomorfología

Holanda es, para la mayoría de las personas, un país poco llamativo en términos geológicos, ya que carece de un relieve acentuado; tan sólo en el Sur de la provincia de Limburgo se encuentra una penillanura elevada en la cual se han encajado varios ríos. Por lo demás, las elevaciones generadas por el empuje de los glaciares cuaternarios en la zona centro y Este de Holanda, junto a las dunas de la costa, aportan algo al relieve del país.

Así, se ha creado, injustamente, la idea de que Holanda no posee fenómenos geológicos de valor. Los sedimentos aflorantes, que no suelen estar consolidados, no muestran estructuras espectaculares, pero sí facilitan la comprensión de los procesos que han llevado a la formación de esta zona, situada en el borde de la Cuenca del mar del Norte.

Los rasgos principales del paisaje actual se han creado, sobre todo, durante la Era Cuaternaria, por la acción de los procesos exógenos de tipo hidráulico, eólico y glaciar, aunque también han influido los movimientos tectónicos a lo largo de fallas, sobre todo en el Sur de Limburgo. Estos procesos han generado un paisaje variado con poco relieve, siendo este último, junto al carácter poco consolidado de los sedimentos, el motivo de su gran vulnerabilidad a las intervenciones del hombre. Los daños que pueda sufrir el relieve de este paisaje, que se encuentra, en gran parte, en estado fósil, son irreparables, ya que las condiciones bajo las cuales el paisaje se formó, dejaron de existir. Sólo allí donde se producen procesos activos, puede darse una sustitución.

La intervención del hombre ha cambiado el paisaje drásticamente a lo largo del tiempo. La agricultura y ganadería intensiva (arado y allanado del terreno), el control activo del sistema de drenaje (la canalización de arroyos y ríos y la desecación de marismas, lagos y estuarios), la explotación de materias primas (turba, arena, grava etc. junto al uso de cantos erráticos en diques y carreteras) y las actividades de contrucción (allanamiento y elevación del terreno), han cambiado el paisaje de Holanda. Además, el haber rellenado y abandonado las minas y canteras ha dejado inaccesibles a varios afloramientos geológicos importantes.

Para poder seguir estudiando los fenómenos geológicos y geomorfológicos, frecuentemente de carácter único, en el futuro, es importante proteger el patrimonio geológico, como ya es práctica común con el biológico y arqueológico.

Protección geológica

En Holanda, al final del siglo pasado, se empezó a tomar interés serio por la protección de la naturaleza. En 1906, una fundación privada fundó el primer parque nacional, el Naardermeer, mientras que en 1908, también la Administración empezó a ocuparse, de forma activa, con la protección del medio ambiente. En los siguientes decenios, la iniciativa particular comenzó a insistir en una protección de objetos geológicos, pero generalmente con poco resultado.

La Ley para la Protección de la Naturaleza de 1968, dio un marco legal a actividades en este campo que, sin embargo, estaban dirigidas hacia la protección de la flora y la fauna, sobre todo. A finales de los años sesenta existían tan sólo una decena de monumentos geológicos protegidos. Para cambiar esta situación, en 1969 el Doctor F. de Soet, del Instituto Estatal para la Protección de la Naturaleza, creó la comisión de trabajo GEA, con el objetivo de hacer un inventario de los objetos geológicos, geomorfológicos y edafológicos más importantes, para así poder informar a la Administración, a las organizaciones de protección de la naturaleza y al público, sobre el estado de los mismos. Los sitios se seleccionaron en base a los siguientes criterios: rareza, integridad, representatividad, además del valor científico y educativo. El inventario, que se terminó en 1988, ha sido realizado a nivel provincial, guardándose de esta forma una relación óptima con la política de planificación y protección.

Los daños que pueda sufrir el relieve de un paisaje fósil, son irreparables

Aunque la política estatal no excluía la preservación de los objetos geológicos de mucho valor, tampoco prestaba una atención específica a ellos. El cambio se produjo en 1981, cuando la Administración se refirió en particular a esta categoría, en el Esquema Estructural para la Conservación de la Naturaleza y del Paisaje. Este Esquema, sin embargo, no llegó nunca a ser puesto en práctica, ya que los conceptos evolucionaron rápidamente hacia una planificación integrada, que se definió en el Plan de Política de la Naturaleza. En este Plan, se contempla una estrategia para la creación de una estructura duradera para la conservación de la naturaleza en Holanda mediante una red ecológica. Entre otras cosas, el Plan consiste en: el desarrollo de zonas con un valor ecológico importante, la estimulación del apoyo social para esta política y un refuerzo de la protección de, entre otros, los aspectos de valor histórico-cultural y geológico del paisaje.

A petición de la Administración, el *Research Institute for Nature Management* o el Instituto de Investigación para la Administración de la Naturaleza (ahora: *Institute for Nature and Forestry Research* o el Instituto para la Investigación de la Naturaleza y la Silvicultura) seleccionó, en base al Proyecto Gea, aquellas zonas con un valor internacional o nacional.

La protección de las zonas se puede llevar a cabo de diferentes formas:

- En base a la Ley de Protección de la Naturaleza, la Administración puede declarar a ciertos objetos "Monumentos Naturales".
- La Ley de Ordenación Territorial ofrece posibilidades para instalar una protección administrativa de ciertas zonas.
- La Ley de la Protección del Suelo obliga a las autoridades provinciales a declarar a zonas relativamente in-

Figura 1a.–Cantos erráticos, procedentes de Escandinavia, el la Reserva Geológica P. van der Lijn.

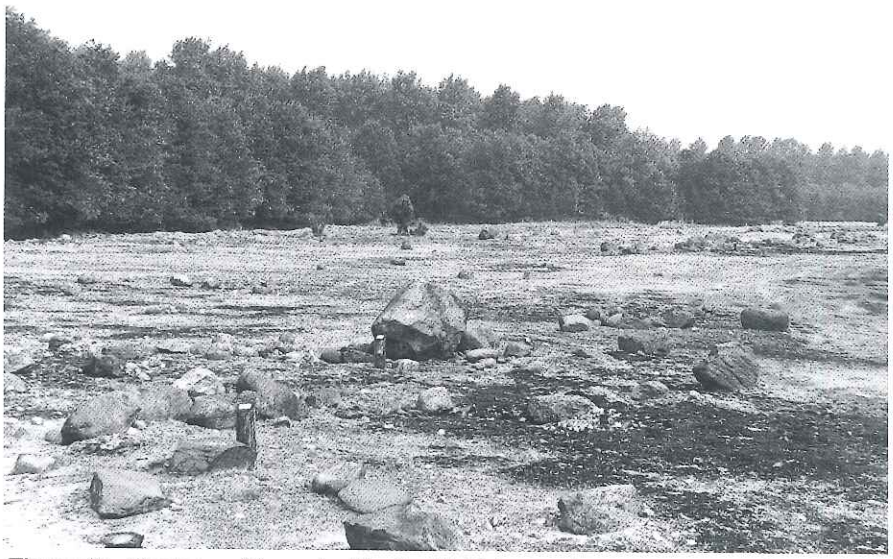


Figura 1b.–Cantos erráticos, clasificados litológicamente.

Figura 2.–Monumento geológico «De Zândkoele», cerca de Heetveld. Al fondo, un afloramiento con estructuras geológicas; en primer plano un mapa de Escandinava con cantos erráticos, situados en su lugar de procedencia.

tactas como zonas de protección edáfica.
- En base a la Ley de Excavaciones, la Administración puede imponer condiciones a la ejecución y terminación de los proyectos de este tipo.
- Los lugares severamente amenazados pueden ser comprados por particulares y por la Administración.
- Para proteger a las zonas vulnerables, la Administración puede cerrar, de forma voluntaria y contra remuneración, acuerdos con los propietarios de la zona, acerca la gestión de la misma.

La colaboración internacional es importante para las actividades de protección nacionales y la coordinación de proyectos transfronterizos, dado que la geología no se ajusta a las fronteras nacionales. Por este motivo, en 1988 se organizó en Holanda una reunión de trabajo sobre la protección de las zonas con gran valor geológico. Esta reunión llevó a la fundación del «Grupo de Trabajo Europeo para la Conservación Geológica» (European Working Group on Earth-science Conservation), que ofrece, a los países asociados, la posibilidad de intercambiar información y emprender acciones conjuntas. En estos momentos, existen planes concretos para trasformar el Grupo de Trabajo en una asociación, abierta a todo el mundo.

Aunque el reconocimiento oficial de la protección de la naturaleza sea, por supuesto, un factor esencial, la sensibilización del público es por lo menos igual de importante para permitir a la Administración realizar un trabajo eficaz. Esto significa que, aparte de ejercer presión en el campo político, es preciso mejorar el conocimiento de las Ciencias de la Tierra del público. Este objetivo se puede alcanzar «traduciendo» artículos científicos a un lenguaje más coloquial, incluyendo objetos de valor geológico en las zonas de naturaleza y esparcimiento, estableciendo rutas de tipo geológico para automóviles, bicicletas y peatones, poniendo letreros informativos y estimulando la enseñanza de la naturaleza.

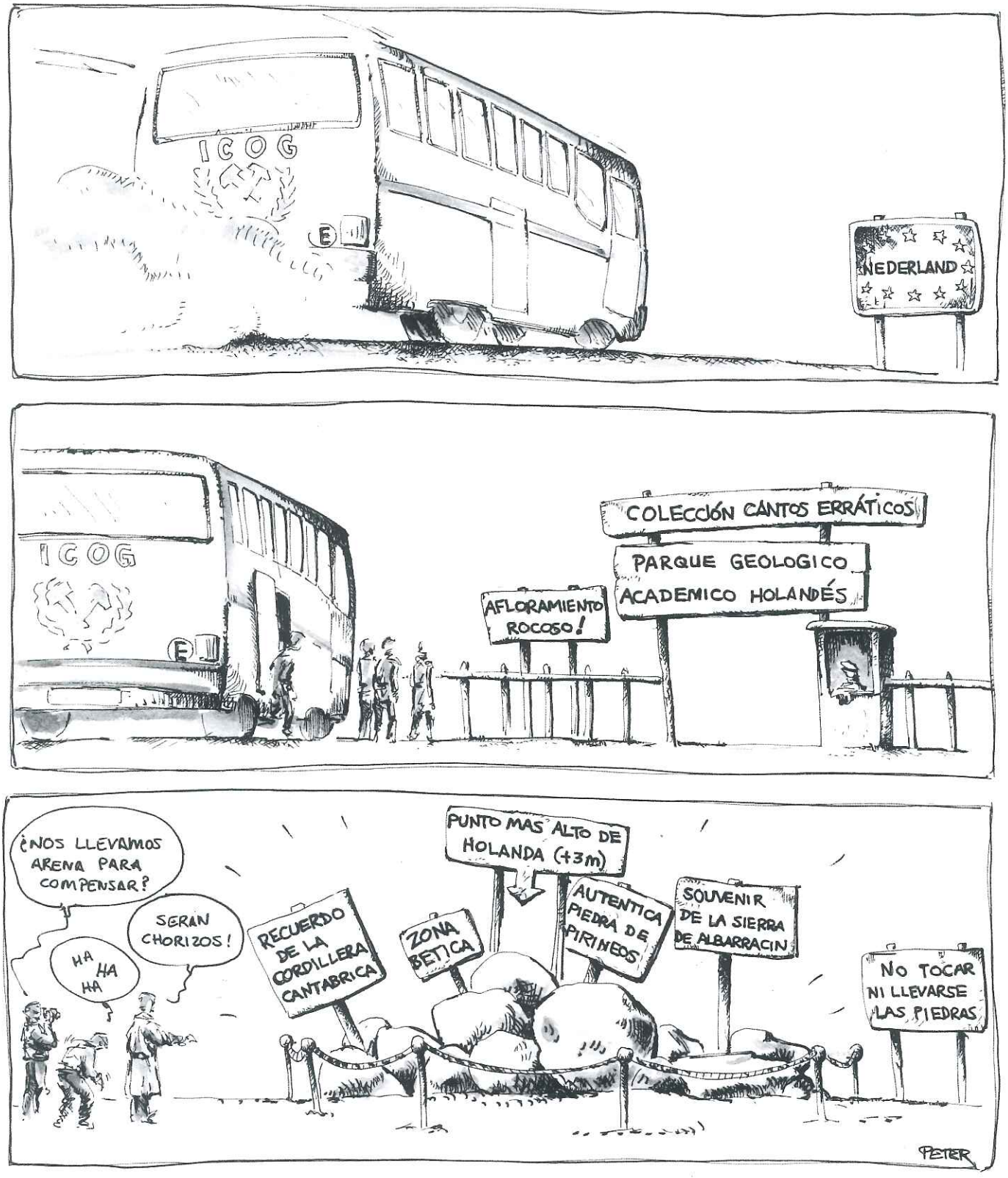
Monumentos geológicos: algunos ejemplos

La *reserva natural P. van der Lijn*, cerca del pueblo de Urk, en el Noordoostpolder, muestra una amplia colección de cantos erráticos, procedentes de Escandinavia y transportados hasta este lugar por los glaciares durante el Saaliense. **(Fig. 1 a/b)** La concentración se ha formado por la abrasión marina de una cresta de empuje y las arcillas con bloques que le cubrieron. La reserva natural lleva el nombre de Van der Lijn, un personaje fuertemente aficionado a la geología y con formación autodidacta, quien, poco después de la desecación del Noordoostpolder en 1942, fijó la atención en esta zona, que para Holanda es única. Por la sobrecarga de visitantes que sufre esta reserva natural, se ha instalado, en las cercanías del pueblo de Schokland, un jardín de rocas con cantos erráticos clasificados litológicamente y un afloramiento artificial en los depósitos glaciares. Este jardín de rocas está provisto de un centro de información para facilitar al público la comprensión de los fenómenos mostrados.

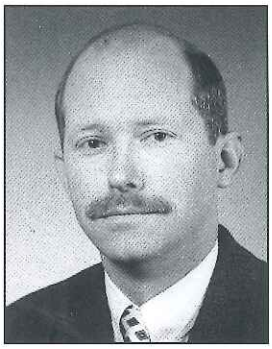
En la *morrena terminal de Vollenhove,* con el apoyo del municipio de Brederwiede y con la ayuda de voluntarios se ha abierto un afloramiento artificial en una antigua cantera cerca del pueblo de Heetveld. Este monumento geológico muestra una imagen característica para el Norte de Holanda, que consiste en arcillas con bloques del Saaliense, cubiertos por arenas eólicas del Weichseliense. Además se pueden observar cuñas de hielo, un depósito de deflacción con cantos facetados y un paleosuelo. En la cantera se ha dibujado un mapa grande de Escandinavia, en el cual se ha situado a los cantos erráticos en sus lugares de procedencia **(Fig. 2)**.

La *falla denominada «Peelrandbreuk»* es uno de los pocos elementos tectónicos activos en Holanda. Esta falla, que en la superficie cerca del pueblo de Uden ha originado un escalón de aproximadamente 3 metros, se puede apreciar muy bien en el paisaje. El labio levantado contiene unas acumulaciones arcillosas a poca profundidad, lo que ha dado lugar a una evolución edáfica particular: el horst tiene un exceso de agua, mientras que el bloque hundido está seco. Este proceso ha sido reforzado por la sedimentación de una capa de óxido de hierro en el plano de falla. Cuando este paisaje de fallas, con su carácter singular para Holanda, sufrió una amenaza seria por la construcción de una carretera, un informe el Servicio Geológico de Holanda dejó claro que este objeto merecía protección. En este momento y gracias a las acciones emprendidas por diversos grupos, una parte de la zona se ha podido salvar. ■

HUMOR ON THE ROCKS



LA FUNDACION PARA INVESTIGACIONES GEOCIENTIFICAS NWO: UNA PERSPECTIVA NACIONAL



D. van der Kroef

El autor es geólogo y trabaja como secretario ejecutivo para la NWO, Fundación AWON, postbox 93120, 2509 AC La Haya. Entre sus responsabilidades están la preparación y organización de la política de la organización respecto a las Ciencias de la Tierra y, por otra parte, participa en la valoración de las propuestas de investigación.

La Fundación AWON, parte de la organización científica nacional NWO, estimula y guía, mediante la subvención de proyectos, el desarrollo de las ciencias de la tierra en Holanda.. En los últimos años, se ha dado prioridad a los proyectos multidisciplinarios y de interés social.

The Foundation AWON, part of the national scientific organization NWO, stimulates and guides the development of the earth-sciences in the Netherlands, providing funds for promising proyects. During the last years, priority has been given to multidisciplinary proyects of clear social interest.

Introducción

Los geocientíficos en los Países Bajos tienen la posibilidad de presentar propuestas para proyectos de investigación, sobre cualquier sector de su campo profesional, a la Organización Holandesa para Investigaciones Científicas (NWO). Parte de esta Organización la constituye la Fundación para Investigaciones Geocientíficas (AWON), que define la política para el campo de las ciencias de la tierra y que determina la calidad de los proyectos geocientíficos presentados. A base de subvenciones, la AWON coordina y guía el desarrollo «deseado» dentro de su sector científico, según las líneas maestras definidas por la NWO y los propios investigadores. Mediante fondos de rotación y la llegada anual de nuevas propuestas e ideas, está al tanto de las últimas tendencias dentro del campo. Un procedimiento de selección separa un 30 % de los proyectos presentados, los cuales reciben una subvención y representan una gran parte de las investigaciones de vanguardia en las ciencias de la tierra en Los Países Bajos.

Mediante subvenciones, la AWON coordina y guía el desarrollo de las Ciencias de la Tierra en Holanda

Los proyectos de la AWON representan varias tendencias dentro de la investigación científica en los Países Bajos. Este artículo resume algunas de las tendencias que cuentan con el apoyo económico de AWON/NWO. Se tratarán especialmente dos proyectos dedicados al ciclo del carbono (CO_2), entablados a diferentes niveles de escala y motivados por la preocupación creciente respecto a la evolución del clima y del medio ambiente.

Durante los últimos años se han iniciado una serie de proyectos prometedores, que pueden ser considerados como de vanguardia a nivel internacional. Estos proyectos, con un presupuesto cada uno de 2 millones de florines (aprox. 110 millones de pesetas), han sido seleccionados por sus méritos científicos y están siendo desarrollados por jóvenes investigadores, que, aunque todavía no están establecidos, poseen cualificaciones excelentes. Tienen la clasificación de pionero y reciben, por tanto, apoyo del prestigioso programa de subvenciones PIONIER del NWO.

El programa PIONIER

Un proyecto PIONIER sobre «Cambios del nivel del mar y evolu-

ción costera» se encuentra en pleno desarrollo bajo la dirección del Doctor O. van der Plassche (Universidad Libre de Amsterdam). Para un país como Holanda, donde aproximadamente la mitad de su superficie se encuentra por debajo del nivel del mar, este tipo de investigaciones tienen un interés social evidente. El proyecto mencionado está constituido por investigaciones fundamentales y estratégicas sobre el desarrollo antiguo y la evolución futura de sistemas aluviales costeros. Una atención especial se dedica a las fluctuaciones locales y globales del nivel del mar en el periodo comprendido entre 2000 y 7000 años antes de nuestra época, a las aportaciones del «Hinterland» y al desarrollo de modelos morfodinámicos y evolutivos, tanto conceptuales como numéricos.

Otro proyecto PIONIER con un tamaño similar, comenzó en 1992 y tiene carácter geofísico. Trata la *«estructura detallada y la dinámica del manto superior»,* bajo la dirección del Dr. R. Snieder y del Catedrático Dr. M.J.R. Wortel de la Universidad de Utrecht. Tiene como objetivo el desarrollo y la aplicación de métodos sismológicos que puedan contribuir a mejorar la fiabilidad de los modelos terrestres a gran escala. Asimismo, se estudiarán estructuras de pequeña escala.

El proyecto tiene un componente sismológico y otro tectonofísico. La parte sísmica estará dedicada a la determinación de la estructura de la tierra, a base de las señales registradas de terremotos, mientras que la otra parte se ocupará de los aspectos físicos de la tectónica de placas y los procesos relacionados con ésta. Es justamente la integración de estos dos componentes la que puede facilitar un entendimiento mayor de los procesos que se desarrollan en la tierra profunda y que tienen su reflejo en fenómenos detectables en la superficie.

Un tercer proyecto PIONIER con buenas perspectivas científicas, se encuentra todavía en la «sala de espera», pero comenzará probablemente a finales del 92 / principio del 93. Se trata de un *estudio paleontológico molecular de sedimentos marinos,* un tema agrupado dentro de la geoquímica orgánica. Jefe de proyecto es el Dr. Ingeniero J.S. Sinneghe Damsté de la Universidad Politécnica de Delft / Instituto Holandés para Investigaciones Marinas (NIOZ). A nivel molecular se pueden identificar, con la ayuda de téc-

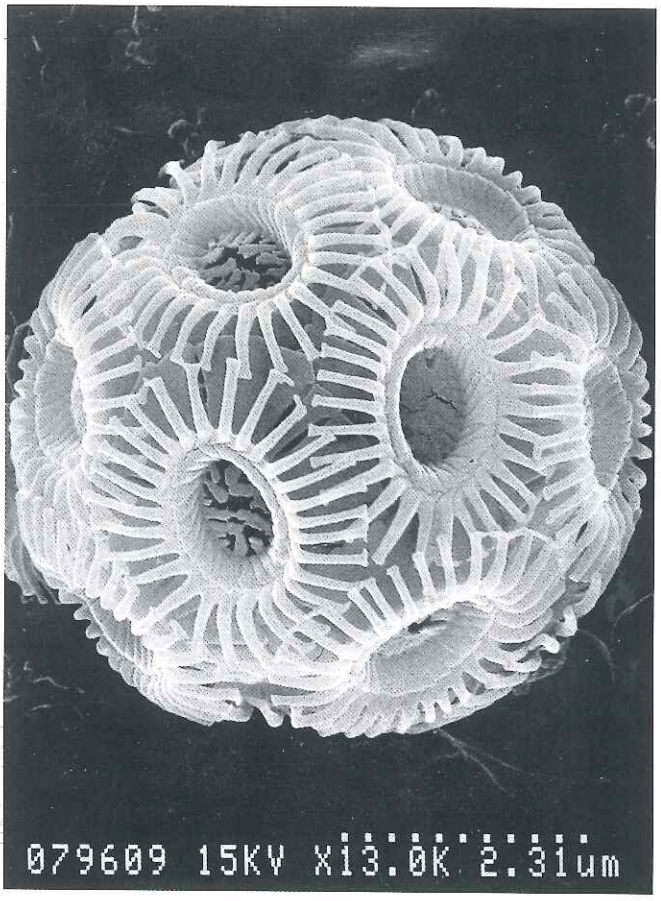


Figura 1.–La alga marina unicelular *Emiliania huxleyi,* con su esqueleto exterior de cocolitas, en una fotografía realizada con un microscopio electrónico de barrido. El diámetro de *Emiliania* es inferior a un décimo de milímetro. (Foto Dr. P. Westbroek).

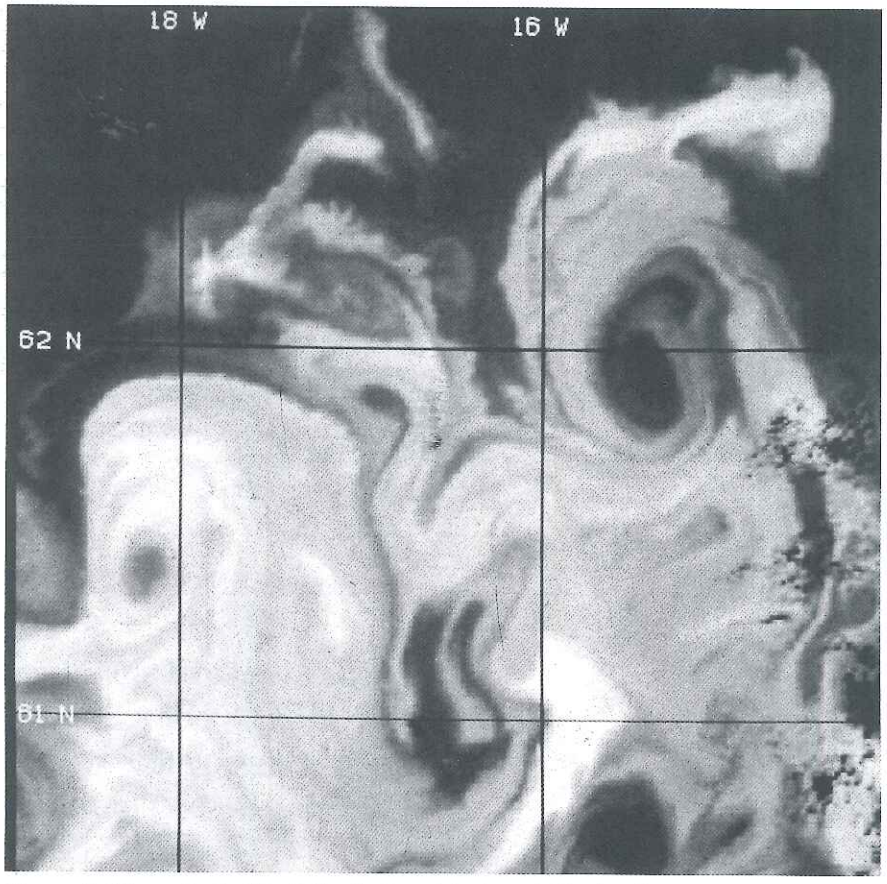


Figura 2.–Masas de *Emiliania huxleyi* en el Océano Atlántico, frente a la costa de Islandia (62° N/16°O), registradas por satélite. (Foto Dr. P. Westbroek).

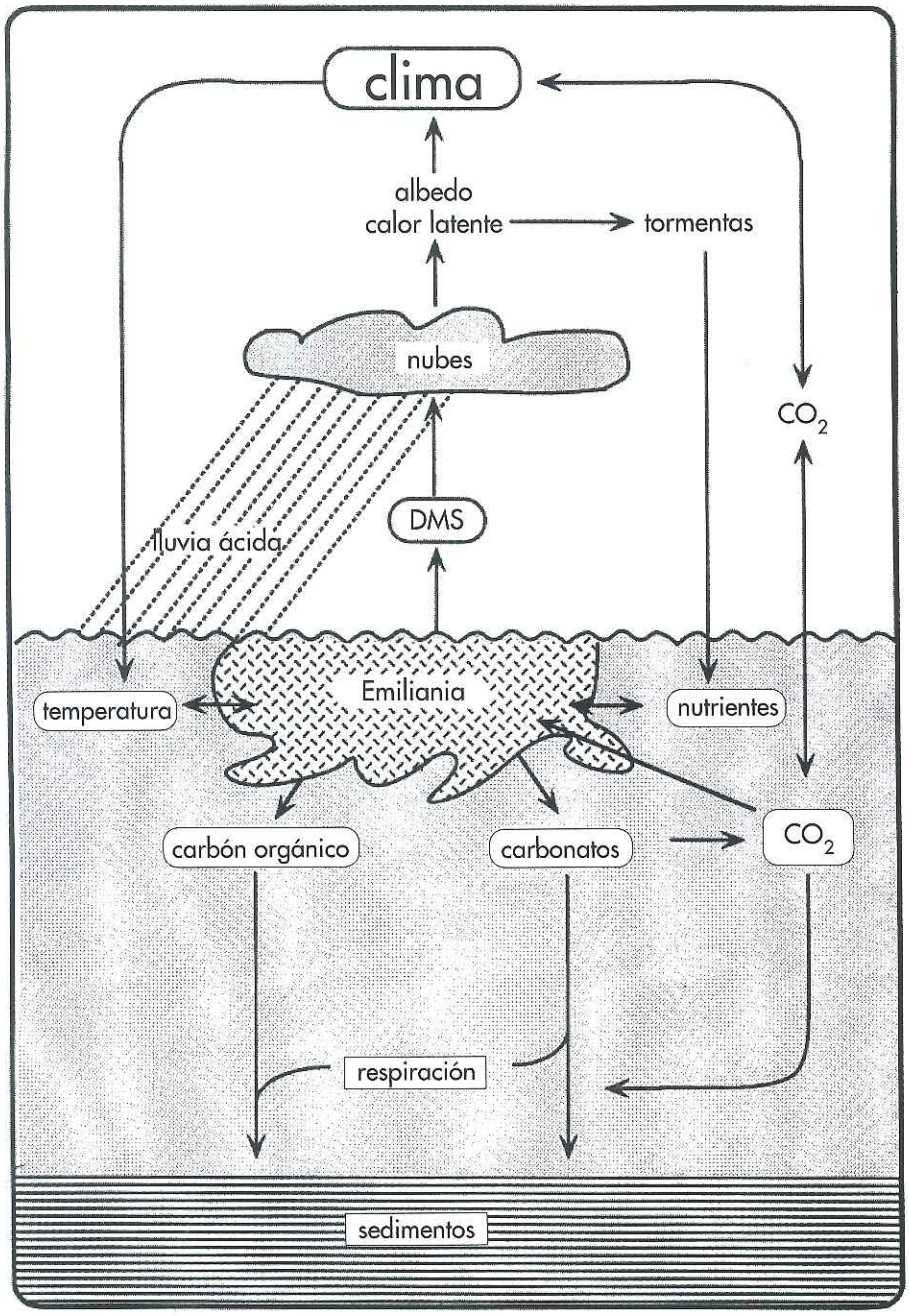


Figura 3.–Representación esquemática de los procesos oceánicos y atmosféricos más importantes, relacionados con el fenómeno *Emiliania huxleyi* (según Dr. P. Westbroek).

nicas innovadoras, unos biomarcadores que permiten la reconstrucción muy detallada de paleoambientes. Los descubrimientos recientes sobre la generación y el comportamiento de compuestos orgánicas sulfúricas de origen sedimentario, en combinación con los últimos logros en el campo de la instrumentación geoquímica, indican que ciertos biomarcadores, hasta ahora inaccesibles, ya se encuentran dentro de nuestro alcance. El proyecto enfocará en el desarrollo continuo y el perfeccionamiento de estas técnicas y, además, en algunos aspectos importantes de la geoquímica de los biomarcadores como son: sus fuentes multiples, la génesis, la influencia de la diagénesis y la aplicación de biomarcadores en la determinación del origen de material sedimentario orgánico.

El Ciclo del Carbono

El estudio del Ciclo del Carbono se puede realizar desde muchos puntos de vista y a diferentes escalas. Así, existen proyectos internacionales a gran escala que engloban varias contribuciones nacionales y, por otra parte, estudios más pequeños a nivel nacional, que no parecen encajar en los grandes proyectos pero sí pueden ser en el inicio de la exploración de nuevos campos de investigación.

El proyecto GEM

Un ejemplo de los proyectos grandes lo constituye el «Global *Emiliania* Modelling Initiative» (GEM) o Iniciativa de Modelización Global de *Emiliania*. Motivados por la preocupación expresada en los muchos informes sobre la intensificación del «efecto invernadero», los investigadores intentan orientar sus estudios hacia la identificación de los procesos fundamentales que constituyen un Ciclo del Carbono, distorsionado por la influencia humana. El proyecto GEM incluye varias aportaciones holandeses a este reto. GEM es un programa europeo, dirigido hacia la investigación y la modelización del sistema *Emiliania huxleyi* y supone un esfuerzo conjunto de disciplinas tales como la química, actuopaleontología, biología marina y oceanografía. GEM sobrepasa los límites de un estudio puramente geocientífico con su participación multidisciplinaria, lo cual representa una tendencia presente en varios sectores de las ciencias de la tierra en los Países Bajos.

Los investigadores intentan identificar los procesos fundamentales del Ciclo del Carbono, distorsionado por la influencia humana

La *Emiliania huxleyi* (**Fig. 1**) es un alga marina unicelular, cubierta de co-

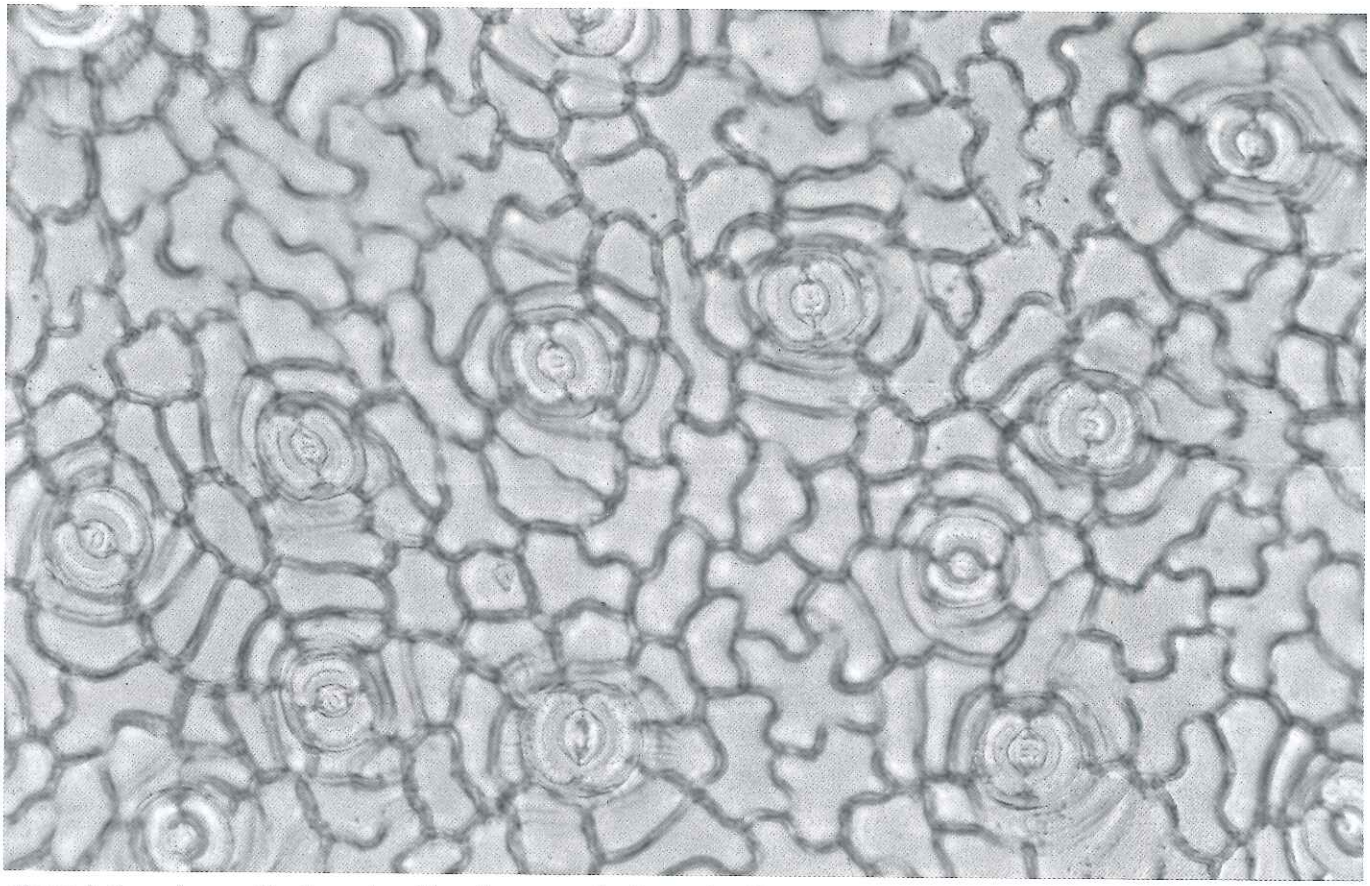


Figura 4.–Las estomas, situadas en la epidermis, que regulan la respiración de las hojas (Foto Prof. Dr. H. Visscher).

colitos, una especie de escamas óvalas con una estructura preciosa. Según Dr. P. Westbroek de la Universidad estatal de Leiden, uno de los más destacados investigadores holandeses de la biogeoquímica de Emiliania, este organismo marino juega un papel importante en la dinámica de la tierra[1]. Durante un período de crecimiento explosivo, el alga llega a cubrir superficies de miles de kilómetros cuadrados, visibles incluso desde el espacio (**Fig. 2**). La *Emiliania huxleyi* está considerada como la especie generadora de calcita más productiva del mundo. Los cocolitos, y la calcita almacenada en ellas, se depositan, después de la muerte de las algas, en el fondo del océano, normalmente aglutinadas en grumos. Los fondos de los océanos están cubiertos por enormes alfombras de cocolitos, con una superficie mayor que la de todos los continentes juntos. Así, estas zonas marinas constituyen los lugares más importantes de almacenamiento a largo plazo de $CaCO_3$ en el mundo y, por tanto, juegan un papel importante en el Ciclo de Carbono. Los sedimentos de estos depósitos forman los archivos que permiten el estudio de la evolución en el tiempo de esta «cinta transportadora» de CO_2.

GEM sobrepasa los límites de un estudio puramente geocientífico con su participación multidisciplinaria

La influencia de la *Emiliania huxleyi* no se limita a la extracción indirecta de CO_2 de la atmósfera. Durante su período de crecimiento explosivo, el alga produce grandes cantidades de dimetilo-sulfuro (DMS) que se incorpora en la atmósfera, encima de las aguas en donde vive. Este es un gas que, al ser oxidado, genera núcleos de condensación, favoreciendo la formación de nubes, por lo cual el organismo influye, además, en la regularización del albedo. Por otra parte, el DMS contribuye a la formación de lluvia ácida (natural), un problema que por sí solo requiere ser estudiado detalladamente.

Los investigadores holandeses del proyecto GEM[2] creen, que las predicciones climáticas basadas en «Modelos de Circulación General» de sistemas océano/atmósfera no son muy fiables, dado el carácter simplificado de los mismos. Sin embargo, estas predicciones ocupan un lugar importante en la discusión internacional sobre la evolución del clima. El proyecto holandés sobre la *E. huxleyi* ilustra, de forma clara, el carácter complejo de las interacciones entre biosfera y geosfera (**Fig. 3**). Además, demuestra cómo los estudios fundamentales sobre los sistemas biológicos representativos son imprescindibles para la creación de modelos realistas de estas interacciones.

Hojas fósiles

Un ejemplo de investigaciones a pequeña escala, relacionadas con el Ciclo del Carbono, es el estudio de hojas

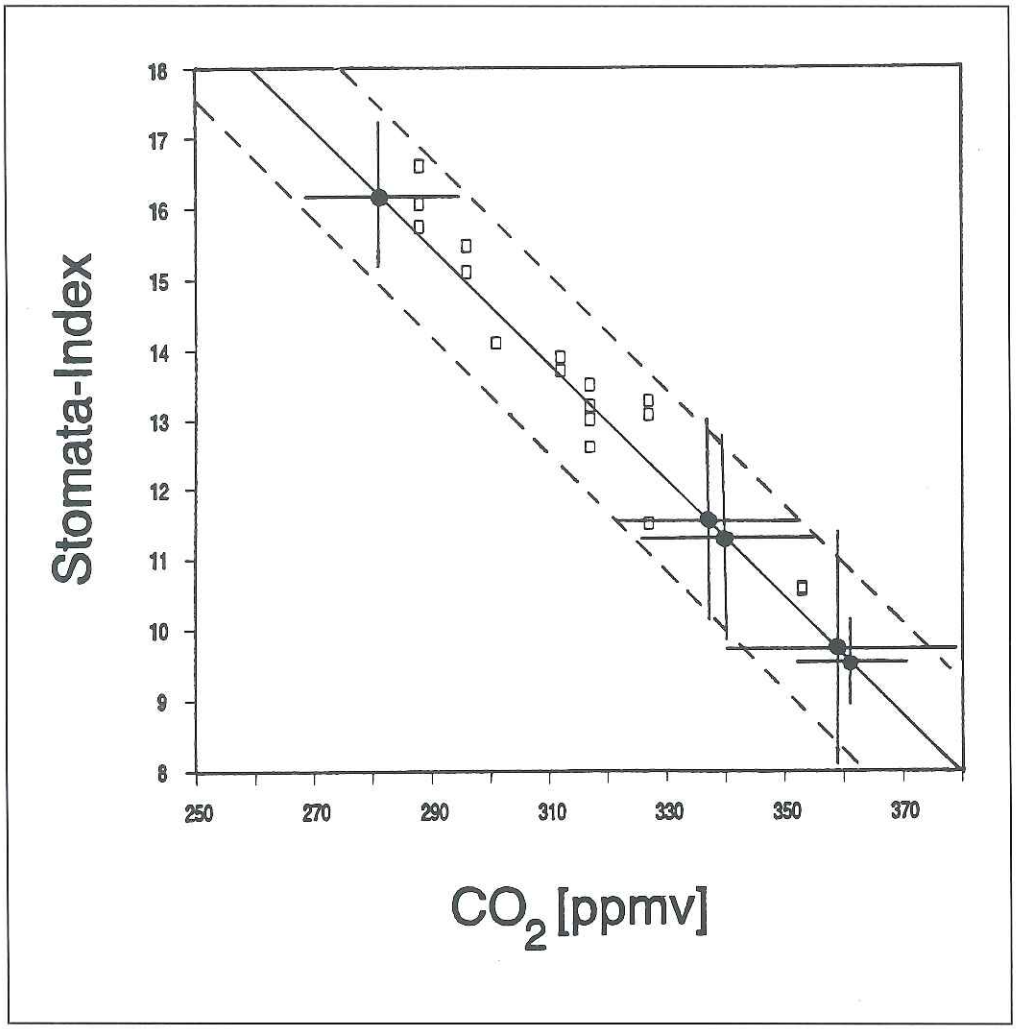


Figura 5.–Comparación entre el índice de estomas de *Quercus petreae* y la concentración del CO_2, durante el período 1870-1990 (cuadros), y los índices de estomas de ejemplares fósiles de esta especie en cinco intervalos del Mioceno-Plioceno (círculos). La relación hallada sugiere la existencia de altas concentraciones de CO_2 durante condiciones climáticas templadas a subtropicales, y concentraciones bajas durante períodos más fríos. (según Prof. Dr. H. Visscher).

fósiles como indicadores de las concentraciones de CO_2 [3]. Según se deduce de los resultados de un proyecto del grupo de investigación del catedrático de la Universidad de Utrecht Dr. H. Visscher, las plantas fósiles contienen información sobre las concentraciones atmosféricas del CO_2 de hasta hace por lo menos 10 millones de años. En el estudio de los cambios climáticos que marcan la historia terrestre, el conocimiento de las variaciones en la composición de la atmósfera es de interés fundamental. Para el entendimiento del efecto invernadero, se necesitan sobre todo datos cuantitativos sobre la evolución de la concentración atmosférica del CO_2. Los testigos de sondeos en los hielos de la Antártida facilitan datos sobre los últimos 200.000 años. Para tiempos anteriores, se carece prácticamente por completo de este tipo de información.

Dada la interacción entre las plantas terrestres y la atmósfera, uno puede preguntarse si las plantas pueden registrar en su morfología y anatomía, los cambios en la concentración atmosférica del Carbono. Esta pregunta se puede contestar de forma afirmativa. De los modelos físicos de la fotosíntesis se puede deducir que existe una relación entre la concentración del CO_2 y la densidad de las aperturas (estomas), situadas en la epidermis, que regulan la respiración de las hojas (**Fig. 4**). Un aumento de la concentración del CO_2 produciría un descenso en la cantidad de estomas. Este modelo teórico se ha confirmado, tanto mediante el estudio de hojas de herbarios, como en cultivos experimentales con diferentes concentraciones de CO_2. En varias especies de árboles se ha descubierto que, desde el comienzo de la revolución industrial y bajo la influencia del aumento de la concentración de carbono en la atmósfera, la densidad de las estomas se ha reducido con una media del 40 %.

Las plantas fósiles contienen información sobre las concentraciones atmosféricas del CO_2 de hasta hace por lo menos 10 millones de años

La utilidad de las estomas como herramienta en el estudio de la paleocomposición de la atmósfera, no se limita a los últimos siglos. El estudio de los restos de hojas fósiles abre la posibilidad de obtener información sobre los cambios en la concentración del CO_2 en un pasado lejano. Una confirmación de la validez de esta línea de investigación fue proporcionado por un estudio en el laboratorio de Paleo-

botánica y Palinología de la Universidad de Utrecht. En este proyecto se estudiaron hojas de Quercus petraea con una edad comprendida entre los 2,5 y 10 millones de años, procedentes de explotaciones de lignito en Alemania. La composición de sucesivas floras fósiles, ya había revelado que este intervalo de tiempo fue caracterizado por una alternancia de condiciones climáticas subtropicales y templadas. Se ha podido demostrar que la densidad de estoma (expresada en un índice de estomas) en los periodos cálidos era significativamente más baja que durante los templados. A partir de estos datos se reconstruyeron fluctuaciones del CO_2 de un orden similar a los que se han producido por la acción del hombre en los últimos 120 años (**Fig. 5**). A mitades de 1991, se comenzó a desarrollar, en Utrecht, este nuevo método de investigación paleoatmosférica.

Cambio global

La tendencia más importante de los últimos años dentro del campo geocientífico internacional, es la atención dedicada a los estudios fundamentales unidos bajo la bandera de «Cambio Global». Los proyectos mencionados anteriormente tienen cabida plena en este término. En los Países Bajos ya se ha formado una organización multidisciplinar propia, dedicada a este tema. Con un presupuesto de 19 millones de florines (aprox. 1.300 millones de pesetas) se ha elaborado una serie de planes integrados, que, con un presupuesto de 1,5 - 2 millones de florines (100 millones de pesetas) cada uno y con una duración de 5 años, constituyen la contribución holandesa a los programas sobre «Cambio Global». Dos de estos proyectos integrados, iniciados en 1992, están dentro del ámbito geocientífico. En estos proyectos, diferentes instituciones trabajan conjuntamente en el mismo área. Los objetivos y esquemas de trabajo de los estudios, siguen las líneas definidas en el Programa Internacional Geosfera - Biosfera (PIGB).

El primer plan integrado estudia las deglaciaciones como ejemplos naturales para la modelización de la evolución de los sistemas terrestres actuales. Así, se efectuarán estudios comparativos de la última y penúltima deglaciación, las del Holoceno y del Emiense. En la actualidad, vivimos el final de una deglaciación que, bajo la influencia del hombre, podría desarrollarse de forma más extrema. Los sistemas naturales sufren los cambios más rápidos durante los periodos de deglaciación. Por este motivo, las épocas seleccionadas para este proyecto son especialmente adecuadas para estudiar los fenómenos previstos en los diferentes escenarios climáticos para el futuro. Los conocimientos que existen en el país, en los campos de la meteorología / glaciología, sedimentología, paleoceanografía / paleoclimatología, geoquímica y tectónica, se unen en este proyecto, concentrándose en un sólo intervalo geológico y teniendo un objetivo científico común.

El segundo plan integrado estudia los cambios climáticos y medioambientales, y sus consecuencias para los sistemas fluviales en zonas continentales bajas. Supone un estímulo adicional para un área de investigación que ya es objeto internacional de estudio. Para Holanda, situada en la desembocadura de los ríos Rin y Mosa, es vital conocer cómo las modificaciones climáticas y del nivel del mar, como posibles consecuencias de un efecto invernadero intensificado, pueden modificar el comportamiento y la ecología de este tipo de sistemas fluviales. Cambios en los patrones de sedimentación y erosión, junto a un aumento de la infiltración de sal, están entre las posibles consecuencias de una subida del nivel del mar. El proyecto tiene como fin analizar el papel de los (grandes y pequeños) cambios climáticos y del nivel del mar en el desarrollo de sistemas fluviales, mediante su estudio a diferentes escalas de tiempo. En base a los conocimientos obtenidos, se intentará llegar, por medio de la creación de modelos y simulaciones, a poder predecir cómo será la evolución de dichos sistemas en el futuro. El proyecto articula datos geológicos, geomorfológicos, edafológicos, ecológicos, climatológicos, hidrológicos y meteorológicos, con conocimientos sobre los efectos que la sociedad humana ejerce en su entorno.

La tendencia más importante de los últimos años dentro del campo geocientífico internacional, es la del estudio de procesos relacionados con el tema «Cambio Global»

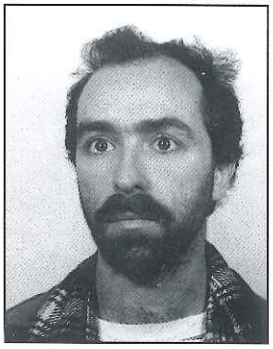
Aparte de los proyectos anteriormente citados, se están llevando a cabo, por supuesto, muchos otros proyectos de investigación, como por ejemplo la modelización cuantitativa numérica de procesos tectónicos, por el Prof. Dr. S.A.P.L. Cloetingh (Universidad Libre de Amsterdam), los experimentos de deformación de rocas bajo condiciones de alta temperatura y presión, del dr. Spiers (Universidad de Utrecht), etc.

En este artículo se ha querido dibujar la tendencia, dentro de la política de la Organización Holandesa para Investigaciones Científicas, de subvencionar proyectos de investigación de mayor escala, de alta calidad, de tipo multidisciplinario y/o de interés social. Estas tendencias, y la participación del AWON/NWO en ellas, tienen una estrecha relación con el nivel científico de la comunidad holandesa de investigación. ■

REFERENCIAS

1. **P. Westbroek (1991)**: «Life as a Geological Force: Dynamics of the Earth». New York, cap. 6.
2. **P. Westbroek, J.E. van Hinte, G.J. Brummer, M. Veldhuis, C. Brownlee, R. Harris, B. Ridderveld (1992)**: «The Coccolithophore Emiliania Huxleyi and Global Climate». Proceedings Bio-Japan.
3. **NWO** Nieuwsbrief, marzo 1991 - 9.

RESTOS DE ACAROS COMO INDICADORES MEDIO AMBIENTALES EN ESTUDIOS DE LA GEOLOGIA CUATERNARIA Y DE LA PALEO-ZOOLOGIA



J. Schelvis

El autor estudió biología en la Universidad de Groninga y elaboró una tesis sobre la aplicación de ácaros fósiles en un contexto arqueológico. En la actualidad trabaja como investigador en el Biological-Archeological Institute, Poststraat 6, 9712 ER Groningen, (Holanda)

El estudio de los restos fosilizados de los ácaros es un campo relativamente desconocido que, sin embargo, puede aportar información importante para la reconstrucción de paleoambientes.

Although the study of fossilized acarus is a relatively unknown field of investigation, it does form a valuable source of information for the reconstruction of paleo-environments.

Introducción

Las primeras reseñas relacionadas con los restos de ácaros en sedimentos geológicos, datan del comienzo de este siglo (Nordenskjöld, 1901). Antes de aquellos tiempos, tan sólo se habían publicado algunos hallazgos de ácaros fosilizados en ámbar (Koch & Berendt, 1854). Hasta los años sesenta del presente siglo, los científicos no se dieron cuenta del potencial de información ecológica y climatológica contenida en los restos de artrópodos. Sobre todo la publicación de Coope, en 1965, significó un importante paso hacia delante en el desarrollo de este campo de estudio especializado.

Se puede explicar fácilmente porqué, en aquellos tiempos, los científicos se dedicaban sobre todo al estudio de los restos de escarabajos *(Coleóptera)*. En primer lugar porque éstos suelen ser los restos de artrópodos más llamativos en un sedimento: se pueden apreciar frecuentemente sus brillantes caparazones *(elytra)* a simple vista en un corte. Existe, además, una gran cantidad de literatura con respecto a la de-

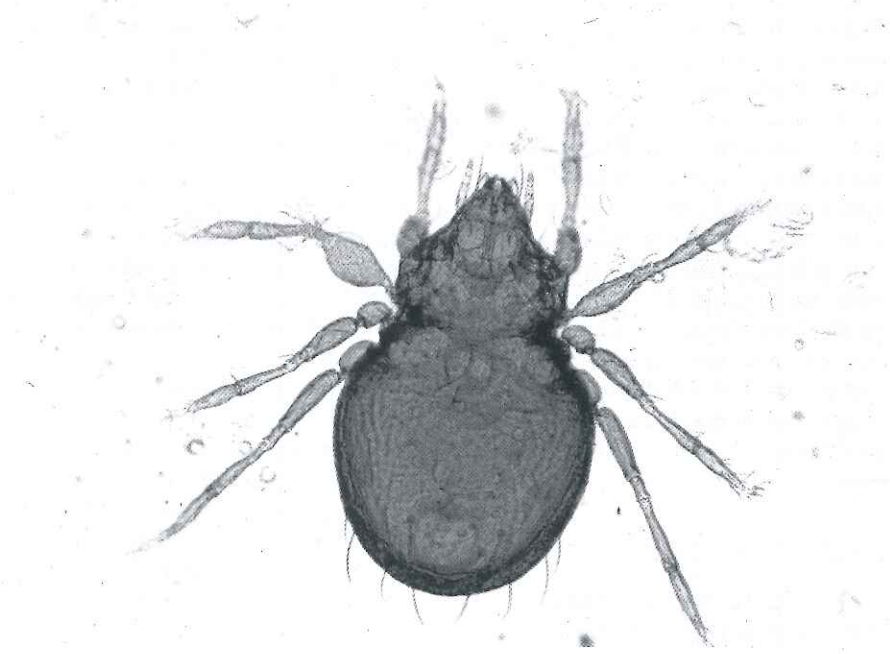


Figura 1.–El ácaro *Phauloppia lucorum*.

Figura 2.–La toma de muestras en una excavación.

terminación y el hábitat de este grupo, lo que se debe sobre todo al atractivo aspecto de estos insectos, por lo que muchas generaciones de investigadores aficionados de la naturaleza los han coleccionado y estudiado.

El caso de los ácaros es muy diferente. Los ácaros son arácnidos poco llamativos y de dimensión pequeña, casi siempre inferior a 1 mm (**Fig. 1**) y tienen en común con los insectos que su esqueleto externo está compuesto de quitina. En condiciones favorables, la quitina se puede conservar durante mucho tiempo. Shear et al. (1984) han descrito, por ejemplo, los restos de un ácaro hallado, cerca de Gilboa, Nueva York, en sedimento del Devónico Medio, comparable con el Givetiense medio en Europa, con una edad comprendida entre 376 a 379 millones de años. Este ácaro, con un tamaño de 0.48 mm, se había conservado tan bien que pudo ser atribuida a la actual familia de los *Ctenacaridae*. Hasta ahora, en Europa no se han encontrado ácaros fósiles con una edad semejante; en nuestro continente, la investigación se ha concentrado más en la Era Cuaternaria.

Material y métodos

Los ácaros se hallan prácticamente en cualquier habitat imaginable, tanto terrestre como acuático. Miles de diferentes especies existen en ambientes

Restos de un ácaro han sido hallados en sedimentos del Devónico Medio

que varían desde el Artico, hasta los húmedos bosques tropicales y desde el mar profundo hasta las grandes alturas de las cordilleras. Los ácaros, que en contra de lo que se piensa a menudo no tienen una vida parasitaria, imponen cada uno sus propias exigencias específicas a su biotopo preferido. Es por este motivo, y también porque estos animales se encuentran a menudo en el suelo en grandes densidades, que sus restos se prestan, por excelencia, para la reconstrucción de las antiguas condiciones medio ambientales.

La extracción de los restos de ácaros y de insectos en general presenta pocos problemas, ya que la quitina del esqueleto externo resiste prácticamente cualquier tratamiento de la muestra. Hasta ahora, he conseguido los mejores resultados con la técnica de flotación con petróleo. En esta técnica, primero se disuelve la muestra en agua muy caliente, y a continuación se filtra. La fracción entre 0,1 mm y 1 mm contiene prácticamente todos los restos de ácaros presentes en la muestra. Después de haber separado el material inorgánico mediante la técnica de *wash-over,* se cuece la fracción orgánica durante al menos media hora. A continuación, se seca parcialmente este residuo y se mezcla con petróleo. Acto seguido, se añade una cantidad considerable de agua fría. A consecuencia de la gran afinidad de la quitina con el petróleo, saldrán todos los restos de quitina junto al petróleo a flote sobre el agua. El material flotante se vuelve a pasar por el mismo filtro de 0.1 mm y luego se reúnen los restos de ácaros bajo el microscopio. Frecuentemente, estos restos se conservan en una condición que permite incluso la determinación de la especie, mostrando generalmente un dominio de los ácaros de musgos (Oribatida) entre ellas.

Muchas de las especies pertenecientes a los *oribatidae,* viven todavía, ya que la velocidad morfogenética de este grupo es excepcionalmente baja; probablemente ésta sea la consecuencia de la gran estabilidad de su biotopo (Krivolutsky & Druk, 1986). A consecuencia de este «conservadurismo» es posible pronunciarse, en base a recientes tomas de muestras, sobre los biotopos preferidos de los ácaros en el pasado.

Mediante un estudio bibliográfico y trabajo de campo, he definido una veintena de grupos ecológicos de *oribatidae,* cada uno de los cuales está representado, de forma óptima, en un hábitat particular (Schelvis, 1992a). La distribución de las especies, encontradas en una muestra determinada, dentro de estos grupos ecológicos, forma la base para una reconstrucción de las condiciones medio ambientales. Dado que los ácaros son incapaces de volar de forma activa, por lo que su radio de acción es muy reducido, esta reconstrucción reflejará unas condiciones estrictamente locales.

La investigación en Holanda

Hasta ahora, la investigación de los restos de ácaros en Holanda se ha concentrado sobre todo en el material procedente de excavaciones arqueológicas (Schelvis, 1992a).(**Fig. 2**) Sin embargo, la situación geológica deter-

minaba, en estos casos, las líneas generales del estudio. La influencia de las sucesivas fases de transgresión y regresión del mar, sobre la historia de los asentamientos en los Países Bajos, constituye un elemento continuo en el estudio arqueológico holandés. En este contexto, los restos de ácaros forman un recurso muy útil, ya que la composición de la fauna de ácaros depende, en gran parte, del alcance de influencia marina. Además, de esta manera se pueden determinar también los cambios muy rápidos o de poca duración, que serían difícilmente detectables de otra forma.

También en otras situaciones, los restos de ácaros pueden facilitar información ecológica que sería muy difícil o imposible de conseguir por otros métodos, ya que, por ejemplo, se conservan también excelentemente en turbas ácidas y en suelos arenosos pobres en caliza, sedimentos en los que el material óseo no se conserva. Por otra parte, pueden ser utilizados para contestar preguntas con un matiz más arqueológico, como la clasificación de los rellenos de excavaciones antiguas y la determinación de la presencia de tipos específicos de estiércol en sedimentos arqueológicos.

Aparte de estas aplicaciones paleozoológicas, se realizaron unos estudios dentro del campo de la geología cuaternaria. Por una parte, se estudiaron una serie de muestras, tomadas de un sedimento glacial tardío de Usselo, con una edad comprendida entre hace 12.800 y 11.000 años. Este estudio demuestra, que los restos de ácaros son indicadores fiables de las antiguas condiciones medio ambientales, ya que los resultados concuerdan con los del estudio de polen, restos macrobotánicos y restos de insectos (Van Geel *et al.*, 1989). Por otra parte, se analizó el material reunido durante la excavación de los restos de un mamut, en el verano de 1991, cerca de Orvelte. Se han realizado dataciones del tipo ^{14}C, tanto de los restos óseos, como del sedimento en los que se han encontrado a éstos. Las dos dataciones dan como resultado una edad de, aproximadamente, hace 45.000 años, lo que equivale con el climax de la última glaciación en Holanda, el Weichseliense. Estos sedimentos pleniglaciales pertenecen a la llamada formación de Twente.

Los restos de ácaros se prestan por excelencia para la reconstrucción de paleo ambientes

Las muestras de este depósito resultaron ser muy abundantes en restos de ácaros (aprox. 3000 individuos por Kg), que, además, estaban muy bien conservados (**Fig. 3**), de modo que la determinación de las especies encontradas presentó pocos problemas. Las especies, encontradas en una muestra de 50 gr., resultan ser características para un ambiente abierto y húmedo. El notablemente buen estado de conservación de los fósiles, indica una sedimentación rápida en agua relativamente profunda y estancada. La conclusión, en base a esta primera muestra de pequeño tamaño, es que el sedimento se ha depositado en un charco mesótrofo de un pantano de turba (o posiblemente en un lago formado en un meandro abandonado), con una vegetación acuática abundante y en un paisaje bastante abierto (Schelvis, 1992b). Siguientes estudios del material y una comparación con las faunas de ácaros recientes de pantanos de turbas holandeses, posiblemente podrán añadir más detalle a esta reconstrucción.

Conclusión

El estudio de los restos de ácaros genera una amplia variedad de información ecológica que, tanto en un contexto paleozoológico, como de la geología cuaternaria, puede suponer una contribución importante para el incremento de nuestros conocimientos acerca de las condiciones medio ambientales y sus cambios en el pasado. ■

Figura 3.–El ácaro *Hydrozetes thienemanni*.

BIBLIOGRAFIA

Coope, G. R. (1967): The value of Quaternary insect faunas in the interpretation of ancient ecology and climate. In (E. J. Cuching & H. E. Wright, Eds.) *Quaternary Paleoecology*, pp.359-380. New Haven.

Koch, C. L. und Berendt, G. C. (1854): Die im Bernstein befindlichen Crustaceen, Myriapoden, Arachniden und Aptoren der Vorwelt. *Organische Reste im Bernstein,* 1(2), pp.1-124.

Krivolutsky, D. A. and Druk, A.Ya. (1986): Fosil oribatid mites. Annual review of Entomology, 31, pp.533-545.

Nordenskiöld, E. (1901): Zur Kenntnis der Oribatidenfauna Finnlands. Acta Soc. Fauna Flora Fenn., 21(2), pp.1-35.

Schelvis, J. (1992b): Mammoths and Mites. Experimental and applied Entomology. Proceedings of the Netherlands Entomological Society, 3, pp.140-141.

Shear, W. A., Bonamo, P. M., Grierson, J. D., Rolfe, I., Smith, E. L. and Norton, R. A.(1984): Early land animals in North America: Evidence from Devonian age Arthropods from Gilboa, New York. Science, 224, pp.492-494.

Van Geel, B., Coope, G. R. and Hamme, T. van Der (1989): Paleoecology and Stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (the Netherlands). Review of Paleobotany, 60, pp.25-129.

EL IMPACTO DE UN METEORITO EN CHICXULUB (YUCATAN) HACE 65 MILLONES DE AÑOS: DATOS PROCEDENTES DE ESPAÑA Y CONSECUENCIAS PARA LA VIDA TERRESTRE

J. Smit

El autor estudió Geología en la Universidad de Amsterdam, donde también escribió su tesis sobre el límite Cretácico - Terciario. Actualmente trabaja como investigador en el Instituto de las Ciencias de la Tierra de la Universidad Libre, de Boelelaan 1085, 1081 HV, Amsterdam (Holanda).

El impacto de un gran meteorito o cometa, hace sesenta y cinco millones de años, provocó el fin de la existencia de los dinosaurios. Esta teoría se ve confirmada después de haber encontrado el enorme cráter causado por el impacto de este cuerpo extraterrestre en Chicxulub, en la península de Yucatán (México).

The impact of an enormous meteorite or comet, about 65 million years ago, caused the mass extinction of the dinosaurs. This theory is being confirmed by the discovery of the huge crater, made by the impact of this extraterrestrial body near Chicxulub, on the peninsula of Yucatán (México).

El límite Cretácico - Terciario

Ya en 1975, un grupo de investigación de la Universidad de Amsterdam (Holanda) halló, en el Barranco del Gredero, cerca de Caravaca (Murcia), los indicios de que se había producido, en algún sitio distante, el impacto de un gran meteorito. Sin embargo, en aquel momento nadie se dio cuenta de que aquella intercalación arcillosa, aparentemente insignificante con su potencia de tan sólo 2 mm, iba a jugar un papel importante a la hora de llegar a descifrar los secretos de aquel acontecimiento.

En el Barranco del Gredero se aprecia, en medio de sedimentos margosos y cacáreos de color amarillo, depositados en un antiguo mar profundo que entonces cubría el Sur de España, una intercalación arcillosa de color gris oscuro, con una potencia de 7 cm (**Fig. 1**). La intercalación marca, en esta serie, la transición entre el Cretácico, cuando aún vivían los dinosaurios, y el Terciario, en el que dominaron los mamíferos; se conoce como el límite Cretácico-Terciario. Al contrario de todas las demás intercalaciones margosas, que se encuentran por encima y por debajo en la serie, en esta capa casi no se encuentran fósiles. Justamente por debajo de la misma, se distingue una lámina con una potencia de 2 mm y un color verde y rojizo, en la cual, más tarde se encontraron todo tipo de fenómenos exóticos, entre los cuales aparecían los restos de material extraterrestre y del lugar del impacto del meteorito. Esta capa, la denominamos *la intercalación del impacto* (**Fig. 2**). Aunque en muchos sitios ha sido erosionada, se la reconoce en otros lugares de España, como por ejemplo cerca de Agost, Alicante (**Fig. 3**). El mejor afloramiento de la intercalación está situado en la costa de Zumaya, Vizcaya (**Fig. 4**).

Un análisis de activación de neutrones de las margas de la capa, dio como resultado una cantidad anómala de iridio, un elemento siderofílico. Tan sólo la intercalación del impacto es tan rica en iridio, los otros estratos margo-

La intercalación del impacto contiene 500 veces más iridio que los otros estratos margosos de la serie

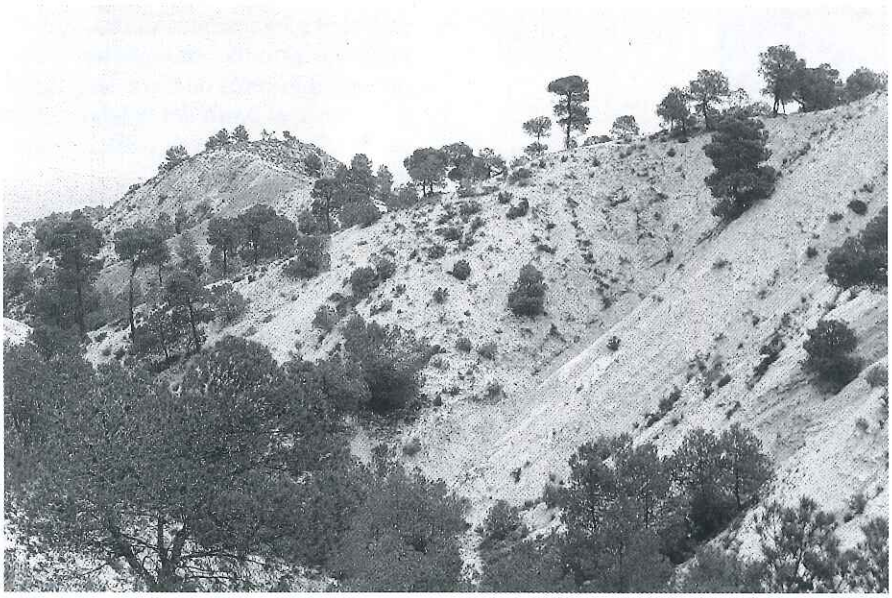


Figura 1.–El Barranco del Gredero cerca de Caravaca. Los estratos de sedimentos marinos han sido deformados durante la elevación de la Cordillera Bética En el centro se puede observar el límite Cretácico-Terciario como una franja oscura.

sos contienen 500 veces menos de este elemento. Un poco antes del descubrimiento en Murcia, el equipo de investigación de Walter Alvarez, de la Universidad de California, también había encontrado, en la garganta de Bottaccione, cerca de Gubbio (Italia), una concentración anormalmente alta de iridio en el límite Cretácico - Terciario. El origen del iridio se puede explicar de forma sencilla con la llegada de material extraterrestre, como son los meteoritos, ya que los análisis químicos han demostrado que tienen un porcentaje muy superior de elementos siderofílicos, que la corteza terrestre (Ver **Tabla 1**).

Las víctimas más famosas de esta catástrofe han sido los dinosaurios

MATERIAL	[Ir] mínimo	[Ir] máximo
Núcleo terrestre	2	10
Manto terrestre	0,1	1
Corteza terrestre	0,001	0,02
Meteorito Ni-Fe	2	10
Meteorito rocoso (condrita)	600	
Magma volcánica	0,001	0,02
Intercalación del impacto	10	80
Otros estratos margosos de la serie	0,001	0,02

Tabla 1.–*Concentración de iridio en la tierra y en los meteoritos, en ppb (= 10^{-9} gr/gr).*

Los elementos siderofílicos que contienen los meteoritos, son el níquel, cromo, cobalto y los metales del grupo del platino: ruthenio, rhodio, paladio, rhenio, osmio, iridio y platino. De ellos, el iridio es el elemento que se puede detectar más fácilmente mediante el análisis de activación de neutrones y el que más a menudo se cita en las publicaciones. En la intercalación también se encuentra una mayor concentración de los otros metales del grupo del platino. En principio, también debería de haber una mayor concentración de elementos como níquel y hierro, pero dado que, químicamente, son más activos que el platino, entran en reacción con el agua del océano y apenas se conservan en estos sedimentos.

La extinción masiva

La intercalación del impacto en sí no sería tan llamativa, si no coincidiera con la desaparición y extinción de muchas especies de animales y plantas (**Fig. 6**). Al fin y al cabo, los astrónomos afirman que los grandes impactos de meteoritos no eran tan escasos como se pensaba. Por término medio, cada millón de años cae algún cuerpo con un diámetro de un kilómetro o más sobre la Tierra, dejando un cráter con un diámetro de más de 30 kilómetros. Pero no todos esos impactos han llevado a una extinción. Parece que en el caso del límite Cretácico-Terciario, se trata de un impacto con una magnitud poco habitual.

Las víctimas más famosas de esta catástrofe han sido, por supuesto, los dinosaurios. El debate sobre si la extinción de estos grandes animales se debe a las consecuencias del impacto o si ya habían desaparecido cuando este se produjo, está en pleno auge. Los pocos datos concretos que tenemos sobre el curso de vida de estos reptiles, muestran un retroceso en el número de especies en los últimos 10 millones de años de su existencia. Peter Sheehan, sin embargo, ha probado recientemente que no existió tal reducción en los últimos 2-3 millones de años. Uno de los últimos dinosaurios vivos dejó una huella de su pie en Colorado (EE.UU.), a tan solo 30 cm debajo de la intercalación del impacto. Hasta ahora, no se ha encontrado, en sedimentos más modernos que la intercalación, ningún resto de dinosaurio del cual se pueda afir-

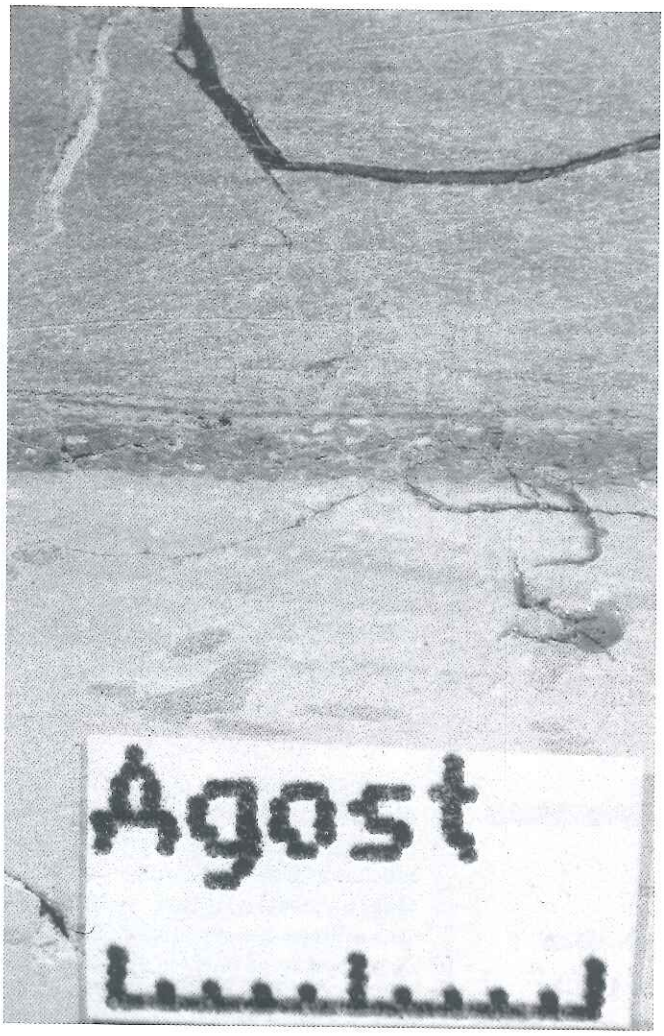


Figura 2.–La intercalación de impacto del meteorito en Agost. Abajo se aprecian las margas cretácicas, en las que el plancton aún está inalterado. En el centro se encuentra una intercalación de 2 mm, en la que están presentes los restos de material extraterrestre y del lugar del impacto. Directamente por encima se puede ver una lámina oscura, que ha sido depositada cuando la mayor parte del plancton ya se había extinguido y el fondo marino se cubría sobre todo de sedimentos fluviales con muy pocos restos de organismos marinos.

do por el plegamiento Alpino, y ahora podemos estudiar en aquellas zonas, por ejemplo cerca de Caravaca, Agost y Zumaya, el barro del antiguo fondo del mar, convertido en calizas y margas.

Los microfósiles incorporados en estos sedimentos, provienen en su mayoría de los restos de los esqueletos de pequeñas algas pelágicas, llamadas coccolitos, y de organismos unicelulares pelágicos, los foraminíferos. Estos organismos se extinguieron prácticamente al mismo tiempo que los dinosaurios. Al contrario de los restos de dinosaurios, que son muy escasos, los fósiles de foraminíferos se encuentran en grandes cantidades, hasta de un millón por centímetro cúbico. Por esto, el análisis de la evolución de la población de estos organismos tiene, estadísticamente, mucho más valor.

Ya se sabía que estos grupos pelágicos se extinguieron en el límite Cretácico-Terciario, pero no a qué ritmo y el porqué. Gracias al estudio detallado de las series margosas cerca de Caravaca, hemos podido documentar una disminución drástica, tanto en el número de individuos como de especies, de la gran mayoría de organismos pelágicos, a menos de 1 mm de distancia de la intercalación del impacto. Si tomamos la velocidad de acumulación

mar con seguridad que no provenga de algún estrato más antiguo. En España también se encuentran muchos restos de dinosaurios y huellas (la Rioja/Soria), pero estos suelen ser más antiguos. Existen restos de dinosaurios en los sedimentos del Garumnense, cerca de Tremp en los Pirineos, pero estos son demasiado escasos para poder decir algo concreto sobre su relación con la extinción.

La situación es diferente en el caso de los animales marinos y las algas, cuyos esqueletos se conservan en los sedimentos calcáreos del sur y norte de España. Mares profundos cubrían, en aquella época, la plataforma continental, tanto la zona donde ahora se sitúa la Cordillera Bética, como en Vizcaya. En estos mares se acumulaban, de forma continua, los restos de esqueletos de los habitantes del océano, a un ritmo de unos 2 a 6 cm cada mil años. Así se habían formado, a finales del Cretácico, unos depósitos con una potencia de cientos de metros. Más tarde, ese antiguo fondo del mar fue levanta-

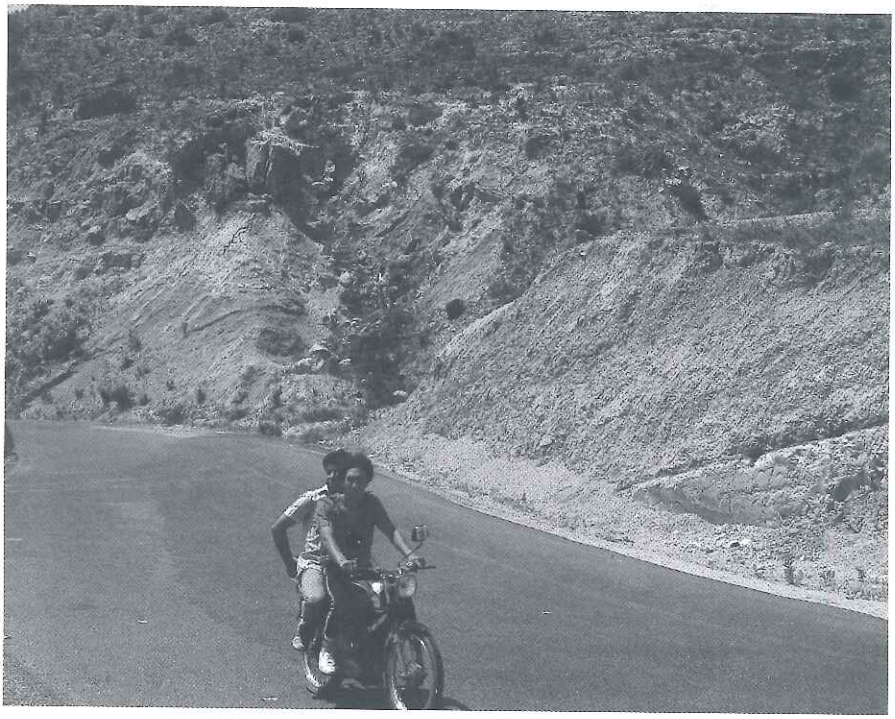


Figura 3.–En un afloramiento al lado de la carretera entre Agost y Castalla, enfrente del cementerio de Agost, el límite Cretácico-Terciario está compuesto por arcillas.

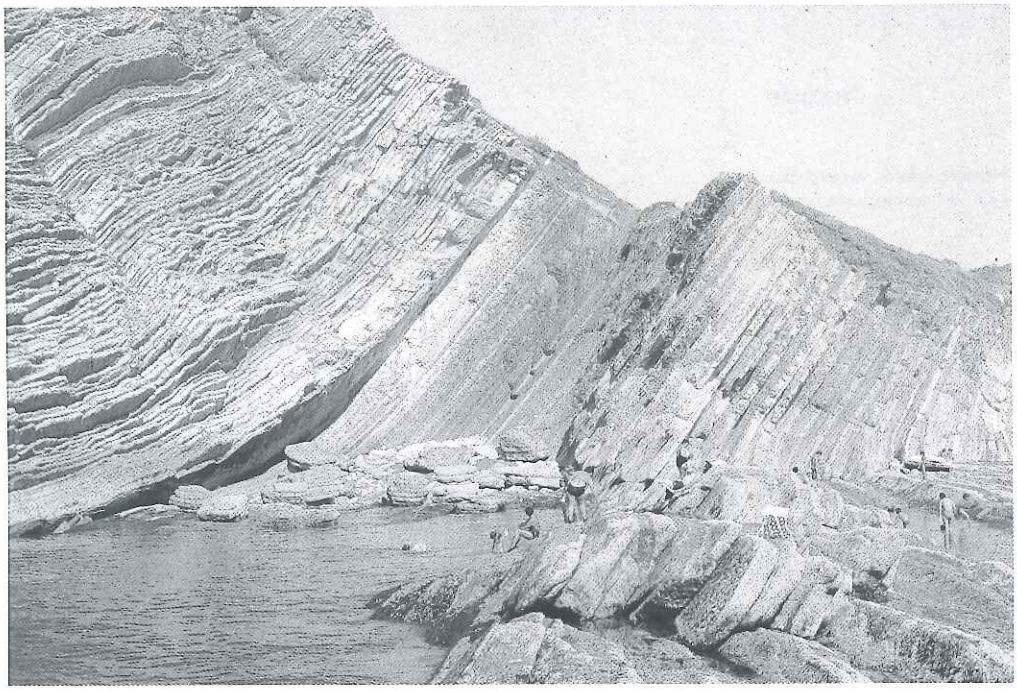


Figura 4.–El límite Cretácico-Terciario a lo largo de la costa de Zumaya, provincia de Guipúzcoa. Los estratos se deformaron durante la formación de los Pirineos El límite se encuentra por debajo del banco saliente a la izquierda de la foto.

Los organismos pelágicos se extinguieron en unas decenas de años, después de la sedimentación de la intercalación de impacto

del sedimento como medida del tiempo, resulta que estos organismos marinos se extinguieron en unas decenas de años o menos, después de la sedimentación de la intercalación de impacto, es decir, poco después del impacto. Sería muy improbable, que la desaparición de estos organismos pelágicos no tuviera nada que ver con el impacto.

Naturalmente, sería peligroso basarse únicamente en los resultados obtenidos en Caravaca. Sin embargo, en los últimos diez años se han estudiado por todo el mundo, con la precisión necesaria, muchas de esas series calcáreas del límite Cretácico - Terciario, sobre todo en los testigos de sondeo marinos de los proyectos «Deep Sea Drilling Project» y «Ocean Drilling Project» (DSDP/ODP), pero también en la tierra. Cada estudio demuestra

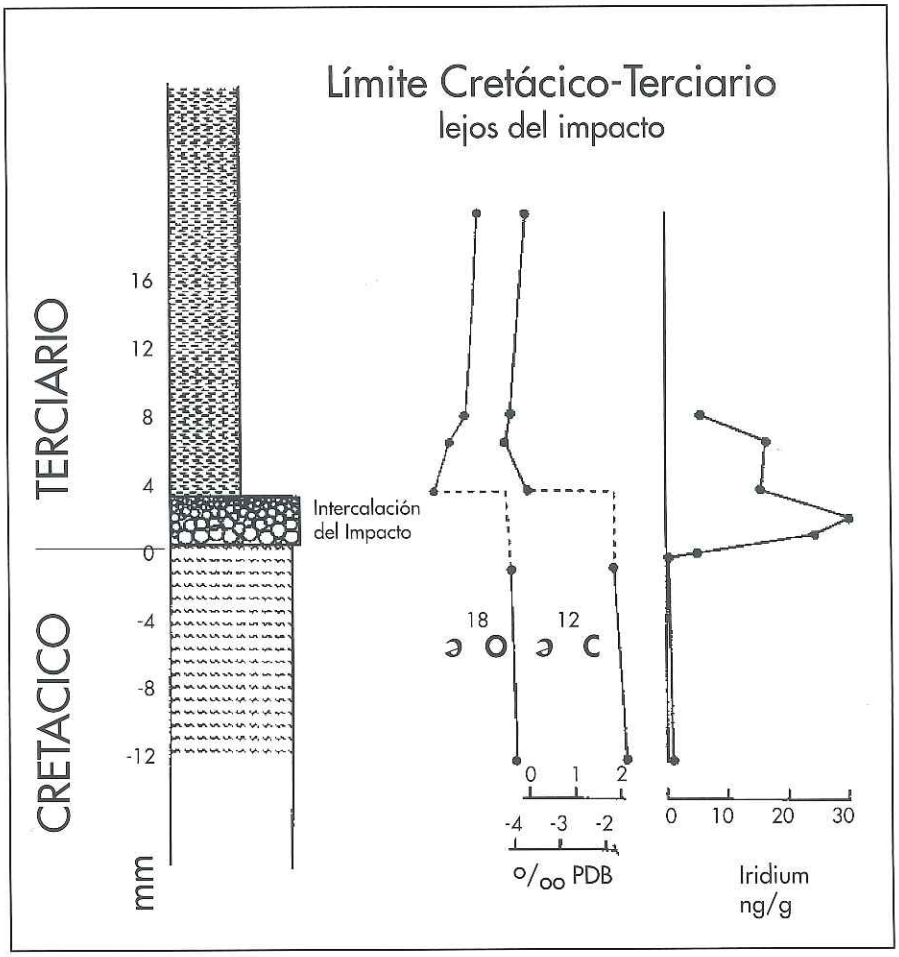


Figura 5.–Representación esquemática de los cambios geoquímicos que se han observado en Agost, Caravaca y Zumaya. La intercalación de impacto contiene una alta concentración de iridio, y en el escaso material esquelético, que se encuentra en la arcilla al techo de la intercalación de impacto, se han registrado unos cambios espectaculares en los isótopos de oxígeno y carbono. Los isótopos de oxígeno reflejan una subida de la temperatura del agua marina, casi inmediatamente después del impacto, mientras que los isótopos de carbono muestran que la fotosíntesis en la superficie del océano había disminuido de forma importante.

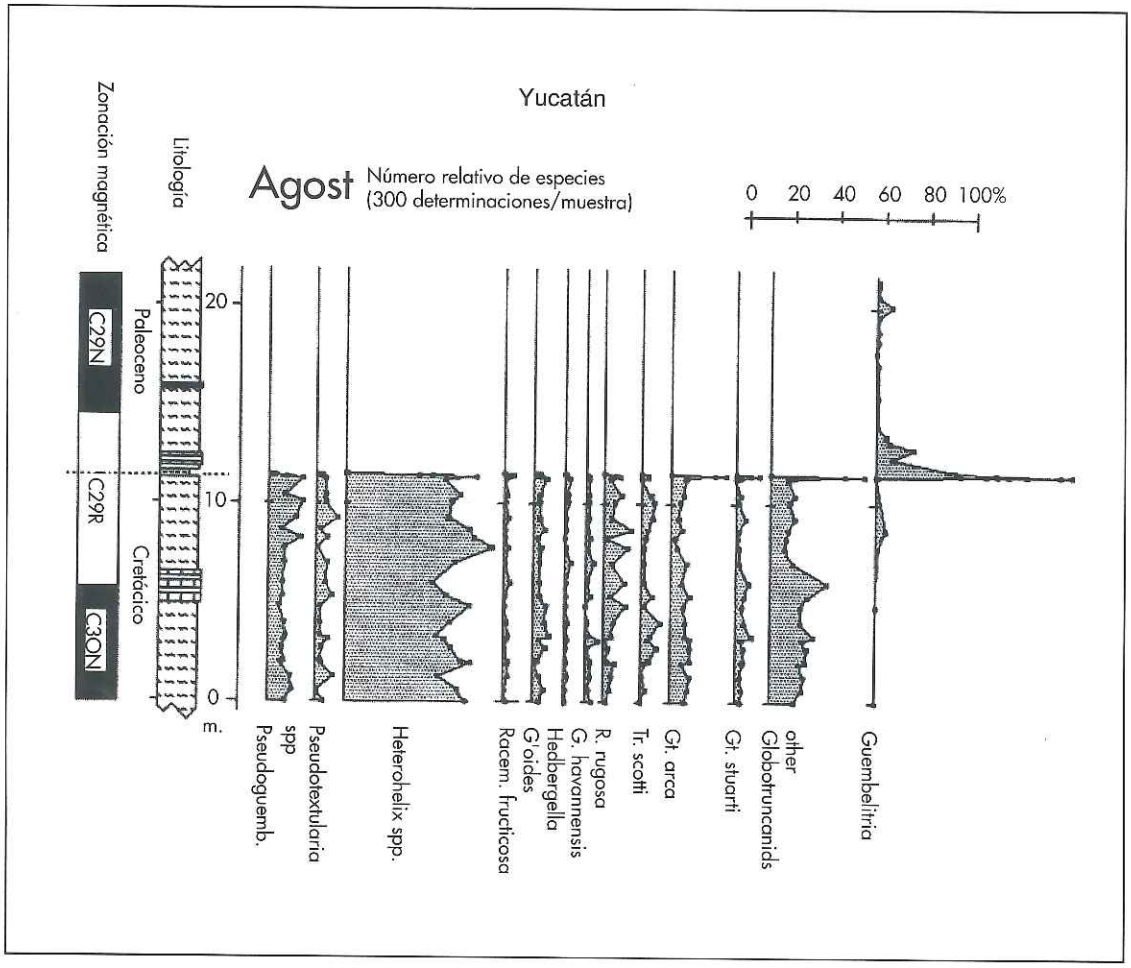


Figura 6.–Representación esquemática de la desaparición del plancton oceánico, en la serie de Agost. Todos los grupos de foraminíferos planctónicos desaparecen al mismo tiempo, exactamente en el límite Cretácico-Terciario.

que la gran crisis que sufrieron los organismos pelágicos, coincide con la intercalación del impacto. Sin embargo, muchos paleontólogos, entre otros Greta Keller de la Universidad de Princeton, han planteado que la desaparición de las especies pelágicas no es tan súbita como se dice y que muchas especies ya habían desaparecido antes del depósito de la intercalación del impacto y otras mucho tiempo después. Sin embargo, el error que se comete es que tan sólo se consideran los números relativos de especies, y no el número absoluto de individuos. Si se corrige o normaliza para la velocidad de sedimentación, y después se calcula cuantos fragmentos de esqueletos se depositan en el fondo del mar por año, se ve claramente entonces que la gran catástrofe coincide exactamente con la intercalación del impacto. En comparación, todos los otros cambios antes y después son muy pequeños y fácilmente explicables con variaciones climatológicas normales, como el crecimiento y la disminución de las capas de hielo polares, que se producen en un sistema dinámico como es el clima de la Tierra.

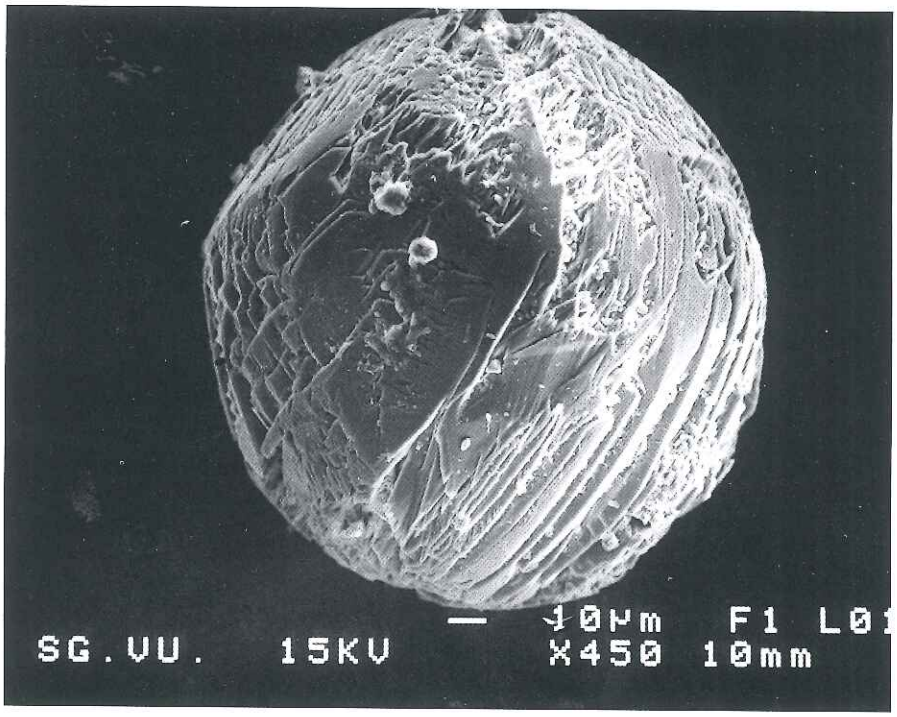


Figura 7.–Foto, sacado con un microscopio electrónico de barrido, de una pequeña esfera de piroxeno cristalino (una microcristita) procedente del límite Cretácico-Terciario del sondeo 577 del Deep Sea Drilling Proyect. Esferas de este tipo también se han encontrado en Agost, Caravaca y Zumaya, pero allí han sido transformadas en un material totalmente distinto, aunque manteniendo su estructura original.

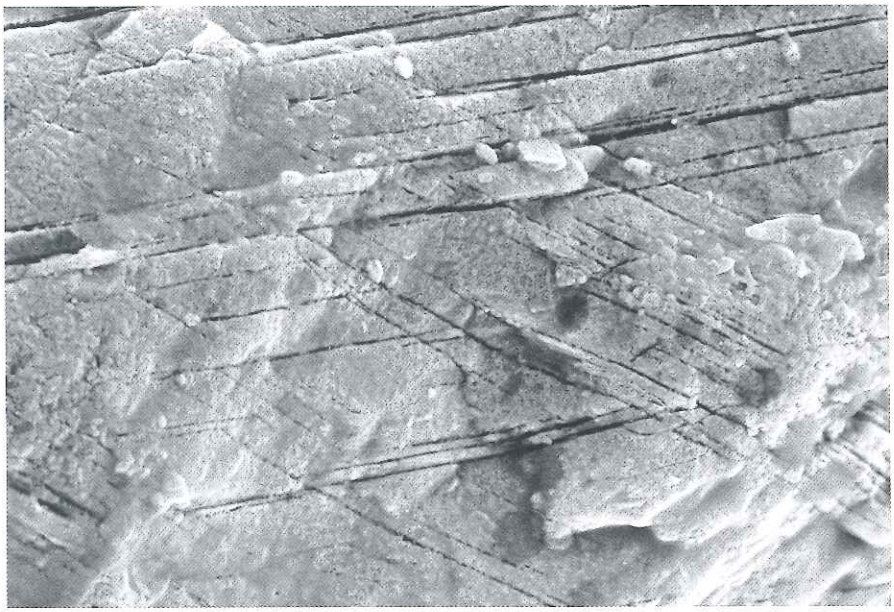


Figura 8.–Imagen fuertemente ampliada de un pequeño cristal de cuarzo con fenómenos de choque, registrada con un microscopio electrónico de barrido. Se pueden observar claramente las láminas cruzadas de diferente composición.

El lugar del impacto

La extinción de los organismos pelágicos coincide, pues, exactamente con la intercalación de impacto. Sin embargo, un gran impacto en alguna parte de la Tierra, tendría que haber dejado algo más que la materia enriquecida en iridio. Al fin y al cabo, también se ha demostrado la presencia de iridio en los gases ricos en fluor, producidos durante una erupción del volcán Kilauea, y aunque las concentraciones eran muy bajas, ya no se puede excluir por completo a un volcán como la fuente del iridio.

Sin embargo, en la intercalación que se estudió en Caravaca y Agost, se encuentra más material, y esta vez procedente del mismo lugar del impacto, como había sido pronosticado por los especialistas. En las muestras, se encontraron millones de pequeñas esferas, que casi siempre tenían el mismo tamaño y forma. En un principio, pensamos que se trataba de microtectitas, pequeñas esferas de vidrio, que se han encontrado cerca de los impactos conocidos de meteoritos. Estas tectitas son los restos de la zona del impacto, que a causa de éste se han fundido y han salido disparadas violentamente del cráter. Superficialmente, las esferas encontradas en Caravaca y Agost son parecidas a las tectitas; sin embargo, no son de vidrio, sino de un material variable y cristalino, frecuentemente el feldespato, cuya forma había sido heredada de otro material cristalino, el clinopiroxeno (**Fig. 7**). Varios procesos edáficos han afectado a las pequeñas esferas originales a lo largo del tiempo y las han transformado en materiales diferentes.

No fue antes de 1987, cuando se encontró algo del material original en el límite Cretácico-Terciario, en el sondeo 577 del DSDP, en el Océano Pacífico. Se sabe ahora, que estos pequeños cuerpos se han formado mediante la condensación del vapor o de la nube de polvo, que se levantó tras el impacto.

En el límite Cretácico-Terciario de Caravaca se han encontrado, además, pequeños cristales de cuarzo que han sido deformados por una fuerte onda de choque. Estos cristales también se han encontrado en verdaderos cráteres de meteoritos y se desconocen de los volcanes. Su principal característica consiste en contener unas láminas extremadamente finas (**Fig. 8**), que poseen una estructura un poco diferente del resto de los cristales. Las láminas de choque se forman tan sólo a partir de unas presiones de choque de entre 30 y 90 GPa. Tales presiones, pero con carácter hidrostático, existen en la Tierra a partir de una profundidad de trescientos kilómetros. Los cristales de choque más grandes se han encontrado en el Oeste de los Estados Unidos, mientras que en otros lugares son de menor tamaño. Esto ha sido uno de los

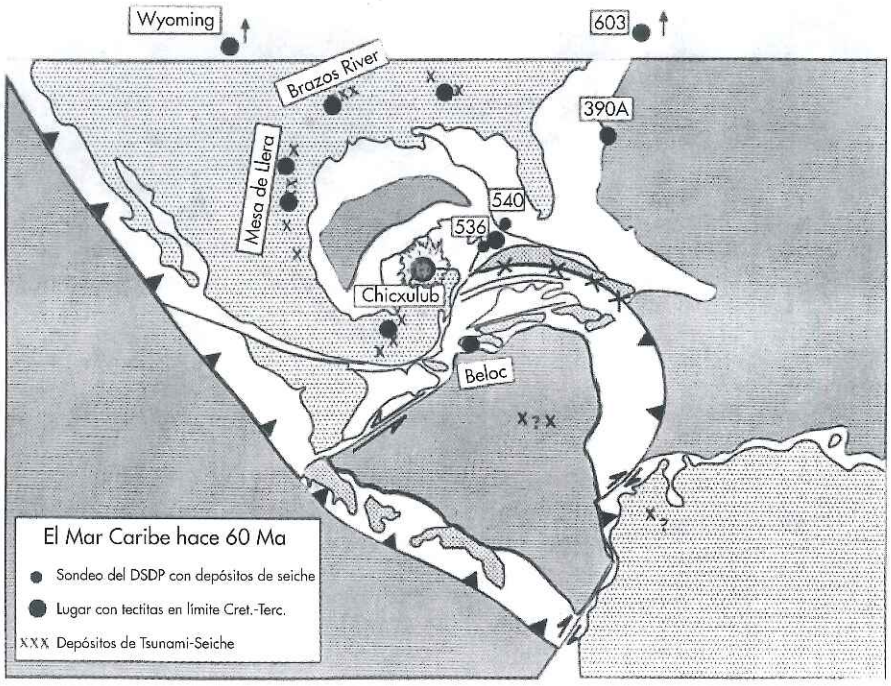
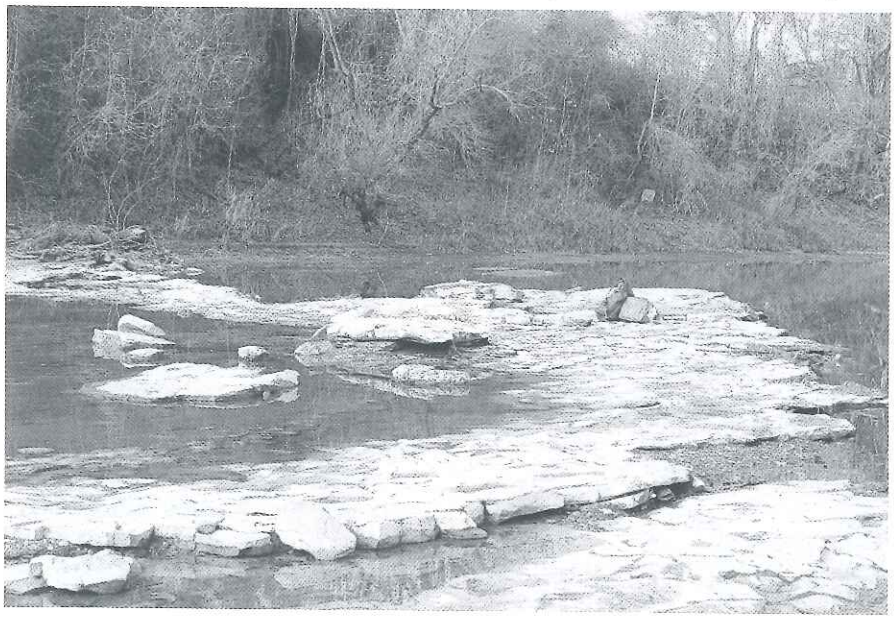


Figura 9.–Mapa del aspecto de Centro América, hace 60 millones de años. La placa tectónica, en la cual están situadas Haití y las Antillas, que en nuestra época está situada a unos 1.000 kilómetros más hacia el este, se encontraba relativamente cerca de Yucatán. Se ha indicado los lugares donde se han encontrado los sedimentos producidos por los maremotos (tsunami y seiche), y las acumulaciones de tectitas. Los sedimentos de maremotos están limitados al Golfo de México y sus alrededores.



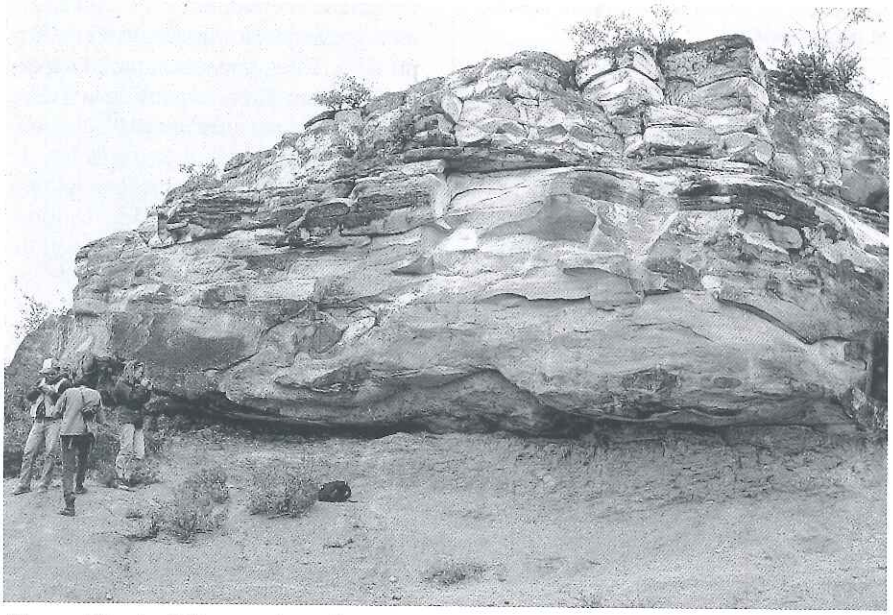


Figura 10 a b.–El banco de sedimentos de maremoto en el Río Brazos, Texas (a), y Rancho Nuevo, prov. de Tamaulipas, México (b). La arenisca de Rancho Nuevo tiene una potencia de 6 metros. Los bancos están compuestos, en gran parte, por el material que el maremoto arrastró de la antigua costa y que se depositó después en el fondo del mar.

principales motivos para llevar la búsqueda del lugar del impacto hacia América.

De momento dejamos España y proseguimos el estudio en América del Norte (**Fig.9**). La intercalación del impacto se encontró en América del Norte con bastante rapidez, pero no en sedimentos marinos, sino terrestres, con restos de dinosaurios. La capa tiene, en las abundantes turberas locales, una potencia de hasta 2 cm, notablemente superior que en España y otros lugares.

En 1981 se encontró en el cauce del Río Brazos, cerca de Houston (Texas), donde antiguamente se extendía el Golfo de México, un estrato de arenisca en lugar de uno arcilloso (**Fig. 10**). La arenisca indica un nivel energético alto, y hasta entonces, éste era el único lugar del Mundo donde había sido hallado este fenómeno. Este descubrimiento nos ha llevado a especular sobre la presencia de grandes maremotos, provocados por el impacto del meteorito (Smit, 1985 #2564).

Finalmente, se localizaron también verdaderas tectitas en el límite Cretácico-Terciario en América. Al principio, se encontraron nuevamente los pequeños cuerpos esféricos, dañados y transformados, pero finalmente aparecieron las tectitas vidriosas, cerca de Béloc en la isla de Haití, en el Mar Caribe (**Fig. 10**). Dado que el tamaño de las tectitas era mayor cerca de Haití que en los Estados Unidos, el impacto debió tener lugar en Centroamérica.

La composición del vidrio de las tectitas, que ha quedado inalterada desde hace 65 millones de años, contiene la clave para localizar el lugar del impacto. No cabe duda, que ambos tienen que tener una composición química idéntica. Existían varias alternativas para el lugar del impacto. Alan Hildebrand sugerió una localización en el Mar Caribe, y otra cerca de Cuba. Sin embargo, teniendo en cuenta la composición del vidrio de las tectitas de Béloc, ninguna de ellas reunía las condiciones apropiadas.

Por casualidad, mediante un periodista, Hildebrand entró en contacto con un geólogo de PEMEX, llamado Glen Penfield. Hace años, éste había sugerido, aunque sin dar mucha importancia al tema, que en el subsuelo de Yucatán se podría hallar un gran cráter de meteorito. En este lugar, durante unos estudios petrolíferos, PEMEX ya había perforado, en tres ocasiones, una masa rocosa, conocida como la andesita de Mérida, a una profundidad de un kilómetro y medio. La andesita es una roca volcánica, común en América del Norte y Sur. Inicialmente se creyó, que la mayoría de las muestras de aquellos sondeos se habían perdido a causa de un incendio en un almacen. No obstante, aparecieron varias muestras en buen estado, que han sido examinadas intensivamente en muchos laboratorios, al igual que las tectitas de Béloc. Una comparación de los análisis de las tectitas de Béloc y de la andesita de Chicxulub, muestra claramente que ambas tienen el mismo origen y exactamente la misma edad (65 +/- 0.05

La «andesita de Mérida» era una masa rocosa, que se había solidificado en el fondo del gigantesco cráter

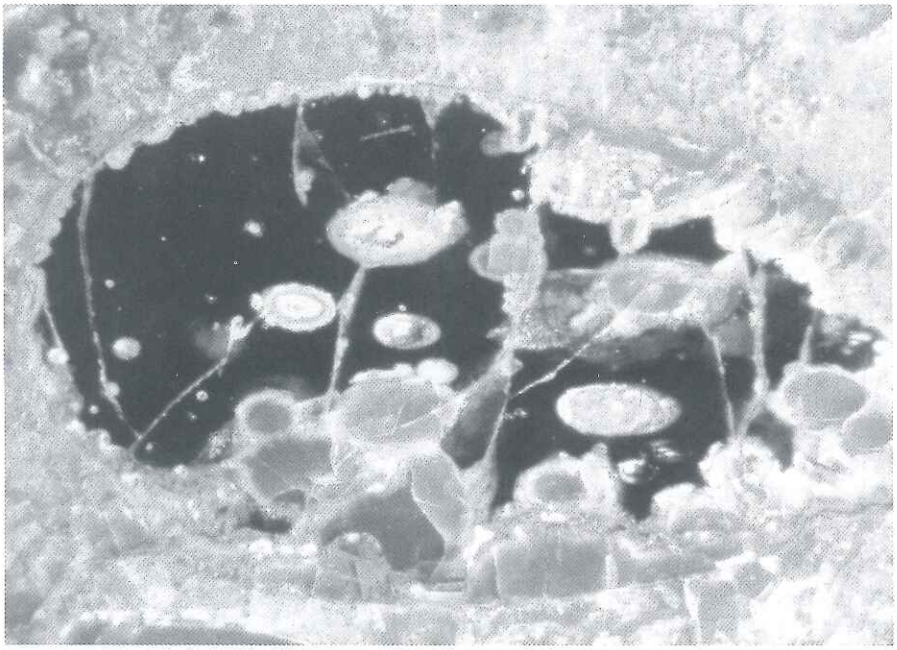


Figura 11.–Foto de una tectita de Béloc, Haití. La parte oscura es vidrio, en el que se pueden distinguir varias burbujas de aire alargadas. El borde de la masa de vidrio ha sido transformado en un mineral de arcilla verdoso.

millones de años). La «andesita» no era una lava andesítica, sino una masa rocosa solidificada, que se había formado en el fondo del gigantesco cráter, a causa de la energía del impacto del meteorito. En esta roca se encuentran trozos con los mismos cristales de cuarzo de choque que se han encontrado en otros lugares. Además, el contenido en iridio es mucho más alto que el de las lavas de los volcanes de andesita.

El efecto invernadero

Si con esto se puede afirmar que exactamente en el límite Cretácico-Terciario se produjo un enorme impacto de meteorito en Yucatán, todavía queda la pregunta acerca del porqué se extinguieron todas esas especies de animales. Para contestarla, tenemos que establecer una relación entre la composición específica del subsuelo de Yucatán y los datos que reflejan cambios de temperatura del agua marina. Con este fin, regresamos a España. Caravaca y Agost están muy alejados del cráter de Chicxulub y por esta razón, el fondo del antiguo mar del sur de España no se vio afectado. Esto nos permite seguir los acontecimientos a distancia, de un estrato a otro (**Figs. 2, 5**).

Los esqueletos de calcio, que se depositan en el fondo del mar, tienen una proporción específica de los dos isótopos de oxígeno, ^{18}O y ^{16}O, quedando la proporción en la que ambos son almacenados en los esqueletos determinada por la temperatura del agua del mar. En Caravaca y Agost se comprobó, que la temperatura de la superficie de los océanos, donde vive el plancton, subió al menos 10ºC, directamente después de la sedimentación de la intercalación del impacto. Seguramente, estas altas temperaturas se han mantenido durante varios miles de años. No se ha podido comprobar si, antes de la subida de la temperatura del agua, se produjo una fuerte bajada de la temperatura atmosférica durante varios meses, por ejemplo a causa del polvo levantado.

¿Por qué subió la temperatura? Cuando se produjo el impacto, el substrato de Yucatán estaba compuesto por un paquete de calizas con una potencia de 3 kilómetros. No existen muchos lugares en la Tierra donde se encuentran formaciones calcáreas tan potentes, y que el meteorito fuese a caer justamente allí, se puede considerar como una casualidad (des)afortunada. Alrededor del 40 % de las rocas calcáreas está formado por el CO_2, un gas que produce el «efecto invernadero», y que fue liberado en la atmósfera por la enorme energía del impacto. Debido a la desaparición de los organismos que almacenen el CO_2 en sus esqueletos de calcio, como los corales y los organismos planctónicos, el excedente de CO_2 ya no podía reducirse. Así, la atmósfera de la Tierra permaneció durante varios miles de años bajo el efecto invernadero, lo que, a su vez, causó la subida de la temperatura del agua en la superficie de los océanos. Probablemente fuese esto lo que provocó la verdadera extinción de estos animales. ■

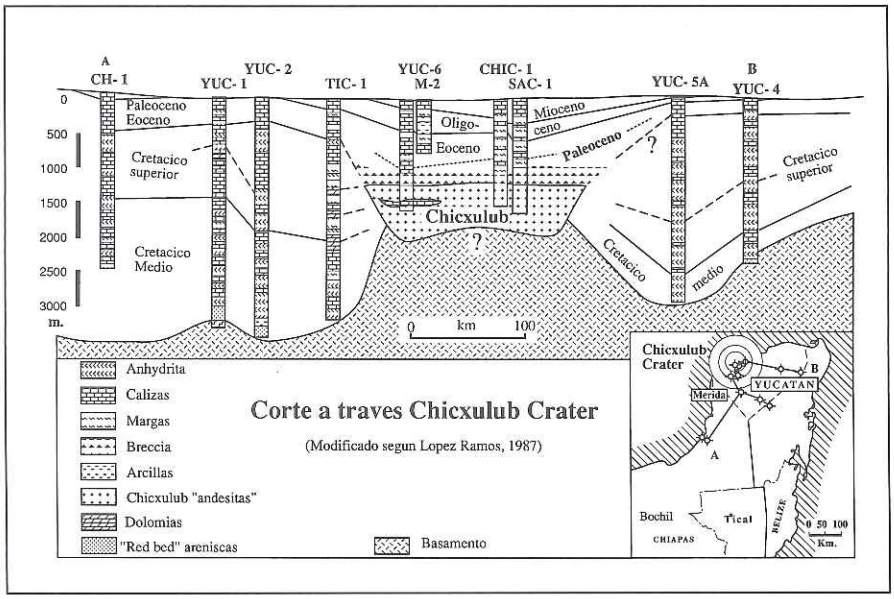


Figura 12.–Corte por la península de Yucatán y el cráter de Chicxulub (escala vertical muy exagerada). Los sondeos Yucatán-6 (YUC-6), Chicxulub-1 (CHIC-1) y Sacapuc-1 (SAC-1) han alcanzado el material fundido durante el impacto, que inicialmente ha sido descrito como una "andesita".

NORMAS EDITORIALES PARA "TIERRA Y TECNOLOGIA"

- La **temática de los artículos** deberá estar relacionada, en cuanto a contenido, con las Ciencias y Tecnologías de la Tierra, en el sentido amplio de la palabra; considerando incluibles campos como las Ciencias Medioambientales, la Ordenación del Territorio, la Informática aplicada, la Teledetección, etc. Así mismo, serían aceptables todas aquellas contribuciones de temática no específicamente geológica, pero que incorporen elementos propios de la Geología o cuyo desarrollo pueda aportar conocimientos de interés para ésta, tales como la Arqueología, la Ecología, la conservación del medio ambiente y del patrimonio natural, histórico y artístico, la Ingeniería Civil, etc. Igualmente, sería posible la incorporación de artículos de carácter histórico, geográfico, humanístico, etc. de aplicación no eminentemente práctica, pero que puedan suscitar interés entre el colectivo de geólogos y otros profesionales con los que mantenemos estrechas relaciones.

- La **extensión** no será superior, siempre que sea posible, a 8 hojas DIN A-4 mecanografiadas a doble espacio por una sola cara (equivalente a unas 3.500 palabras) y enumeradas correlativamente. Debe incluirse un breve curriculum del autor o autores, indicando además: nombre y dos apellidos, titulación, empresa u organismo que representa (cuando no se haga a titulo particular) y cargo desempeñado.

- Se incluirá, con el artículo, un breve **resumen** del contenido del mismo en un máximo de 10 líneas en castellano e inglés, si es posible.

- Se seleccionaran unos **4 párrafos entresacados** del texto, que resaltarán los aspectos más significativos del artículo, adjuntándolos en una hoja aparte y numerados por orden.

- Las **figuras** ilustrativas del contenido del artículo (fotografías, gráficos, esquemas, mapas, etc.) se entregarán preferiblemente en forma de diapositiva o como copia de papel lo más nítido posible, evitando una coloración en base a lápices de colores. Las ilustraciones irán numeradas por orden y con su correspondiente texto explicativo. Igualmente en el texto de éste se indicará la figura o gráfico que corresponda.

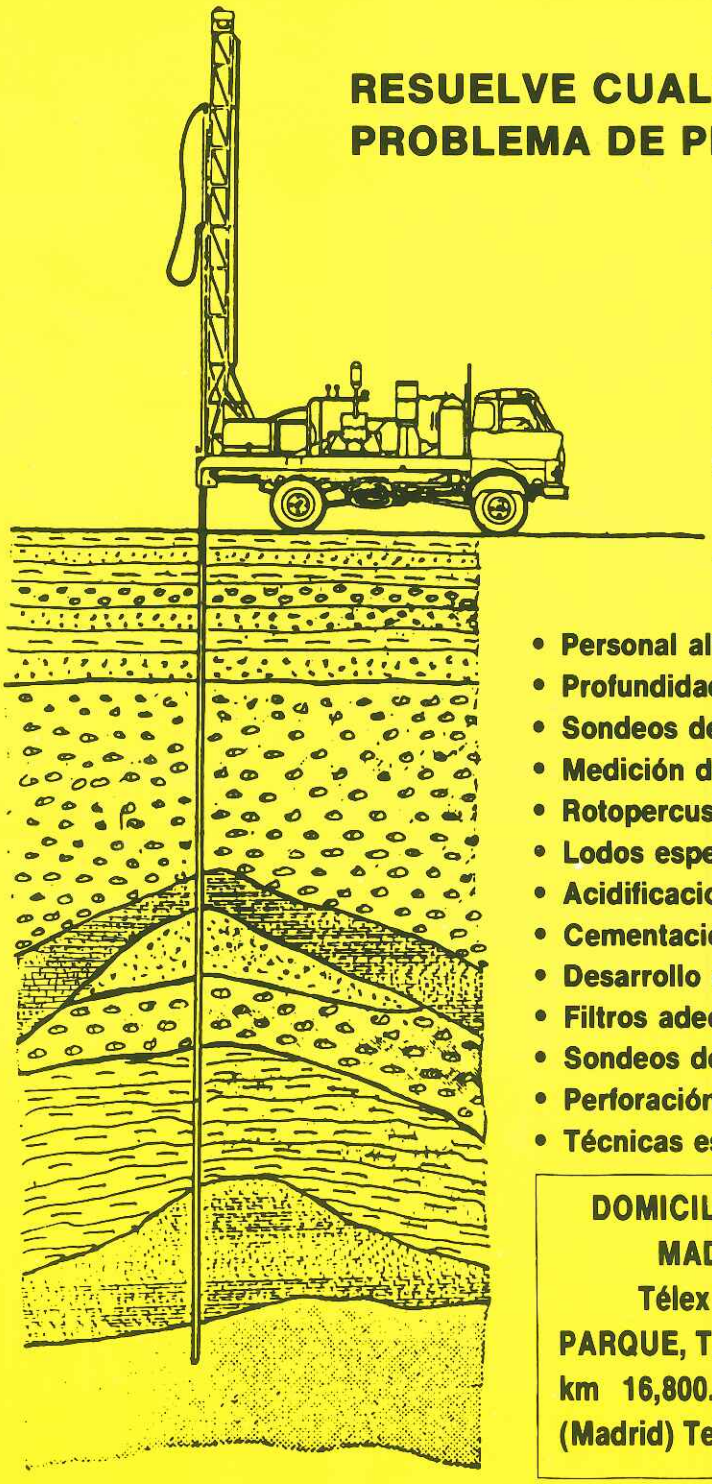
- El artículo deberá ser **inédito**, es decir, no haber sido publicado en España o en el extranjero, excepto en aquellos casos que así se acuerde.

- Es conveniente que se facilite un índice previo del artículo a elaborar, con el fin de conocer el contenido y así poder evaluar el interés del mismo para su publicación. El trabajo definitivo deberá contar con la **aprobación del Comité Editorial** de la Revista, trámite imprescindible para su publicación.

- Los artículos se entregarán en **copia de papel** y, siempre que sea posible, en **diskette**.

IBERICA DE SONDEOS, S.A.

al servicio de la perforacion desde 1954



RESUELVE CUALQUIER PROBLEMA DE PERFORACION

— MINERIA
— GEOTECNIA
— ALUMBRAMIENTO DE AGUA
— ESTRATIGRAFICOS
— GEOTERMIA
— EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES
— ESPECIALES, ETC.

- **Personal altamente experimentado**
- **Profundidades hasta 2.500 m.**
- **Sondeos de gran diámetro.**
- **Medición de inclinación orientada.**
- **Rotopercusión a alta presión.**
- **Lodos especiales.**
- **Acidificaciones.**
- **Cementaciones.**
- **Desarrollo de acuíferos.**
- **Filtros adecuados a cada sondeo.**
- **Sondeos de investigación verticales o inclinados.**
- **Perforación con aire comprimido.**
- **Técnicas especiales, etc.**

DOMICILIO SOCIAL: López de Hoyos, 13, 1º.
MADRID-28006. Telf. 91-261 08 07*.
Télex 45877 ISON-E. Fax 91-261 88 94
PARQUE, TALLERES y ALMACEN: Ctra. de Toledo, km 16,800. Pol. Ind. Acedinos FUENLABRADA (Madrid) Telf. 690.15.35-690.93.12 Fax. 91-690.93.12

COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS

INVESTIGACION DE FUTURO

La naturaleza, la geología y también los laboratorios, las torres de perforación y la alta tecnología son parte del entorno habitual de los trabajos de CGS.

Porque investigar y utilizar los recursos naturales debidamente es colaborar al conocimiento y respeto de la Naturaleza.

Con visión de futuro.

Bajo esta filosofía acometemos en CGS actividades tales como:

- GEOLOGIA BASICA Y TEMATICA
- EXPLORACION MINERA
- HIDROGEOLOGIA
- HIDROLOGIA E HIDRAULICA
- ESTUDIOS DE MEDIO AMBIENTE
- GEOTECNIA
- SONDEOS
- GEOFISICA
- LABORATORIOS

CGS
Corazón de María, 15 • 28002 Madrid • Tel: (91) 416 85 50 • Fax: (91) 519 32 37

CEPSA
TECNOLOGIA INTELIGENTE