

Coastal Zone
Information
Center



MARINE ECOSYSTEMS ANALYSIS PROGRAM

Oficina de Programacion para el Analisis
de Ecosistemas Marinos

September 1976

COASTAL ZONE
INFORMATION CENTER



09790

NOV 18 1976

Septiembre 1976

The METULA Oil Spill

El Derramamiento Petrolífero
Del METULA

Charles G. Gunnerson
George Peter



J.O. A.A. E.R.L.

TD
195
.P4
G86
1976

DEPARTMENT OF COMMERCE
Oceanic and Atmospheric Administration
National Research Laboratories

NOAA Special Report



The METULA Oil Spill

El Derramamiento Petrolífero Del METULA

Property of CSC Library

**Charles G. Gunnerson
George Peter**

U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE NOAA
COASTAL SERVICES CENTER
2234 SOUTH HOBSON AVENUE
CHARLESTON, SC 29405-2413

**U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
Elliot Richardson, Secretary**

**National Oceanic and Atmospheric Administration
Robert M. White, Administrator**

**Environmental Research Laboratories
Wilmot Hess, Director**



**Boulder, Colorado
September 1976
Septiembre 1976**

CONTENTS

Abstract	1
1. Introduction	1
2. Background	4
3. Physical Geography	8
4. Environmental Observations	11
4.1 August-September 1974 Observations	12
4.2 January 1975 Observations ..	15
5. Cleanup Considerations	23
6. Lessons Learned from the <i>METULA</i> Oil Spill	25
7. Research Needs	26
8. Research Plan	28
8.1 Physical Oceanography and Geology	28
8.2 Biology	29
8.3 Hydrocarbon Chemistry	30
8.4 Operations Research	30
9. Summary	31
10. Acknowledgments	31
11. Bibliography	32
APPENDIX A: Workshop Attendees ..	34
APPENDIX B: Reports on the <i>METULA</i> Oil Spill Abstracts	36
Full Text on Microfiche	Inside back cover

INDICE

Resumen	1
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
3. Geografía Física	8
4. Observaciones Ambientales	11
4.1 Observaciones entre agosto y septiembre de 1974	12
4.2 Observaciones en enero de 1975 ..	15
5. Consideraciones de Limpieza	23
6. Conocimientos Adquiridos a través del Derramamiento Petrolífero del <i>METULA</i>	25
7. Necesidad de Investigaciones	26
8. Plan de Investigación	28
8.1 Oceanografía Física y Geología	28
8.2 Biología	29
8.3 Química de Hidrocarburos	30
8.4 Investigaciones Operacionales	30
9. Sumario	31
10. Reconocimiento	31
11. Bibliografía	32
APENDICE A: Asistentes a la mesa redonda ..	34
APENDICE B: Informes Sobre el Derramamiento Petrolífero del <i>METULA</i>	
Títulos de los publicaciones	36
Microfiche	Dentro del cubierto atrás

Figures

Figure 1. Map of Patagonia, Tierra del Fuego, and the Strait of Magellan	2
Figure 2. VLCC <i>METULA</i> grounded in the Strait of Magellan	3
Figure 3. VLCC <i>METULA</i> tank layout ..	5
Figure 4. Oil in the Strait of Magellan and on the beaches between August 20 and October 10, 1974	7
Figure 5. Locations of selected oceanographic stations in the Strait of Magellan	10
Figure 6. Topographic cross sections of the eastern half of the Strait of Magellan	11
Figure 7. Impacted beaches, August-September 1974	13
Figure 8. Oil stringer on the beach face	16
Figure 9. Cormorant covered with oil ..	16
Figure 10. Impacted beaches, January 1975	19
Figure 11. Mousse and sand-rock mixture	16
Figure 12. Oil penetration into beach sand	17
Figure 13. Mousse and oil on upper beachface	16
Figure 14. Mousse and oil patches around rocks at base of beach	17
Figure 15. Oil in eastern estuary	17
Figure 16. Oil in tidal channel	17
Figure 17. Clumps of healthy mussels.	17
Figure 18. Mousse-covered mussels....	17

Figuras

Figura 1. Mapa de la Patagonia, Tierra del Fuego, y el Estrecho de Magallanes	2
Figura 2. El VLCC <i>METULA</i> encallado en el Estrecho de Magallanes	3
Figura 3. Esquema del tanque VLCC <i>METULA</i>	5
Figura 4. Petróleo en el Estrecho de Magallanes y en las playas, tomadas entre el 10 de agosto y el 10 de octubre 1974	7
Figura 5. Ubicaciones de estaciones oceanográficas selectas en el Estrecho de Magallanes	10
Figura 6. Secciones transversales topográficas del costado oriental del Estrecho de Magallanes	11
Figura 7. Playas afectadas, agosto-septiembre, 1974	13
Figura 8. Ristra de petróleo por la superficie de la playa	16
Figura 9. Corvejón cubierto de petróleo	16
Figura 10. Playas afectadas, enero, 1975	19
Figura 11. Mexcla de piedras y arena con "mousse"	16
Figura 12. Penetración del petróleo en los sedimentos de la playa	17
Figura 13. Espuma y petróleo sobre la superficie superior de la playa	16
Figura 14. Espuma y charcos de petróleo alrededor de las piedras al pie de la playa	17
Figura 15. Petróleo en el estuario oriental	17
Figura 16. Petróleo en los canales de las mareas	17
Figura 17. Colonias de mejillones sanos	17
Figura 18. Colonias de mejillones cubiertos de petróleo	17

Tables

Table 1. Seawater temperature obser-	
vations in the Strait of Magellan	
in February 1964	9
Table 2. Tidal stations and data in the	
Strait of Magellan east of Punta	
Arenas	9
Table 3. Analyses of sediment sam-	
ples in the area of the <i>METULA</i>	
oil spill	20
Table 4. Relationship between living	
and dead invertebrates and oil pol-	
lution in the Magellan Strait	22

Tablas

Tabla 1. Observaciones de la temperatura de	
las aguas del mar en el Estrecho de	
Magallanes en febrero 1964	9
Tabla 2. Estaciones de observación de las	
mareas y datos en el Estrecho de Maga-	
llanes al este de Punta Arenas	9
Tabla 3. Análisis de muestras de sedimento	
en la zona del derramamiento petrolífero del	
<i>METULA</i>	20
Tabla 4. Relación entre los invertebrados	
muertos y vivos y la contaminación pet-	
rolifera en el Estrecho de Magallanes	22

The *METULA* Oil Spill Environmental Impact & Research Needs

C.G. Gunnerson & G. Peter

ABSTRACT

In August 1974 the supertanker *METULA* ran aground in the Strait of Magellan and spilled over 50,000 tons of light Arabian crude oil. The spill was not contained and the oil was carried over large segments of beaches and tidal marshes of Tierra del Fuego, and deep into the estuaries of the area. Findings of a team of scientists from the United States and Chile, who investigated the environmental damage in August 1974 and again in January 1975, and of others who discussed the spill at a workshop, are summarized. Included are the background of the accident, the physical environment, the reasons why cleanup measures were not attempted, and the most important follow-up research needs. The research results will be used to identify critical environmental information that can be transferred for use in planning and for predicting environmental impacts in other similar areas of the world.

El Derramamiento Petrolífero del *METULA* Impacto Ambiental y Necesidades de Investigaciones

C.G. Gunnerson & G. Peter

RESUMEN

En agosto de 1974 el superbuque petrolero *METULA* encalló en el Estrecho de Magallanes y derramó en el mar más de 50.000 toneladas de un petróleo liviano crudo de origen árabe. El derrame no se contuvo y el petróleo fue a cubrir grandes secciones de playas y marismas de la región de Tierra del Fuego, llegando a penetrar hasta los estuarios de la región. A continuación se da un resumen de los conocimientos adquiridos por un equipo de científicos de los Estados Unidos y Chile, quienes investigaron los daños ambientales en agosto de 1974 y nuevamente en enero de 1975, así como también los informes de otros investigadores que trataron el asunto del derrame en una mesa redonda. Se incluyen los antecedentes del accidente, el ambiente físico, las razones por las cuales no se llevaron a cabo las medidas de limpieza, y las necesidades más importantes de otras investigaciones prosiguientes. Los resultados de dichas investigaciones serán utilizados a fin de identificar con sentido crítico información ambiental que podrá reportarse y emplearse en la planificación y previsión de impactos ambientales que pudieran ocurrir en otras áreas similares del mundo.

1. INTRODUCTION

Ten months after the Royal Dutch Shell supertanker *METULA* ran aground in the Strait of Magellan, a workshop was held in Boulder, Colorado, to review current knowledge about the fate and environmental impact of the oil spill. The workshop was conducted by the Marine Ecosystems Analysis (MESA) Program Office, a unit within the Environmental Research Laboratories of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), on June 24–25, 1975. Under the provisions of Public Law 92-532, NOAA conducts studies of the fate and effects of pollutants in the marine environment. A-

1. INTRODUCCION

A los diez meses de haber encallado el superbuque petrolero *METULA*, de la Shell Real Holandesa, en el Estrecho de Magallanes, se verificó una mesa redonda en Boulder, Colorado, con el propósito de revisar los conocimientos actuales acerca del destino e impacto ambiental del derramamiento petrolífero. Dicha mesa redonda se llevó a cabo durante los días 24 y 25 de junio de 1975, habiendo sido patrocinada por la Oficina de Programación para el Análisis de Ecosistemas Marinos (Marine Ecosystems Analysis Program Office—MESA), entidad ésta que forma parte de los Laboratorios para la Investigación Ambiental (Environmental Research Laboratories) de la Administración Nacional de Asuntos Oceánicos y Atmosféricos (National Ocea-

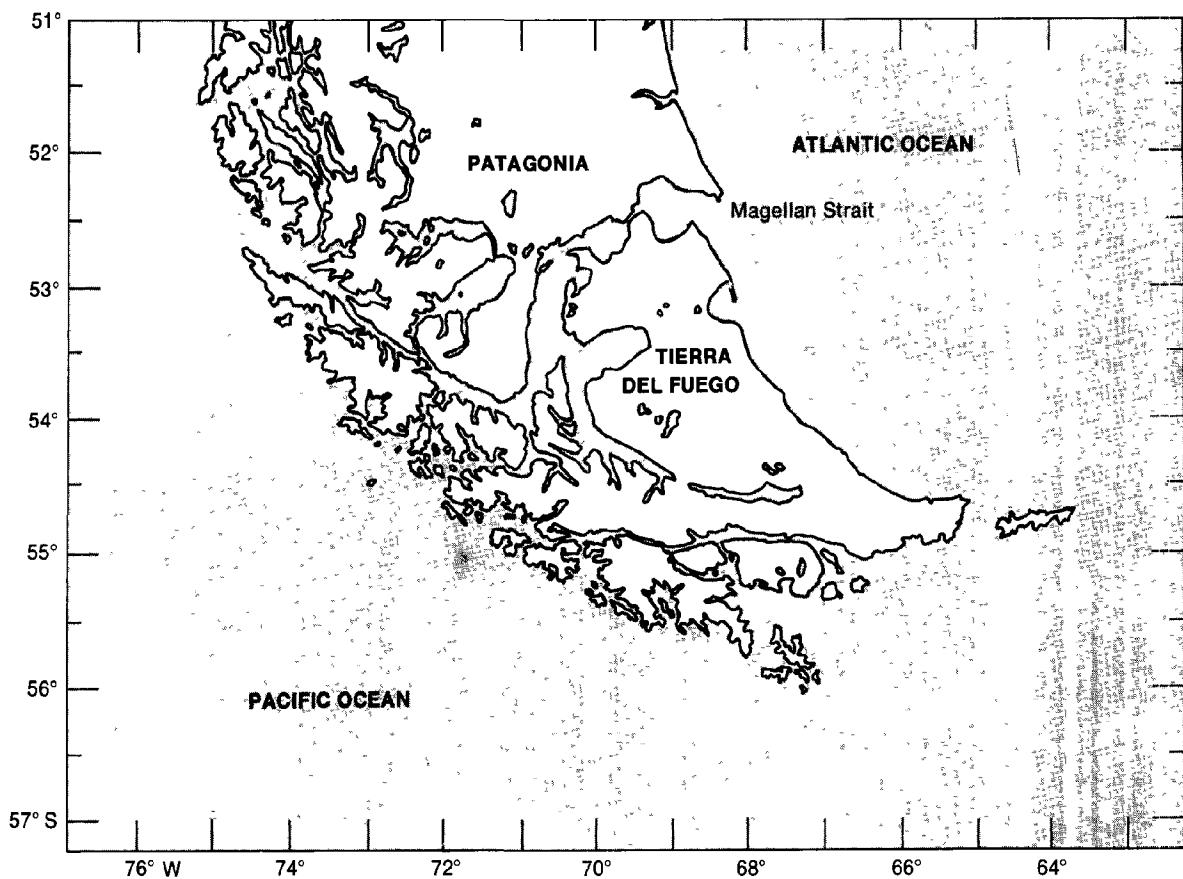


Figure 1. Map of Patagonia, Tierra del Fuego, and the Strait of Magellan.

mong these activities are environmental baseline studies related to oil development on the continental shelf. One of the major oil development areas is the Alaskan north slope; that area and the tanker routes from there to the United States west coast are dominated by a cold water environment. The Strait of Magellan (Fig. 1) is generally similar to a number of locations along these, including the Strait of Juan de Fuca, northern Puget Sound, and Georgia Strait, where there will be increasing amounts of oil transported. The *METULA* oil spill in the Strait of Magellan, therefore, provides a unique opportunity to study the fate and effects of petroleum in a cold water marine ecosystem, and knowledge gained there can be applied to boreal waters directly under NOAA's concern.

The workshop was organized to review the results of two reconnaissance field investigations in the oil spill area; to identify follow-on research needs which would pro-

Figura 1. Mapa de la Patagonia, Tierra del Fuego, y el Estrecho de Magallanes.

nic and Atmospheric Administration—NOAA). Conforme a las disposiciones de la Ley Pública No. 92-532, la NOAA administra estudios efectuados sobre el destino y los efectos de contaminadores en el ambiente marítimo. Entre estas actividades figuran estudios ambientales de línea básica relacionados al desarrollo de la explotación petrolífera sobre la plataforma continental. Una de las principales áreas para el desarrollo del petróleo es el talud septentrional de Alaska; esa área y las rutas de los buques petroleros desde allí hacia los Estados Unidos son zonas dominadas por un ambiente de aguas frías. El Estrecho de Magallanes (Fig. 1.) por lo general es similar a una serie de lugares ubicados a lo largo de estas rutas, tales como el Estrecho de Juan de Fuca, el sector norte de Puget Sound y el Estrecho de Georgia, en donde se habrá de incrementar el transporte de petróleo. De ahí que el derramamiento petrolífero del *METULA* en el Estrecho de Magallanes provee una oportunidad única de estudiar el destino y los efectos del petróleo derramado en un ecosistema marino de aguas frías. Los conocimientos adquiridos a través de dichos estudios pueden aplicarse a las aguas septentrionales

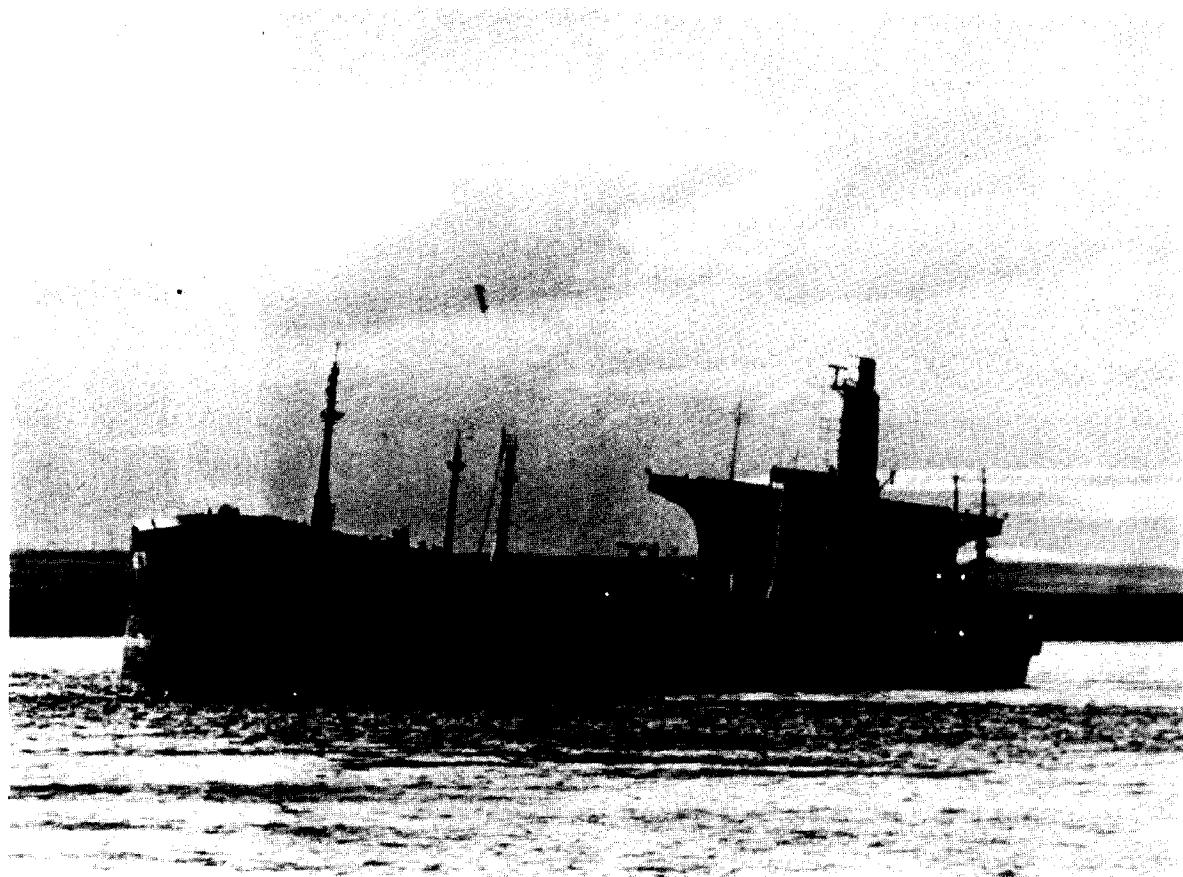


Figure 2. VLCC *METULA* grounded in the Strait of Magellan.

vide information transferable to other areas; and to identify United States, Chilean, and international agencies or institutions whose missions provide for participation, support, information exchange, or other cooperation in future research. Participants included representatives from U. S. Federal agencies, universities, and industry; the Government of Chile, University of Chile, and the Patagonian Institute; and the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

This report contains a general background on the oil spill and the physical setting of the area; it describes the findings of the two field surveys and the hydrocarbon analyses of sediment and tissue samples; and summarizes the lessons learned from the oil spill. Based on discussions and recommendations of the workshop participants, scientific research needs have been developed and summarized herein.

Figura 2. El VLCC *METULA* encallado en el Estrecho de Magallanes.

directamente bajo el interés de la NOAA.

La mesa redonda fue organizada a fin de reexaminar los resultados de las dos investigaciones exploratorias de campo en el área del derramamiento petrolífero; para determinar las necesidades de investigaciones prosiguientes que pudieran proporcionar información trasladable a otras áreas; y para identificar las agencias o instituciones estadounidenses, chilenas o internacionales cuyas misiones hacen provisiones para la participación, sostenimiento y el intercambio de información, u otros esfuerzos cooperativos de investigación futura. Entre los participantes se incluyeron representantes de agencias federales de los Estados Unidos, de universidades y de entidades industriales; asimismo participaron el Gobierno de la República de Chile, la Universidad de Chile, y el Instituto de la Patagonia; también, la Organización Educativa, Científica y Cultural e las Naciones Unidas.

Este informe contiene los antecedentes del derramamiento petrolífero y del escenario físico del área; él describe los hallazgos de las dos investigaciones de campo, y los análisis de hidrocarburos del sedimento y de las muestras de tejidos, y resume las lecciones

2. BACKGROUND

The *METULA* (Fig. 2) is a 323-m (1,067 ft) long, 47-m (155 ft) wide, 210,027-ton* supertanker of the VLCC (Very Large Crude Carrier) class, with a loaded draft of 19 m (62 ft). It is owned by Curacao Tankers, a subsidiary of the Royal Dutch Shell group, and managed by Shell Tankers B.V., Rotterdam. In August 1974 the ship was under charter by Shell International Marine, London, to carry an FOB cargo from Ras Tanura, Saudi Arabia, on the Persian Gulf, to Quintero Bay, Chile, for the Empresa Nacional del Petroleo (ENAP), the Chilean National Petroleum Company. Thus the cargo belonged to ENAP, but was in the custody of Shell until delivery.

At 1020 p.m. local time (Greenwich +4) on August 9, 1974, the *Metula* loaded with about 197,000 tons of light Arabian crude oil, while westbound through the Strait of Magellan, ran aground on Banco Satelite at the west end of the First Narrows (latitude 52° 33.8'S; longitude 69° 42.1'W). The ship was steaming at nearly full speed of 26 km/hr (14.5 knots) when it struck bottom and came to a stop in about 80 m (260 ft)—an action later described as felt “like a shock wave” (ordinarily it takes approximately 5 km (3 miles) to stop a ship of this size). In the initial impact several forward compartments were breached (Fig. 3), and about 6,100 tons of oil were immediately released.

At first the ship held fast on her original grounding heading of 235° True, apparently resting on the area of the No. 2 cargo tank. However, on August 11, 1974, the stern was swept to starboard under the force of a strong flood tide current at high tide; the after end of the ship was grounded and reportedly held in three places. In about one hour the

adquiridas del derramamiento del petróleo. A base de los comentarios y recomendaciones de los participantes a la mesa redonda se han determinado las necesidades de investigación científica, de las cuales se dará un resumen a continuación.

2. ANTECEDENTES

El *METULA* (Fig. 2) es un superbuque petrolero que mide 323 metros de largo y 47 metros de ancho y con un peso total de 10.027 toneladas*; es un superbuque del tipo extragrande transportador de petróleo crudo (VLCC - Very Large Crude Carrier) con un calado, cargado, de 19 metros. Pertenece a la Compañía de Buques Petroleros de Curacao (Curacao Tankers), subsidiario, del grupo de la Shell Real Holandesa y administrado por Buques Petroleros Shell (Shell Tankers B.V.), Rotterdam. En agosto de 1974 el buque se encontraba fletado por la Shell Marina Internacional (Shell International Marine) de Londres, para transportar un cargamento, libre a bordo, desde Ras Tanura en la Arabia Saudita, Golfo Pérsico, hasta Bahía Quintero, Chile, a nombre de la Empresa Nacional de Petróleo, (ENAP). De manera que el cargamento pertenecía a la ENAP pero se hallaba bajo la custodia de la Shell hasta la entrega final.

A las 10:20 p.m. hora local (hora de Greenwich más 4) del día 9 de agosto de 1974, el *METULA* cargado de aproximadamente 197.000 toneladas de un liviano petróleo crudo de origen árabe y al encontrarse en marcha con rumbo al oeste por el Estrecho de Magallanes, encalló en el Banco Satélite en el extremo occidental de la Primera Angostura (latitud 52° 33.8'S; longitud 69° 42.1'O). El buque se hallaba navegando casi a toda velocidad, 26 km por hora, cuando repentinamente tocó el fondo y se detuvo en un espacio de 80 metros, maniobra ésta que posteriormente fue descrita como “una onda de choque” (por lo general se requieren aproximadamente 5 km para parar un buque de este tamaño). Al verificarse el primer impacto se abrieron brechas en varios compartimientos delanteros (Fig. 3) y en el acto unas 6.100 toneladas de petróleo fueron arrojadas al mar.

En un principio el buque se mantuvo firme sobre su encalladura original, con un rumbo de 235° Verdadero y, por lo visto, quedando apoyado sobre el área del tanque de cargamento número 2. No obstante, el 11 de agosto de 1974, la popa fue lanzada hacia estribor bajo

*Metric tons are used in this report. Multiply by 0.984 to obtain long tons.

*Se utilizan toneladas métricas en este informe. A fin de obtener toneladas largas, multiplicar por 0.984.

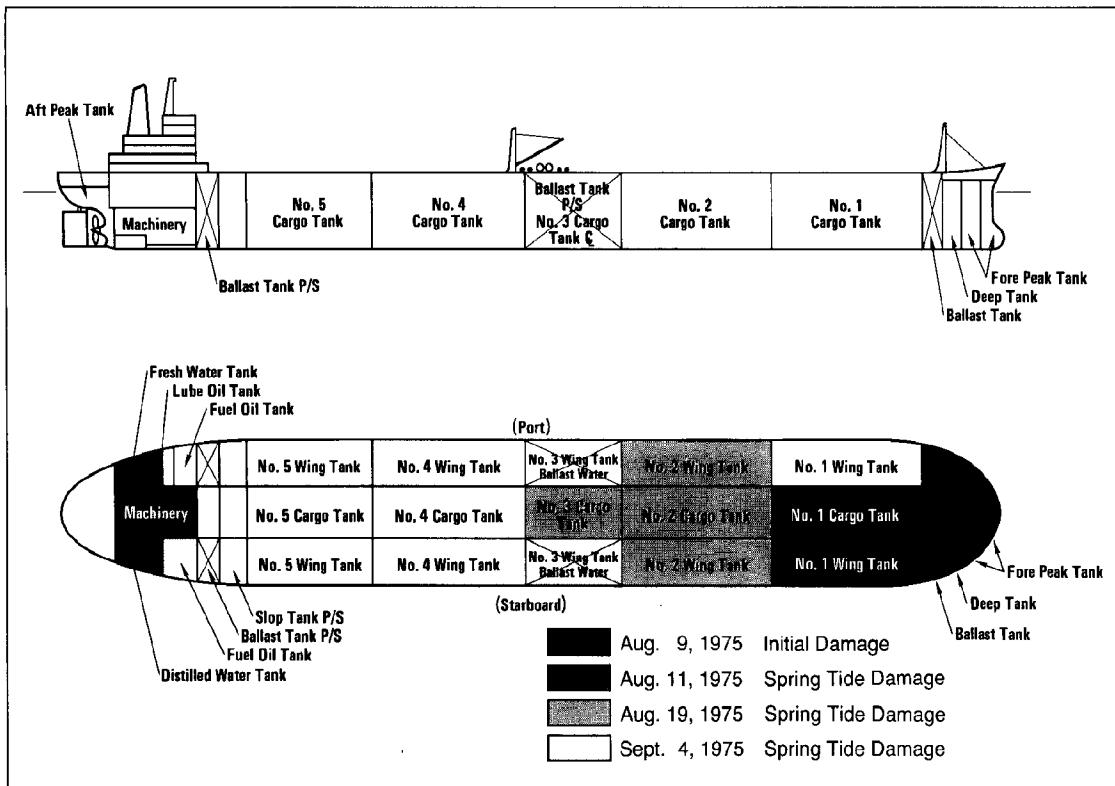


Figure 3. VLCC *METULA* tank layout (after Price, 1974)

engine room and steering engine room were filled with sea water, and the ship lost all power. It was held in place on the edge of a steep, rocky bank on a southern heading of about 185° True, which position was maintained thereafter despite hurricane force winds and cross currents running over 8 knots (see Physical Geography).

The loss of oil continued as more breaks in the hull were made by the action of spring tides and currents. Major oil releases occurred on August 19 and on September 4, when tidal forces damaged the ship's hull and opened additional tanks to the sea. In addition to these major spills, there were varying rates of oil seepage from the time of grounding through the refloat operations, seepage being most severe during lowest tides.

The owner's salvage forces arrived at the scene on August 15, 1974; the Chilean Government requested United States Government assistance on August 22, 1974, and the U.S. National Strike Force* team began operations in the area on August 27, 1974.

Figura 3. Esquema del tanque VLCC *METULA* (según Price, 1974).

la fuerza de una poderosa corriente de flujo de la marea, durante el pleamar; el extremo trasero del buque quedó encallado y según se informa, se mantuvo firme en tres lugares. En una hora, aproximadamente, se inundaron la cámara de máquinas y el cuarto del mecanismo de mando, causándole al buque la pérdida de toda fuerza motriz. Quedó firme en su lugar, situado sobre el margen de un precipicio de un banco pedregoso en un rumbo meridional de aproximadamente 185° Verdadero, cuya posición se mantuvo subsecuentemente no obstante los ventarrones con fuerza de huracán y las contracorrientes de más de 8 nudos por hora (véase Geografía Física).

A medida que se fueron abriendo más brechas en el casco del buque a consecuencias de las corrientes y mareas vivas, el petróleo siguió derramándose al mar. Los mayores derramamientos ocurrieron el 19 de agosto y el 4 de septiembre, época durante la cual las fuerzas de mareas estropearon aún más el casco del buque, ocasionando así que se abrieran más tanques de petróleo al mar. Además de estos derramamientos principales hubo rezumamiento en proporciones variables desde el momento de la encalladura hasta las operaciones de reflotación; los casos de rezumamiento fueron más graves durante las mareas más bajas.

The Chilean Navy provided logistics support, conducted bottom surveys near the grounded ship, participated in and oversaw the feasibility calculations involved in refloating the *METULA*, and maintained air surveillance of the pollution. Additionally, the Chilean Marines made assessments of beach pollution.

After about 51,000 tons of oil were transferred to smaller tankers and the ship was properly ballasted, the *METULA* was refloated and towed to safe anchorage on September 25, 1974. Offloading continued at the anchorage site and was completed by October 10, 1974.

Most of the oil was spilled during the first two weeks, and by August 22 the estimated loss was 41,000 tons. There was little leakage after the ship was refloated on September 25, and the actual oil lost in the Strait, as determined from the original cargo, the cargo offloaded and delivered to Quintero Bay, and the amount of oil left in the *METULA* (approximately 2,000 tons), was about 52,300 tons of crude plus an estimated 2,000 tons of Bunker C fuel oil.

The first part of the oil spill went ashore mostly in the First Narrows, the eastern portion of Bahia Felipe, and east of the First Narrows. Seen from the air, for the first few days it appeared to be breaking up rapidly under the action of currents and waves, whipped by frequent gale force winds. On August 20, the day after a particularly heavy loss of oil, oil slicks covered about 2,500 square kilometers (1,000 square miles)—all of Bahia Felipe, the First Narrows and eastward toward Punta Catalina. On August 21, after a day of northwesterly winds, almost all of this oil was pushed onto the beaches of Tierra del Fuego (Fig. 4). Thereafter, the appearance of the beach and the oil in the water was markedly different on each flight, affected by the winds, the tides, and the additional oil released by the *METULA*.

No efforts were made to contain or disperse the oil released by the *METULA*, or to remove or stabilize the oil on the beaches.

*The National Strike Force is a pollution-response organization, operated under the auspices of the U.S. Coast Guard pursuant to Federal Water Pollution Control Act of 1972. It is composed of three teams, one each on the Atlantic, Gulf, and Pacific coasts of the United States. The teams consist of 18 highly trained men with specialized equipment, ready to respond quickly to pollution incidents, principally in U. S. waters.

Las fuerzas de salvataje de los propietarios del buque arribaron a la escena del accidente el día 15 de agosto de 1974; el 22 de agosto de 1974 el Gobierno de la República de Chile solicitó la ayuda del Gobierno de los Estados Unidos y de La Fuerza Nacional Estadounidense para Emergencias de Contaminación Marítima* (United States National Strike Force). Esta última entidad inició sus operaciones en la región el 27 de agosto de 1974. La Armada de Chile proporcionó respaldo logístico, llevó a cabo inspecciones marítimas del fondo del mar cerca de la encalladura del buque, participando en la obra y examinando los cálculos de factibilidad relacionados con la reflotación del *METULA*, y mantuvo vigilancia aérea sobre la región contaminada. Por lo demás, la Infantería Marina de Chile también efectuó evaluaciones de la contaminación de las playas.

Después que unas 51.000 toneladas de petróleo fueron trasladadas a buques más pequeños y el buque encallado fue lastrado, el *METULA* fue reflotado y llevado a remolque hacia un ancladero seguro el día 25 de septiembre de 1974. Prosigió la descarga del buque en el sitio de anclaje, dándose por concluido el 10 de octubre de 1974.

La mayor parte del derramamiento ocurrió durante las dos primeras semanas y ya para el 22 de agosto las pérdidas se calculaban en unas 41.000 toneladas. Hubo poca filtración después que el buque fue reflotado el 25 de septiembre, y la cantidad verdadera de petróleo perdida en el Estrecho, según se determinó por el cargamento original, por el cargamento descargado y entregado en la Bahía de Quintero, y por la cantidad de petróleo que aún quedaba dentro del *METULA* (aproximadamente 2.000 toneladas), se estima en unas 52.300 toneladas del tipo crudo, más, aproximadamente, otras 2.000 toneladas de petróleo combustible (Bunker C).

La primera cantidad de petróleo derramado fue llevada por las aguas hacia la costa, principalmente por el lado de la Primera Angostura, hacia el costado oriental de Bahía Felipe y al este de la Primera Angostura. Observada desde el aire durante los primeros días, la porción derramada parecía estarse dispersando rápidamente debido a la fuerza de las corrientes y al oleaje, intensificados por los repetidos ventarrones. El 20 de agosto, un día después de un derramamiento extremadamente cuantioso, gruesas capas aceitosas cubrían un área total de unos 2.500 km

*La Fuerza Nacional para Emergencias de Contaminación Marítima es una organización que se entiende con los asuntos de contaminación ambiental. Funciona bajo los auspicios del Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos de Norteamérica conforme al Acta Federal de 1972 para el Control de la Contaminación de Aguas. Está compuesta de tres equipos, ubicados cada uno en las costas norteamericanas del Atlántico, del Pacífico y del Golfo de México, respectivamente. Los equipos constan de 18 hombres cada uno, altamente entrenados y con equipos especiales que se encuentran dispuestos a responder con rapidez a cualquier incidente de contaminación que pudiera ocurrir, principalmente en aguas nacionales.

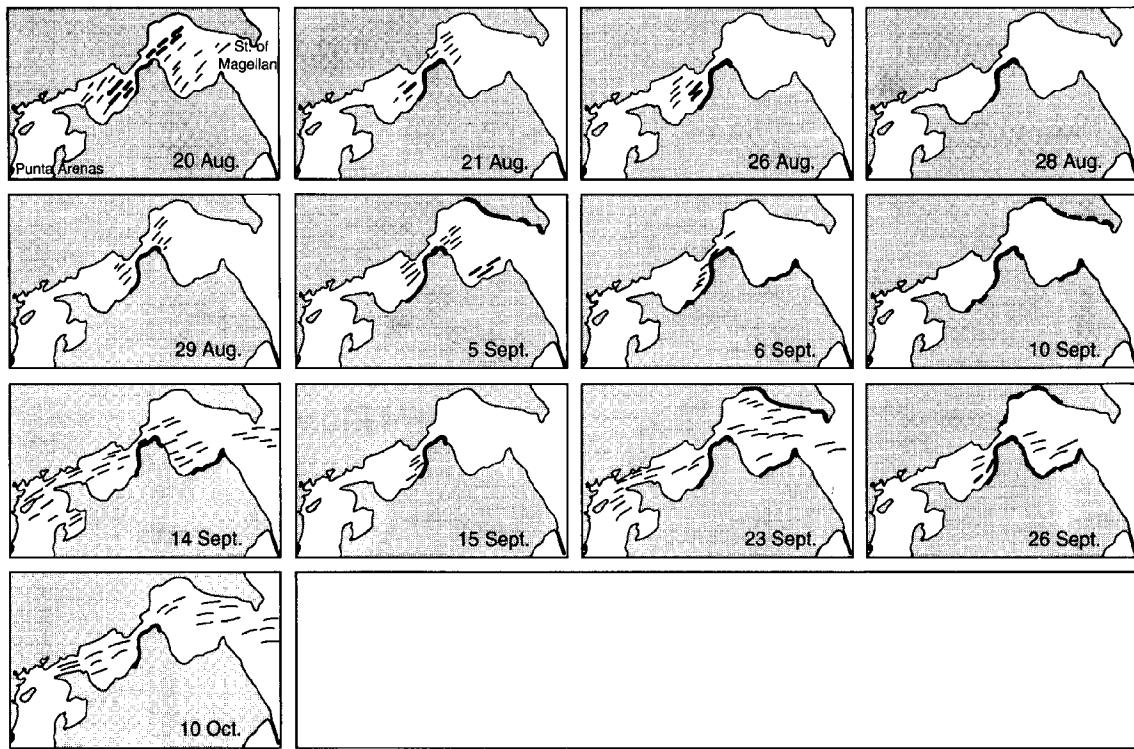


Figure 4. Oil in the Strait of Magellan and on the beaches between August 20 and October 10, 1974.

This was primarily due to: 1) rough weather conditions; 2) a severe logistical situation in regard to manpower and equipment; 3) uncertainties concerning the amount of pollution, and the magnitude and value of the impacted environment; 4) the possibility of increased damage due to such an operation; and 5) questions about legal and financial responsibilities (see under Cleanup Considerations).

The *METULA* oil spill is an unfortunate accident that offers an opportunity to develop potentially transferable information on the long-term environmental impacts and the natural weathering of a massive oil spill in a cold water environment, affected only by the local forces of nature, such as the tides, currents, temperature, wind, the local shore geology, and the bacteria, plants, and animals making up the local ecosystem.

Figura 4. Petróleo en el Estrecho de Magallanes y en las playas, tomadas entre el 20 de agosto y el 10 de octubre de 1974.

cuadrados. Dicha área incluía toda la región de Bahía Felipe y el área total comprendida entre la Primera Angostura y de allí hacia el este, ya llegando a Punta Catalina. El día 21 de agosto, después de un día de vientos del noroeste, casi la totalidad de este derrame había ido a cubrir las playas de la Tierra del Fuego (Fig. 4). Después de eso, la apariencia de la playa y del petróleo sobre las aguas en cada vuelo, se notaba apreciablemente diferente, habiendo sido afectados por los vientos y las mareas y por derramamientos adicionales lanzados por el *METULA*.

No se realizó ningún esfuerzo por contener o hacer dispersar el petróleo derramado por el *METULA*, ni tampoco por quitar o estabilizar el petróleo en las playas. Esto se debió principalmente a cinco factores: 1) las rigurosas condiciones climáticas; 2) una grave situación logística en lo que a mano de obra y equipo se refiere; 3) cierta incertidumbre en cuanto a la cantidad de contaminación y la magnitud y valor del ambiente afectado; 4) la posibilidad de aumentarse los estragos, de llevarse a cabo tales medidas; y 5) los posibles problemas que pudieran surgir con respecto a ciertas responsabilidades legales y financieras (véase Consideraciones de Limpieza).

El derramamiento petrolífero del *METULA* es un

accidente lamentable, que brinda la oportunidad de desarrollar una información potencialmente reportable en cuanto a impactos ambientales a largo plazo y el desgaste de los elementos naturales de un derramamiento cuantioso de petróleo en un ambiente de aguas frías, afectadas tan sólo por las fuerzas locales de la naturaleza, tales como las mareas, las corrientes, la temperatura, el viento y la formación geológica de las playas locales; así como por las bacterias, las plantas y los animales comprendidos en el ecosistema local.

3. PHYSICAL GEOGRAPHY

The Strait of Magellan, discovered in 1520 by Ferdinand Magellan, connects the Atlantic and Pacific oceans near the southern tip of South America (Fig. 1). On the west it cuts the igneous and metamorphic ranges of the Andean Cordillera, and on the east it separates the flat or slightly undulating, fluvio-glacial terrains of Patagonia and Tierra del Fuego.

In the eastern third of the Strait the intertidal zone consists mostly of shingle, gravel, and sand, with mudflats and salt-marshes in places, and occasional areas of hard clay. Back from the shore there are morainal till and extensive deposits of loess, which form tall cliffs in some areas. The ground surface often has strong parallel ridges and elongate salt pans aligned with the prevailing westerly winds. In appearance the area is a low, flat, bald prairie, covered with bunch grass and occasional bushes. It is an arid region with an annual rainfall of about 300 mm (12 in). Towards the west, beyond the Second Narrows, hills formed by glacial debris become more numerous, and near the Andean Cordillera they are covered by dense timber. In this region the annual rainfall exceeds 1,500 mm (60 in).

The climate of the area is that of a cold steppe: The mean air temperature near the Atlantic is 6.7°C (44°F) varying from 2.5°C (36°F) in July to 11.7°C (53°F) in January. The water temperatures in the Strait vary from approximately 9.5°C (49°F) in the summer to 3.5°C (38°F) in the winter. Summer water temperature measurements (Table 1; Fig. 5) show little variation ($\approx 1^{\circ}\text{C}$), and the close agreement between the

3. GEOGRAFÍA FÍSICA

El Estrecho de Magallanes, descubierto en 1520 por Fernando de Magallanes, conecta los océanos Atlántico y Pacífico cerca de la punta meridional de la América del Sur (Fig. 1). Por el lado occidental atraviesa la fila metamórfica e ígnea de la Cordillera Andina, por el lado oriental separa los llanos o los terrenos fluvio-oglaciales ligeramente ondulantes de la Patagonia y la Tierra del Fuego.

Por la orilla litoral al oriente del Estrecho, la zona entre mareas consiste mayormente en un subsuelo compuesto de cascojo, grava suelta y arena con zonas intercaladas de llanos de cieno y saladeros; así como algunas zonas de arcillas duras. Detrás de las playas se hallan morenas y extensos yacimientos de loes, los cuales en algunas áreas llegan a formar riscos altos. La superficie de la tierra demuestra a menudo marcadas ondas paralelas y salinas elongadas y alineadas de acuerdo con los vientos reinantes desde oeste. El aspecto general es de un área baja, llana, baldía pampa, cubierta de haces de pasto playero y uno que otro arbusto. Es una región árida con una precipitación anual de aproximadamente, 300 mm (12 pulgadas). Hacia el oeste y más allá de la Segunda Angostura, abundan cada vez más las colinas formadas por detritos glaciales, y cerca de la Cordillera Andina estas mismas colinas se ven cubiertas de un denso maderaje. En esta región la precipitación anual excede los 1.500 mm (60 pulgadas).

El clima de la zona es el típico de una estepa fría. La temperatura promedio del aire cerca del Atlántico es de 6.7° C (44° F) con una variación de 2.5° C (36° F) en julio, a 11.7° C (53° F) en el mes de enero. La temperatura de las aguas en el Estrecho varían desde aproximadamente 9.5° C (49° F) en el verano hasta 3.5° C (38° F) en el invierno. Las temperaturas de las aguas en el verano (Tabla I, Fig. 5) demuestran poca variación (1°C), y la íntima concordancia entre los valores de la superficie y subsuperficie indican buenas condiciones

Table 1. Seawater Temperature Observations in the Strait of Magellan in February 1964.

Observaciones sobre la temperatura de las aguas del mar en el Estrecho de Magallanes, en febrero de 1964.

Station	Distance (km)	Distance (km)	Surface Temp (°C)	Bottom Temp (°C)	Bottom (m)	Date
1	0	0	9.5	9.5	80	02-15-64
2	12.9	12.9	9.3	9.4	70	02-15-64
3	5.7	18.6	9.1	9.1	75	01-10-64
4	12.5	31.1	9.4	9.5	75	02-10-64
5	14.0	45.1	9.7	9.4	70	02-15-64
6	10.2	55.3	9.6	9.5	60	02-10-64
7	25.9	81.2	9.6	9.6	35	02-15-64
8	32.0	113.2	9.3	9.2	75	02-15-64
9	47.0	160.2	8.6	8.5	40	02-15-64
10	19.5	179.7	8.7	8.5	50	02-10-64
11	13.0	192.7	8.8	8.8	65	02-10-64
12	17.5	210.2	8.7	7.8	85	02-10-64
13	25.0	235.2	8.4	6.4	155	02-09-64

Note: For locations, see Fig. 5.

Nota: Para ubicaciones, véase Fig. 5.

Table 2. Tidal Stations and Data in the Strait of Magellan East of Punta Arenas

Estaciones de observación de las mareas y datos en el Estrecho de Magallanes al este de Punta Arenas.

Place	Position		Ranges		Mean Level (m)
	Lat	Long	Mean (m)	Spring (m)	
1	Cabo Virgenes	52°21'	68°22'	7.3	9.1
2	Punta Dungeness	52°24'	68°26'	7.3	9.1
3	Punta Catalina	52°32'	68°46'	6.9	8.7
4	Bahia Posesion	52°16'	69°10'	8.4	10.2
5	Banco Direccion	52°24'	69°26'	8.5	10.4
6	Bahia Santiago	52°31'	69°52'	4.3	5.4
7	Bahia Felipe	52°47'	69°57'	3.7	4.6
8	Segunda Angostura	52°45'	70°18'	4.9	6.2
9	Puerto Zenteno	52°47'	70°46'	1.4	1.8
10	Bahia Gente Grande	52°03'	70°16'	1.9	2.3
11	Punta Arenas	53°09'	70°54'	1.2	1.5

Note: For locations, see Fig. 5.

Nota: Para ubicaciones, véase Fig. 5.

surface and subsurface values indicate well-mixed conditions.

The eastern half of the Strait of Magellan is noted for its exceptionally high winds, varying from southwest to northwest with force and frequency increasing in spring and summer. Winds commonly exceed 20

de mezcla bien integradas.

La mitad oriental del Estrecho de Magallanes es conocida por sus ventarrones excepcionalmente violentos, cambiando direcciones desde suroeste hasta noroeste, y con un aumento en violencia y frecuencia en la primavera y verano. Generalmente, la velocidad de estos vientos excede 20 m/seg (40 nudos), y son

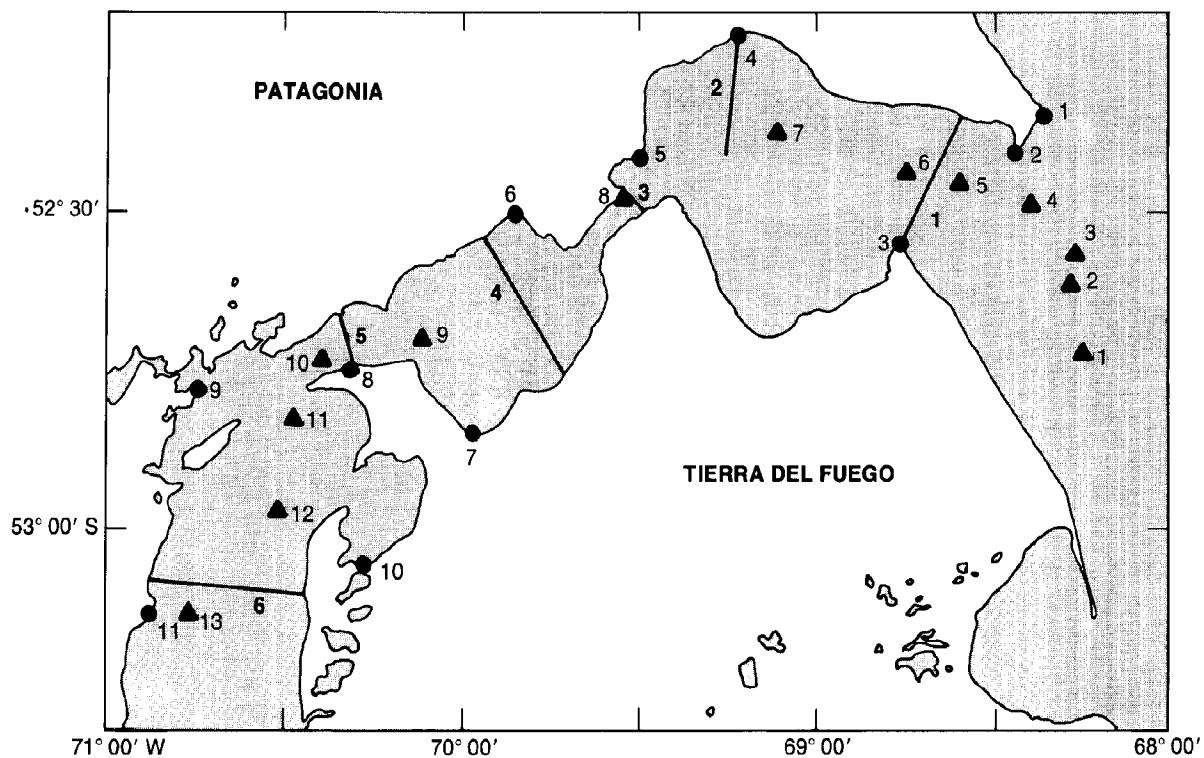


Figure 5. Location of selected oceanographic stations in the Strait of Magellan. Solid circles = tide stations; triangles = bathythermograph (BT) stations; lines = numbered cross sections (See Fig. 6).

m/sec (40 knots), and gale and hurricane-force winds of 50 m/sec (100 knots) occur frequently. During the period of the oil releases from *METULA*, 35 m/sec (70 knots) winds occurred several times, and once were reported in excess of 57 m/sec (115 knots).

Water currents in the First Narrows are mostly due to tides with average ranges of 7.3 m (24 ft) at Punta Dungeness in the eastern entrance of the Strait, 8.5 m (28 ft) at the eastern end of the First Narrows, and 1.2 m (4 ft) at Punta Arenas (Table 2). The ranges of spring tides in these same locations are 9.1 m (30 ft), 10.4 m (34 ft), and 1.5 m (5 ft), respectively. Maximum currents occur in the narrows where the cross-sectional area of the Strait is reduced (Fig. 6). Currents calculated from tide table data for the spill period varied from 4.4 m/sec (8.5 knots) to 4.8 m/sec (9.3 knots) in the First Narrows, depending on the tidal range. In Bahía Felipe, where most of the oil was spilled and went ashore, the daily spring tides were as high as 4.6 m (15 ft), and the

Figura 5. Ubicaciones de estaciones oceanográficas seleccionadas en el Estrecho de Magallanes. (Círculos sólidos = estaciones para el estudio de las mareas; triángulos = estaciones con batítermógrafo (BT); rayas = sección transversal enumerada (véase Fig. 6).

frecuentes los vientos con fuerza de huracán, de 50 m/seg (100 nudos). Durante el periodo de derramamiento petrolífero del *METULA*, varias veces soplaban vientos de 35 m/seg (70 nudos) y en una ocasión se registraron en exceso de 57 m/seg (115 nudos).

Las corrientes marítimas en la Primera Angostura se deben más que nada a las mareas, las cuales varían con alturas de 7.3 m (24 pies) en Punta Dungeness a la entrada oriental del Estrecho, de 8.5 m (28 pies) al extremo oriental de la Primera Angostura y de 1.2 m (4 pies) en Punta Arenas (Tabla 2). Las alturas de las mareas vivas en estos mismos sitios son de 9.1 m (30 pies), 10.4 m (34 pies) y de 1.5 m (5 pies), respectivamente. Las corrientes máximas ocurren en las Angosturas en donde hay una reducción en la sección transversal del Estrecho (Fig. 6). Las corrientes calculadas de datos de la tabla de mareas para el periodo de derramamiento demuestran una variación entre velocidades de 4.4 m/seg (8.5 nudos) a 4.8 m/seg (9.3 nudos) en la Primera Angostura, variando de acuerdo con la excusión de las mareas. En Bahía Felipe, donde se derramó y fue llevada hasta las playas la mayor parte del petróleo, las mareas diarias llegaban a alturas de hasta 4.6 m (15 pies), y el promedio de velocidad de las corrientes calculadas se acercaba a 3

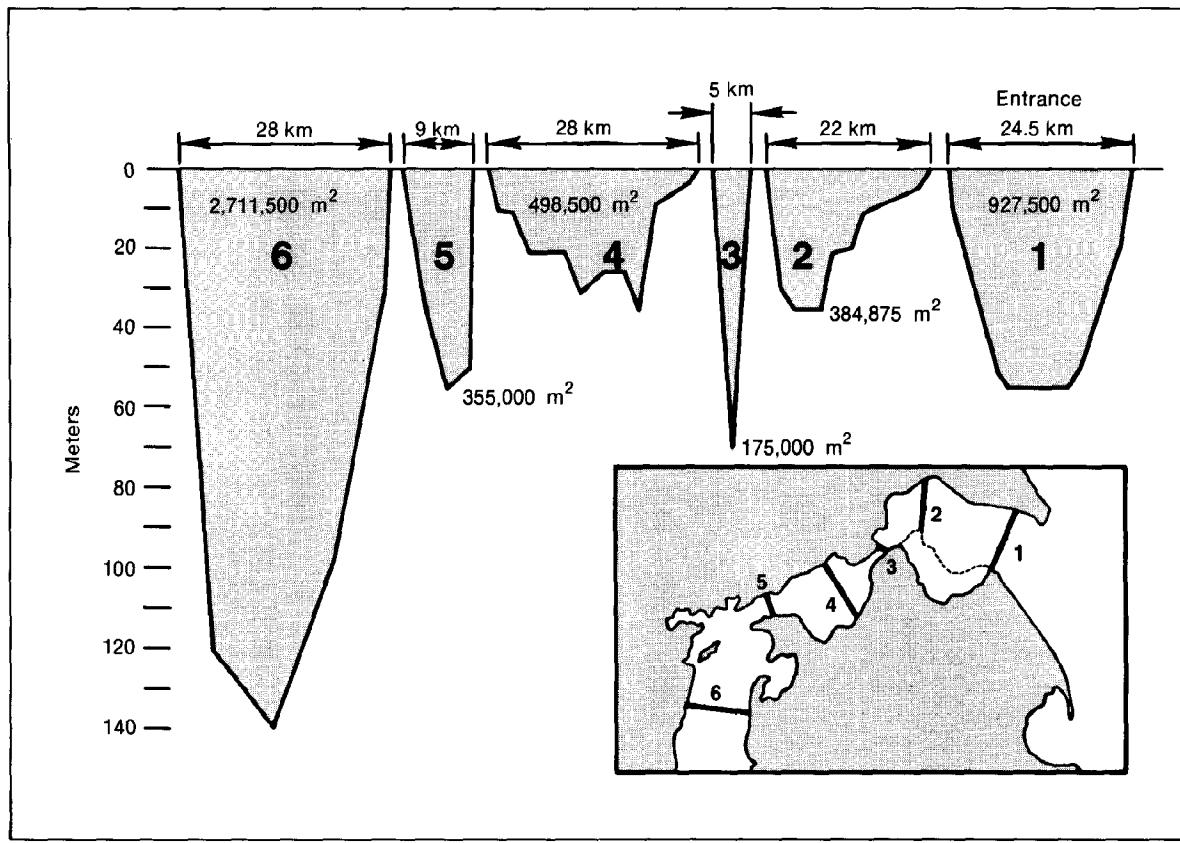


Figure 6. Topographic cross sections in the eastern half of the Strait of Magellan.

Figura 6. Secciones transversales topográficas del costado oriental del Estrecho de Magallanes.

computed tidal currents approached 3 m/sec (6 knots). The actual distribution of currents (both at the surface and at depth) within the bays is largely affected by the bottom topography and the winds, as well as by tides.

m/seg (6 nudos). La verdadera distribución de las corrientes (tanto en la superficie como en lo profundo) dentro de las bahías se ve afectada en gran parte por la topografía del fondo marítimo y por los vientos, así como por las mareas.

4. ENVIRONMENTAL OBSERVATIONS

The first information on the distribution of the oil spilled by the *METULA* was provided by Chilean Naval air surveillance over the eastern half of the Magellan Strait (Fig. 4). The first detailed onshore environmental assessment was made between August 28 and September 5, 1974, by Dr. Roy W. Hann, Jr., Texas A & M University, at the request of the U. S. Coast Guard. Dr. Hann, together with Dr. Jon Wonhom of the Warren Springs Laboratory, England, and with

4. OBSERVACIONES AMBIENTALES

Los primeros informes acerca de la distribución del petróleo derramado fueron provistos por el cuerpo de vigilancia aérea de la Armada de Chile, tarea llevada a cabo sobre el sector oriental del Estrecho de Magallanes (Fig. 4). La primera evaluación detallada del ambiente hecha desde la playa fue la realizada entre el 28 de agosto hasta el 5 de septiembre de 1974. Dicha evaluación fue hecha por el Dr. Roy W. Hann, Jr. de la Universidad Texas A & M, a petición del Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos. El Dr. Hann, junto con el Dr. Jon Wonhom del Laboratorio de Warren

Claudio Venegas and William and Jean Texera (the latter two affiliated with the U. S. Peace Corps) of the Patagonian Institute, Punta Arenas, Chile, investigated the amount of beached oil and its impact along the most heavily polluted areas. These areas included the southeast shore of Bahía Felipe, the southern shore of the First Narrows, and estuaries leading into the Frst Narrows.

Another survey of the area was made by Dr. Jenifer M. Baker, Field Studies Council, Oil Pollution Research Unit, England, consultant to TOVALOP,* and by personnel from the Patagonian Institute between September 13 and October 2, 1974. During this time the Chilean Marines also made a survey of the most polluted beach areas, and obtained an estimate of the amount of oil on the beaches.

A follow-up survey was made in January 1975 by Dr. Hann (under contract to the U. S. Coast Guard), Charles G. Gunnerson/NOAA, Dr. Dale Straurhan/University of Southern California (NOAA consultant), John K. Adams/U. S. Environmental Protection Agency (EPA), and several members of the Patagonian Institute.

Spring en Inglaterra y los señores Claudio Venegas y William y Jean Texera (estos últimos afiliados al Cuerpo de Paz de los Estados Unidos) del Instituto de la Patagonia en Punta Arenas, Chile, realizaron una investigación encaminada a determinar la cantidad de petróleo cubriendo las playas y de ahí su impacto a todo lo largo de las áreas más altamente contaminadas. Estas áreas incluían la playa suroriental de Bahía Felipe, la playa meridional de la Primera Angostura y los estuarios que conducen a éstas.

Otro estudio de exploración fue realizado, entre septiembre 13 y octubre 2 de 1974, por la Dra. Jenifer M. Baker, afiliada al Consejo para Estudios de Investigación de Campo (Field Studies Council), Sección para la Investigación de Contaminación Petrolifera, y consejera de TOVALOP*, conjuntamente con algunos miembros del Instituto de la Patagonia. Durante este tiempo la Infantería Marina de Chile también realizó una exploración en el sector de las playas más contaminadas y logró un cálculo aproximado de la cantidad de petróleo que cubría dichas playas.

En enero de 1974 fue realizada una investigación recordatoria por el Dr. Hann (bajo contrato con el Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos), junto con el señor Charles G. Gunnerson de la NOAA, la Dra. Dale Straughan de la Universidad de California del Sur (consejera de la NOAA), el señor John K. Adams, de la Agencia Estadounidense para la Protección del Ambiente, y varios otros miembros del Instituto de la Patagonia.

4.1 August-September 1974 Observations

Both aerial observations (Fig. 4) and reports by the salvage personnel, indicated that during the period of heaviest leakage of oil from the *METULA* (first 3 weeks after grounding), winds drove most of the oil rapidly into the north shore of Tierra del Fuego, mainly between Punta Anegada and Punta Piedra (Fig. 7). Subsequently the amounts of oil deposited on the different beach sections varied widely

4.1 Observaciones Entre Agosto y Septiembre de 1974.

Tanto las observaciones aéreas (Fig. 4) como los informes realizados por el personal del equipo de salvamento indicaron que durante el período de rezumamiento más denso de petróleo del buque *METULA* (a las tres semanas de la encalladura original), los vientos desplazaron rápidamente la mayor parte del petróleo sobre la playa septentrional de la Tierra del Fuego, abarcando el sector que

*Tank Owners Voluntary Agreement concerning Liability for Oil Pollution (TOVALOP) was established to provide responsibility to national governments with respect to cleanup costs related to pollution of waters and shorelines from persistent oils. The maximum liability under TOVALOP is \$100 (U.S.) per gross registered ton of the tanker in question, or \$10,000,000 (U.S.), whichever is less. The responsibility is to governments, and extends only to expenses reasonably incurred by governments to prevent or mitigate damage by pollution or the threat thereof. It does not cover fire or explosion damage, consequential damage, or ecological damage.

*Trátase del Acuerdo Voluntario de los Dueños de Buques Petroleros respecto a la Responsabilidad en Casos de Contaminación Petrolifera (Tank Owners Voluntary Agreement concerning Liability for Oil Pollution). Dicha entidad fue establecida a fin de proveer un sentido de responsabilidad hacia los gobiernos nacionales con respecto a los gastos de limpieza relacionados con la contaminación de las aguas y las playas circunvecinas por acumulación de petróleos recurrentes. La responsabilidad máxima, conforme al acuerdo de TOVALOP, es de \$100 (U.S.) por cada tonelada bruta registrada del buque petrolero en cuestión, o bien, de \$10,000,000 (U.S.) cualquiera que sea la menor. La responsabilidad es de los gobiernos y comprende tan sólo los gastos contraídos en forma razonable por los mismos a fin de impedir o mitigar los daños ocasionados por la contaminación o por una amenaza de ella. No comprende daños de incendio ni de explosión, ni tampoco daños de consecuencia o de tipo ecológico.

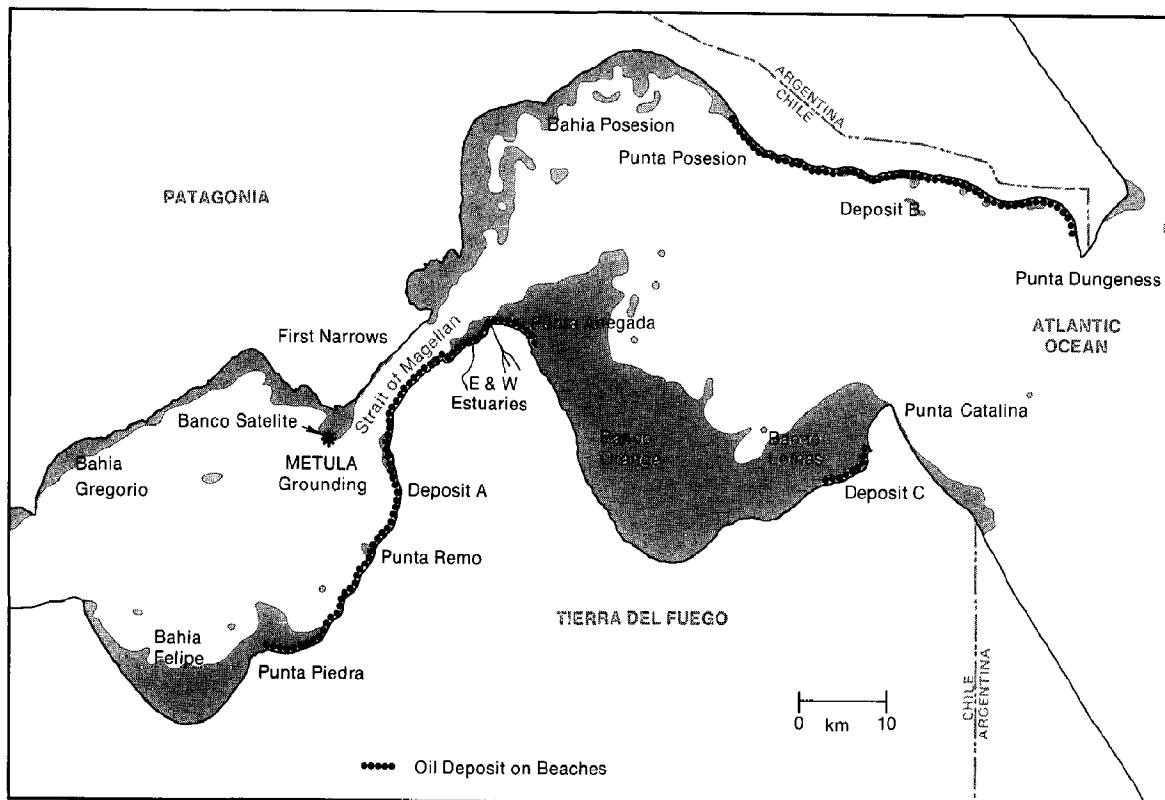


Figure 7. Impacted beaches, August-September 1974 (after Hann, 1974). Shaded areas are shoals less than 5-m deep.

according to the rates of additional release, and the removal and redistribution of oil by the prevailing tides and winds.

The oil deposits appeared in two distinct layers, a "dark mousse" and a "light mousse". Hann described the first layer as a dark brown oil-water emulsion, with a water content of 5%, that was mixed with sand particles, seaweed, marine worms, and other materials picked up in its transport to the beach. This material had been deposited above the spring high-tide mark by high winds, and was abundant within the estuaries and marshes. The "light mousse" was described as a light brown oil-water emulsion that resembled milk chocolate pudding in color and texture, and contained 30% water. The light mousse formed extensive beach deposits within the intertidal zone. Baker's description is similar, except that her samples contained roughly one-third oil and two-thirds water and organic debris. Besides the mousse deposits there were several beach sections where the pebbles

Figura 7. Playas afectadas, agosto-septiembre, 1974 (según Hann, 1974) Las áreas sombreadas son bajos de menos de 5 metros de profundidad.

quedan principalmente entre Punta Anegada y Punta Piedra (Fig. 7). Posteriormente las cantidades de petróleo depositadas en los diferentes sectores de la playa variaron mucho, siempre de acuerdo con otros desprendimientos subsecuentes y con la remoción y redistribución de petróleo ocasionadas por las mareas y los vientos prevalecientes.

Los depósitos petrolíferos aparecieron en dos capas distintas, una oscura espuma de petróleo ("dark mousse") y la otra clara ("light mousse"), ambas de textura cremosa. El Dr. Hann describió la primera capa como de una emulsión a base de agua-petróleo, de color café oscuro, con un contenido acuoso del 5%, la cual estaba mezclada con partículas de arena, algas y lombrices marinas y otros materiales recogidos al ser arrastrada hacia las playas. Este material había sido depositado más arriba de la marca de la marea viva alta por los vientos fuertes, y se daba en abundancia dentro de los estuarios y en las marismas. La espuma de petróleo clara fue descrita como una emulsión de color café claro, mezcla de agua y petróleo, la que en cuanto a color y textura semejaba un pudín de chocolate y contenía un 30% de agua. De la espuma de petróleo clara se habían formado extensos depósi-

and the sand were coated with oil, and where the breakers were brown from the oil still in the water.

Hann estimated that along the most heavily oiled beach section, between Punta Anegada and Punta Piedra, some 60,000 m³ (2,200,000 ft³) of mousse were present, representing about 40,000 tons of *METULA* oil. A few weeks later the Chilean Marines measured about 45,000 m³ (1,600,000 ft³) of mousse in the same area, indicating the difficulty of obtaining such a measurement, and possibly the mobility of the mousse and its incorporation into the beach sediments by tides and winds. When this latter figure is used, with an estimate of 50% water content in the mousse, it appears that the minimum amount of *METULA* oil in this beach section was about 21,000 tons. As the mousse varied considerably in volume and in its physical properties from place to place and in time, and inasmuch as the field measurements were acknowledged to be primitive and laboratory sample analyses almost nonexistent, a more accurate calculation of the actual volume of the *METULA* oil within the previously estimated maximum and minimum limits cannot be given.

Oil deposits on the beaches were generally described as being from 2 to 50 m wide (6 to 160 ft) and 0.5 to 15 cm deep (0.2 to 6 in). When the tides went out the wind had the tendency to keep the mousse on or near the shore. As the water levels dropped from beneath the mousse, most of the oil was left stranded at the latest high water line. Subsequently some of this oil was seen flowing back down the beach as stringers (Fig. 8). Oil was also carried several kilometers into the two estuaries that entered the First Narrows on the Tierra del Fuego side. The easterly of the two estuaries particularly contained large amounts of oil.

The difference between the measured water content in Hann's and in Baker's mousse samples is almost certainly due to differences in the amounts of mixing and agitation of their samples by wind and waves. The results of Berridge and others indicate that well-mixed, stable mousse contains 50 to 80% seawater, and that a

tos en las playas dentro de la zona litoral de mareas altas y bajas. Las descripciones de la Dra. Baker son similares a las anteriores, salvo que las muestras de ella contenían aproximadamente una tercera parte de petróleo y dos terceras partes de agua y desperdicios orgánicos. Además de los depósitos de "mousse" había varios sectores de playa en donde los guijarros y la arena se hallaban cubiertos de petróleo y donde las olas eran de un color café debido a las aguas aún repletas del petróleo.

El Dr. Hann calculó que a lo largo del sector de playa más densamente cubierto de petróleo, entre Punta Anegada y Punta Piedra, estaban presentes unos 60.000 m³ (o sea 2.200.000 pies cúbicos) de espuma de petróleo ("mousse"), viniendo así a representar unas 40.000 toneladas de petróleo derramado al mar desde el *METULA*. Algunas semanas más tarde la Infantería Marina de Chile halló unos 45.000 m³ (1.600.000 pies cúbicos) de petróleo en la misma área, señalando así la dificultad en lograr tal medida y posiblemente en calcular con certeza la movilidad de "mousse" (espuma de petróleo) y su incorporación a los sedimentos de las playas como consecuencia de las mareas y los vientos. Al citar esta última cifra, con un cálculo de un contenido acuoso del 50% en el "mousse", se desprende que la cantidad mínima de petróleo del *METULA* por este sector de la playa era de unas 21.000 toneladas. Puesto que el "mousse" variaba mucho en cuanto a volumen y a sus propiedades físicas de lugar en lugar y a través del tiempo, y puesto que las medidas tomadas durante las investigaciones fueron tachadas de rudimentarias y los análisis de las muestras de laboratorio reconocidos como prácticamente inexistentes, resulta imposible proporcionar un cálculo más acertado del verdadero volumen del petróleo derramado del *METULA* dentro de los límites máximos y mínimos previamente fijados.

Los depósitos petrolíferos en las playas por lo general arrojaban medidas que oscilaban entre los dos y los cincuenta metros de ancho (de 6 a 160 pies) y de los 0.5 a los 15 cm de profundidad (de 0.2 a 6 pulgadas). Cuando retrocedían las mareas los vientos tendían a mantener la espuma del petróleo ("mousse") en o cerca de la playa; y a medida que descendían los niveles del agua debajo del "mousse", la mayor parte del petróleo se iba quedando abandonado sobre el último nivel del mar más alto. Posteriormente se vio cierta cantidad de este petróleo corriendo playa abajo en forma de ristras (Fig. 8). El petróleo también fue llevado por una distancia de varios kilómetros dentro de los dos estuarios que conducen a la Primera Angostura por el lado de la Tierra del Fuego. El más oriental de los dos estuarios, especialmente, contenía grandes

water-in-oil emulsion with less than 50% water will separate into free oil and water in time. Lower percentages of water in Hann's samples indicate that he sampled unstable mousse, or a mousse-oil mixture. The large quantities of oil reported together with the mousse and the oil stringers seen flowing down the beach-face from stranded mousse layers seem to support this explanation.

One of the most visible ecological impacts of the oil was its effect on marine waterfowl (Fig. 9). One survey between September 14 and 16, 1974, found 408 cormorants, 66 penguins, 23 ducks, and 84 seagulls dead because of heavy oiling between Punta Piedra and Punta Anegada. Other estimates put the number of dead birds up to 2,000. Additional ecological damage was noted in the littoral zone, especially near the spring low water line, where rich populations of mussels and some limpets and starfish were found to be oil-coated.

cantidades de petróleo.

La diferencia entre el contenido del agua medida en las muestras de "mousse" del Dr. Hann y de la Dra. Baker se debe, casi con toda seguridad, a diferencias en la cantidad de mezclamiento y agitación de sus respectivas muestras causadas por la fuerza de los vientos y el oleaje. Los resultados de Berridge, y otros, indican que una espuma de petróleo así, bien mezclada y estable, contiene una cantidad de entre el 50% y el 80% de agua salada y que una emulsión de agua-en-petróleo con una cantidad de agua menor del 50%, con el tiempo tenderá a separarse en petróleo y agua. Los porcentajes más bajos en las muestras de Hann indican que él tomó muestras de espuma de petróleo ("mousse") inestable, o de una mezcla de "mousse" y de petróleo. Las grandes cantidades de petróleo que se observaron junto con la capa cremosa y las ristras de petróleo que corrían playa abajo, desprendidas de otras capas petrolíferas aisladas, parecen sustentar esta tesis.

Uno de los impactos ecológicos más visibles del petróleo fue su efecto en las aves acuáticas marinas (Fig. 9). Una investigación realizada entre los días 14 y 16 de septiembre arrojó un saldo de 408 corvejones, 66 pingüinos, 23 patos y 84 gaviotas, todos muertos a causa de la gruesa capa de petróleo que cubría el sector comprendido entre Punta Piedra y Punta Anegada. Otros cálculos hechos arrojaron un saldo total de 2.000 aves muertas. Todavía más daños se registraron a todo lo largo de la zona litoral, sobre todo cerca de la línea baja de mareas vivas, sector éste donde habitan nutridas colonias de mejillones (cholgas y choritos) y unas cuantas lapas y estrellas de mar, las cuales también fueron encontradas cubiertas de una gruesa capa aceitosa.

4.2 January 1975 Observations

This follow-up field investigation included aerial observations, detailed and spot surveys of the impacted beaches, and biological investigations. During beach surveys, deposits (mousse) on the surface and within the sediments were observed and sampled between the high and low water levels. Presence of oil and intertidal organisms was recorded and samples were collected for laboratory analyses. At the biological survey stations core samples of the beach sediments and marine organisms

4.2 Observaciones en enero de 1975.

Esta investigación prosiguiente incluyó observaciones aéreas, inspecciones detalladas y otras hechas en sitios selectos de las playas contaminadas, así como investigaciones de índole biológica. Durante las inspecciones de las playas se observaron depósitos del "mousse" en la superficie y entre los sedimentos, y se tomaron muestras de estos depósitos entre las líneas de mareas altas y bajas. Asimismo se verificó la presencia de petróleo y organismos en la zona litoral y se recogieron muestras de éstos a fin de someterlos a análisis de laboratorio. En las estaciones donde se realizan inspecciones biológicas se tomaron muestras



8



9



12



11

Figure 8. Oil stringer flowing down the beach-face from stranded mousse layer.

Figure 9. Oiled cormorant attempting to fly off heavily oiled beach.

Figure 11. Rock and sand mixed with mousse to depth of 30 cm (12 in) In a bank near the entrance of the eastern estuary.

Figure 12. Oil penetration in sand at top of beach zone along south-southwest shore of Bahia Felipe (from Hann, 1975).

Figure 13. Mousse and oil on upper beachface along southeast shore of Bahia Felipe.

Figura 8. Ristra de petróleo desprendida del "mousse", desplazándose hacia abajo por la superficie de la playa.

Figura 9. Corvejón cubierto de petróleo Intentando alzar vuelo desde una playa excesivamente contaminada.

Figura 11. Mezcla de piedras y arena con "mousse" de 30 metros (12 pulgadas) de profundidad sobre un bajío cerca de la entrada del estuario oriental.

Figura 12. Penetración del petróleo en la arena por la parte superior de la zona playera a lo largo de la playa sur-suroccidental de Bahía Felipe (según Hann, 1975).

Figura 13. Espuma y petróleo sobre la superficie superior de la playa a lo largo de la orilla suroriental de Bahía Felipe.



13



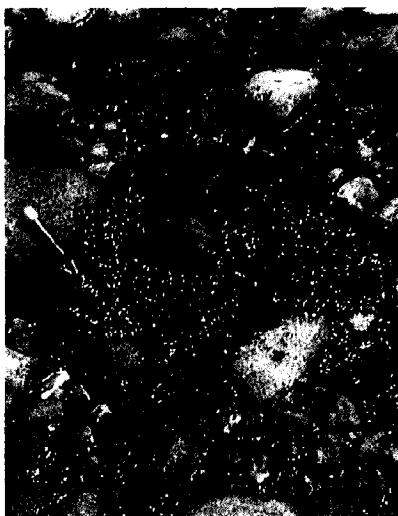
16



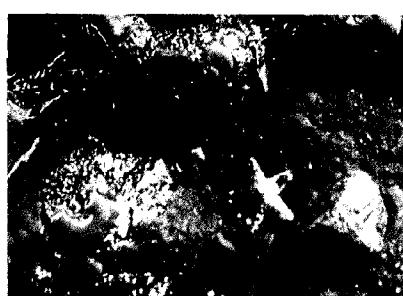
15



17



14



18

Figure 14. Mousse and oil patches around rocks at base of beach along south shore of Bahia Felipe.

Figure 15. Pools of mousse 5- to 20-cm (2 to 8 in) deep, and oiled vegetation in eastern estuary.

Figure 16. Typical channel in east estuary with oil, estimated at between 15- to 30-cm (6 to 12 in) thick, filling parts of the channel.

Figure 17. Clumps of healthy mussels among boulders near low-water line along south shore of Bahia Felipe.

Figure 18. Mousse-covered mussels, starfish, and rocks near the low-water line along the south shore of the First Narrows.

Figura 14. Espuma y charcos de petróleo alrededor de las piedras, al pie de la playa, a lo largo de la orilla sur de Bahía Felipe.

Figura 15. Charcos de la espuma con profundidades de 5 a 20 cm (de 2 a 8 pulgadas), junto con muestras de vegetación cubierta de petróleo en el estuario oriental.

Figura 16. Canal típico en el estuario oriental con depósitos de petróleo calculado entre 15 y 30 cm (de 6 a 12 pulgadas) de grosor, llenando partes del canal.

Figura 17. Colonias de mejillones sanos entre las rocas cerca del estiaje a lo largo de la orilla sur de Bahía Felipe.

Figura 18. Mejillones, estrellas de mar y rocas cubiertos de petróleo cerca del estiaje a lo largo de la orilla sur de la Primera Angostura.

were taken at several locations along the beach profile. The objective of the surveys was to describe the composition and distribution of marine fauna on the beach and in the sediments, to correlate sediment characteristics with animal distribution, and to assess the impact of oil on these biota.

In general, beach conditions in January 1975 were the same as those of August 1974 (Fig. 10). Hann estimated that at least half of the mousse that had been seen in August 1974 was still on the beaches. The remaining may have been removed from the beach surface by being worked into the beach sediments, or by evaporation of the volatile components. Small amounts may have sunk to the bottom of the Strait, or gone into solution, or floated out to sea.

Along the most heavily polluted beaches near Punta Espora (12 km west of Punta Anegada; Fig. 10), oil was found in the sand as much as 50 cm (20 in) below the beach surface (Fig. 11). Thicknesses of these oily-sand, oily-gravel layers varied from area to area, and from one point of the beach profile to another (Fig. 12). In some locations instead of a continuous layer of oily sand, several layers of mousse-saturated sand were found between relatively clean sand layers. Often the oil-saturated sand layer was outcropping along some sections of the beach profile, while it lay under clean sand in other sections. Most of the mousse deposits were still on the upper and middle parts of the beach profile (Fig. 13) although some oil-saturated sediments beneath the boulders and cobble beaches, exposed during the lowest tides, were noted (Fig. 14). Flow of oil from the upper part of the beach profile toward the lower part was still evident, and this was apparently aided by diurnal and seasonal heating. This oil flow, the erosion of oily-sand and gravel layers by wave action, and the resuspension of oil and mousse by high tides, put enough oil into suspension along several beaches to color the surf.

Crusty, partially dried, weathered mousse and oil were frequently observed during this second survey along the uppermost beach sections and along the oil-covered, blackened marsh plants. The two estuaries entering the First Narrows from Tierra del Fuego contained large amounts of oil. The eastern estuary in particular was

de perforaciones de los sedimentos de la playa y de los organismos marinos a todo lo largo del perfil de la playa. El objeto de dichas inspecciones fue determinar la composición y la distribución de la fauna marina hallada sobre la playa y en los sedimentos, establecer la relación de las características sedimentarias con la distribución animal, y determinar el impacto del petróleo en la flora y en la fauna de la región.

En general, las condiciones registradas en las playas en enero de 1975 eran iguales a las registradas en agosto del 1974 (Fig. 10). Hann calculó que, por lo menos, la mitad de los depósitos de "mousse" que se habían observado en agosto de 1974 aún permanecían sobre las playas. Es posible que el resto hubiera sido removido de la superficie de la playa por una entremezcladura del petróleo y los sedimentos o por razones de la evaporación de los componentes volátiles. También es posible que pequeñas cantidades de éstos se hayan hundido hasta el fondo del Estrecho, que se hayan solubilizado o bien que hayan sido arrastrados mar afuera.

A lo largo de las playas más excesivamente contaminadas cerca de Punta Espora (a 12 km al oeste de Punta Anegada; Fig. 10), se encontraron acumulaciones de petróleo en la arena en exceso de 50 cm (20 pulgadas) bajo la superficie de la playa (Fig. 11). El grosor de estas capas compuestas de mezclas de petróleo-arena y petróleocascajo, variaron de área en área y de una punta del perfil de la playa a otra (Fig. 12). En algunos sitios, en vez de una capa continua de arenas aceitosas, se encontraron varias capas de arenas saturadas de "mousse" intercaladas entre otras capas arenosas relativamente limpias de impurezas. A menudo, en algunos sectores del perfil de la playa de la capa arenosa saturada de petróleo, afloraba, mientras que en otros yacía debajo de capas de arenas limpias. La mayor parte de la espuma del petróleo todavía permanecía en las partes superior y central del perfil de la playa (Fig. 13) aun cuando también se notaban algunos sedimentos saturados de petróleo debajo de las piedras y en las playas de guijarros expuestas durante las mareas más bajas (Fig. 14). El flujo de petróleo desde la parte superior del perfil de la playa hacia la parte baja aún se dejaba notar y, por lo visto, fue aparentemente auxiliado por el caldeo diurno y el estacional. Este flujo petrolífero, la erosión de los estratos de cascajo y arena saturados de petróleo, ocasionada por la acción del oleaje, y la resuspensión del petróleo y del "mousse" causada por las mareas altas, puso en suspensión suficiente cantidad de petróleo a todo lo largo de varias playas como para dejar la resaca bien teñida de color.

Durante esta segunda inspección realizada a lo largo de las partes más altas de las playas y también a

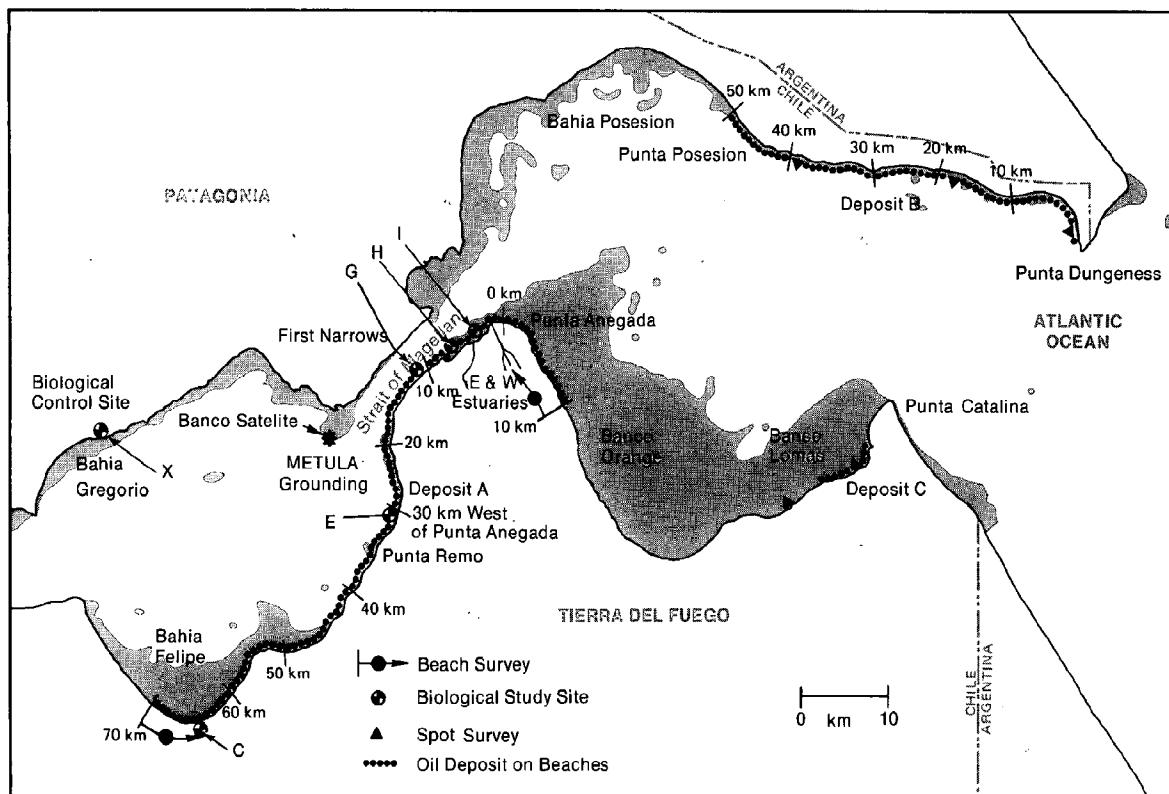


Figure 10. Impacted beaches, January 1975 (after Hann, 1975).

Figura 10. Playas afectadas, enero, 1975 (según Hann, 1975).

filled with oil, because it is so situated that the northwesterly winds pushed the oil that was moving along the shoreline into this estuary until it was practically filled (Fig. 15). During high tides and gale winds a great deal of this oil had been pushed into smaller tidal channels (Fig. 16) and over the flat grassland, leaving pools of oil up to 10 to 30 cm (4 to 12 in) deep in the channels, and blackening and killing the vegetation in the flats. These channels have remained completely filled with oil to the ends of the estuarine system over 5 km inland. The only movement noted was the rise and fall of oil due to tides, causing recoating of channel walls and vegetation with oil.

Laboratory analyses of sediment samples containing oil indicated that practically all of the components boiling lower than C_{13} paraffin and a significant amount of the components in the C_{13} to C_{17} range had been lost. This indicates that the most toxic components, the benzenes and naphthalenes, are no longer present in the residue.

Percentages of water in the intertidal

lo largo de las plantas de la marisma ennegrecidas por el petróleo, se observaron varias acumulaciones de depósitos petrolíferos, ya costeros, semisecos y curtidos. Los dos estuarios que desembocan en la Primera Angostura de la Tierra del Fuego, contenían grandes cantidades de petróleo. El estuario oriental estaba particularmente repleto de petróleo debido a que, por su ubicación, los vientos del noroeste empujaron el petróleo, el cual se movía a lo largo de la orilla, llevándolo al estuario hasta llenarlo prácticamente por completo (Fig. 15). Durante las épocas de mareas altas y ventarrones, una gran cantidad de este petróleo fue llevado hasta canales más pequeños de marea (Fig. 16) y sobre las llanas tierras de pastoreo, dejando charcos de petróleo de 10 a 30 cm (de 4 a 12 pulgadas) de profundidad en los canales, tiñendo de negro y matando la vegetación de las planicies. Estos canales han permanecido completamente llenos de petróleo hasta los extremos del sistema de estuarios, más de 5 km al interior. El único movimiento percibido fue la subida y bajada del petróleo debido a las mareas, occasionando así otros recubrimientos petrolíferos de los muros del canal y de la vegetación.

Los análisis de laboratorio de las muestras sedimentarias que contenían petróleo indicaron que

Table 3. Analysis of Sediment Samples in the Area of the METULA Oil Spill (Warner, 1975)

Análisis de muestras de sedimento en la zona del derramamiento petrolífero del METULA (Warner, 1975).

Sample Designation	Density ^a	Sediment, ^b %	Water, ^c %	CCl ₄ Extractables, %, by Given Method		Petroleum, ^e Contamination
				IR	Gravimetric	
A-1 No Mud ^d	2.14	89.3	10.7	0.0024	0.0059	No
A-1 Mud	1.64	58.9	41.1	0.031	0.049	No
A-2 ^d	1.84	95.4	4.6	0.0050	0.0046	No
C-1 ^d	2.27	89.9	10.1	0.013	0.012	No
C-2 ^d	2.17	89.2	10.7	0.063	0.046	No
C-3 ^d	1.85	69.4	30.6	0.0230	0.034	No
C-5A	1.85	93.7	0.9	5.4	4.9	Yes
C-5B	1.53	53.1	21.5	25.4	20.8	Yes
C-5C ^d	1.78	96.9	3.1	0.0003	0.0009	No
C-6	1.76	96.8	3.2	0.0002	0.0010	No
C-7	1.64	95.1	4.9	0.0002	0.0010	Yes
C-8	1.78	93.4	2.2	4.4	3.6	No
C-9 ^d	1.76	70.5	29.5	0.010	0.010	No
E-1 Surface	1.59	58.2	29.5	12.3	9.2	Yes
E-1 Below Surface	1.89	92.1	5.6	2.3	1.6	Yes
E-2 Below surface	1.71	93.1	5.7	1.2	1.0	Yes
E-3	1.87	95.6	4.4	0.0037	0.0045	Yes
E-4	1.79	98.7	1.3	0.0027	0.0031	Yes
G-2 ^d	2.02	82.4	17.6	0.020	0.0025	Yes
G-3	1.07	14.6	47.5	37.9	33.9	Yes
G-4 Nearby	1.45	91.2	2.6	6.21	5.67	Yes
G-5	1.86	97.1	2.8	0.050	0.044	Yes
G-6	1.93	86.4	13.6	0.046	0.061	Yes
G-7 ^d	1.57	96.2	3.7	0.052	0.060	Yes
G-8	1.59	95.6	4.4	0.028	0.026	Yes
G-9	1.54	93.4	6.6	0.015	0.015	Yes
H-1	2.13	84.6	14.7	0.072	0.082	No
I-1	2.04	80.5	11.9	7.60	6.81	Yes
I-2	1.65	63.4	13.3	13.3	11.5	Yes
I-3 Loose sand	1.64	97.4	2.0	0.60	0.59	Yes
I-3 Asphaltic sand	1.83	85.8	8.0	6.2	5.7	Yes
I-4 Surface	1.04	5.8	49.5	44.7	37.9	Yes
I-4 Below surface	1.95	79.1	13.6	7.3	6.3	Yes
I-5 Surface	1.86	69.5	19.2	11.3	9.7	Yes
I-5 Below Surface	2.16	85.6	9.5	4.9	4.4	Yes
I-6 Surface	0.99	2.6	61.1	36.3	32.5	Yes
I-6 Below surface	1.99	77.9	14.5	7.6	7.2	Yes
X-1 ^d	1.97	93.6	6.4	0.0030	0.0033	No
X-2 ^d	2.83	97.2	2.8	0.0037	0.0044	No
X-3 ^d	2.04	94.3	5.7	0.0016	0.0032	No
X-4	2.29	83.0	17.0	0.0012	0.0015	No

a. Density of wet sample as received.

b. Extracted with carbon tetrachloride and dried.

c. By difference [100-(% sediment + %CCl₄ extractables by IR)].d. The CCl₄ extract contains greater than 5% carbonyl-containing compounds as indicated by absorption in the 1750–1650 cm⁻¹ range.

e. Assessment as determined by gas chromatographic analysis.

sediment samples listed in Table 3 are dependent on the sediment type, intertidal height, the amount of time the sediments have drained between the last high tide and the collection of the sample, and the water content of the mousse obtained with the sediment. Measurements of water in surface samples containing a thick layer of mousse and little sediment indicated the presence of stable mousse containing over 50% water.

In January 1975, the biological impacts of the oil were still significant. Refloated oil and mousse in the water and large accumulations of the unweathered mousse and oil left on the beaches and in the marshes were reported by residents still to be causing sickness and mortality among the cormorants, penguins, and other birds that became oiled or ingested oil-contaminated food. Baker estimated that 3000 to 4000 birds may have been killed by February 1975, and there is no reason to expect the mortality rate to return to normal until most of the mousse is buried or weathers into a more solid, asphaltic material. There is still a danger to the mussel beds outside of the oiled zone (Fig. 17), which may be covered or poisoned by refloated mousse and oil (Fig. 18).

Biological surveys in the intertidal area indicated continuing mortality of the intertidal invertebrates. The number of living species counted in the heavily oiled areas (Table 4) was consistently lower than in areas of no pollution. Because the differences in species numbers cannot be related to natural physical parameters such as sediment sizes, porosity, and amount of water present, it is concluded that the oil pollution has caused the detrimental effects.

At Site H-4 (Table 4) healthy species were found in abundance within meters of heavily oiled areas. Mortality that occurred during and a few months after the spill may have been due to toxicity of the low-boiling components of the oil and to suffocation; mortality five months after the spill appears to be related to suffocation and habitat destruction due to the physical presence of the mousse, rather than to the continued leaching of the soluble components. Living mussels containing hydrocarbons in their tissues were relatively smaller for their shell size and presumably were in ill-health. The changing sediment characteristics, as sand

prácticamente todos los componentes que habían hervido a una temperatura más baja que la parafina C₁₃, y una cantidad significante de componentes en la escala entre C₁₃ y C₁₇, se habían perdido. Esto indica que los componentes más tóxicos los bencenos y las naftalinas - ya no se hallaban presentes en los residuos.

Los porcentajes de agua en las muestras sedimentarias sacadas de las zonas entre mareas y enumeradas en la Tabla 3, dependen del tipo de sedimento, de la altura del sitio en la zona de mareas, de la cantidad de tiempo durante el cual los sedimentos han pasado por un proceso de desaguaje después de la última marea alta, y de la recolección de muestras y el contenido de agua en la espuma del petróleo que fue recogido con los sedimentos. Las medidas de agua tomadas de muestras de la superficie que contenían una gruesa capa de "mousse" y poco sedimento, indicaron la presencia de una capa cremosa estable con un contenido de agua de más del 50%.

En enero de 1975 aún seguía ejerciendo efecto el impacto biológico del derramamiento del petróleo. Cantidadas de petróleo y de "mousse" nuevamente afloje en el agua, así como grandes acumulaciones de "mousse" y petróleo sin desgaste dejadas en la playa y en las marismas, según los residentes de la zona, aún continuaban ocasionando enfermedades y mortalidades entre los corvejones, pingüinos y otras aves que por casualidad resultaban cubiertas de petróleo o que ingerían comida contaminada por éste. Baker estimó que ya para febrero de 1975, hubieran muerto entre 3.000 y 4.000 aves, y no hay por qué creer que la tasa de mortandad vuelva a lo normal sino hasta que la mayoría de "mousse" quede enterrada o se desgaste y se vuelva una materia más sólida y de composición asfáltica. Todavía existe el peligro de daño a los lechos de mejillones fuera de la zona afectada (Fig. 17), la cual puede quedar cubierta o contaminada como resultado de la reflotación de pedazos de la "mousse" o del petróleo (Fig. 18).

Las inspecciones biológicas llevadas a cabo en la zona entre mareas han indicado una continua tasa de mortandad entre los invertebrados de dicha zona. El número de especies vivientes contadas en las áreas más cubiertas de petróleo (Table 4) seguía firmemente más bajo que las observadas en las áreas no contaminadas. Y debido a que las diferencias entre las cantidades de especies no pueden relacionarse a los parámetros físicos naturales, tales como el tamaño de los sedimentos, la porosidad y la cantidad de agua presente, hay que deducir que los efectos nocivos pueden achacarse a la contaminación petrolífera.

En el sitio conocido como H-4 (Tabla 4) se hallaron especies sanas en abundancia a una distancia de algunos metros de las áreas excesivamente cubiertas

Table 4. Relationship Between Living and Dead Invertebrates and Oil Pollution in the Strait of Magellan (from Straughan, 1975)

Relación entre los invertebrados muertos y vivos y la contaminación petrolífera en el Estrecho de Magallanes (según Straughan, 1975).

Sites	A-1	A-2	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	G-1	G-2	G-3	G-4
Crustacea	1	2			2												1			
Annelida	4	3	9	5	3	1		5	1		1	1	1				2	1		
Nemertea																				
Nematoda																				
Sipunculoida																				
Insecta Larvae															1		1			
Mollusca	1				1											2	2	1	1	
Dead Mollusca																			2	
Oil Present							✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Sites	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	H-1	H-2	H-3	H-4	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	X-1	X-2	X-3	X-4
Crustacea							2			1						1	3	2	
Annelida						3	1		12		1	1	1			1	3	5	
Nemertea									1										
Nematoda																	1		
Sipunculoida									1										
Insecta Larvae																	1	1	
Mollusca						1	1	1	1								1	2	
Dead Mollusca							6	1	4	9	36	41	8	4			1		
Oil Present	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				

Note: For locations, see Fig. 10.

Nota: Para ubicaciones, véase Fig. 10.

is bound into an asphaltic-type bed, will also undoubtedly influence the species that will recolonize polluted areas.

Several species of plants were also oiled in the upper intertidal areas at Stations C and I (Fig. 10), and large areas of the tidal marsh were blackened in the vicinity of the two estuaries in the First Narrows. All oiled specimens at Site C-5 had fresh shoots, and 12 out of 32 oiled specimens had fresh shoots at Site I-4. Several other woody plants have also sprouted at Station I, even though at low tide they remained in pools of oil and water about 30 cm (1 ft) deep. Whether new plants will survive there, and whether the tidal marshes could sustain plant life after the oil hardens into an asphaltic material, remain to be seen.

There were no facilities available to

de petróleo. Los casos de mortandad que ocurrieron durante del derramamiento y unos cuantos meses después, pueden haber sido ocasionados por la toxicidad de los componentes petrolíferos hervibles a baja temperatura y a casos de asfixia; los casos de mortandad a los cinco meses del derramamiento parecen relacionarse al fenómeno de la asfixia y al deterioro ecológico ambiental debido a la presencia física del "mousse"; en vez de a la continua lixiviación de los componentes solubles. Los mejillones vivientes que mostraban la presencia de hidrocarburos en sus tejidos eran relativamente más pequeños que el tamaño de su concha, y se presume que sufrían de enfermedad. El hecho de las siempre cambiantes características de los sedimentos, ya que la arena de por sí está fijada a un lecho de tipo asfáltico, indudablemente ejercerá influencia sobre las especies que vuelvan a poblar las áreas contaminadas.

Varias especies de plantas también quedaron cubiertas de petróleo en las zonas altas entre

study the effect of the dissolved or finely dispersed oil on fish, larvae, eggs, and plankton. Local fishermen reported catching tainted fish, and were moving their operations from Bahia Felipe.

mareas en las Estaciones C e I (Fig. 10), y grandes sectores de la marisma formada por las mareas quedaron asimismo ennegrecidos a lo largo de la región de los dos estuarios en la Primera Angostura. Todos los especímenes cubiertos de petróleo en el Sitio C-5 mostraban nuevos retoños, y 12 de entre los 32 especímenes cubiertos de petróleo tenían retoños nuevos en el Sitio I-4. Otras varias plantas leñosas han retoñado también en la Estación I, aun cuando en época de mareas bajas permanecían en charcos de petróleo y agua de unos 30cm (1 pie) de profundidad. Queda por verse si las nuevas plantas sobrevivirán allí y si las marismas podrán mantener una vida vegetal después de que los depósitos petrolíferos se endurezcan y se vuelvan materia asfáltica.

No hubo facilidades disponibles como para estudiar el efecto del petróleo disuelto o finamente dispersado en los peces, las larvas, los huevos y el plancton. Ciertos pescadores de la región dijeron haber cogido peces contaminados y por eso estaban transladando sus operaciones pesqueras de Bahía Felipe a otras partes.

5. CLEANUP CONSIDERATIONS

After an oil spill, cleanup procedures often involve combinations of containment of the oil to the area near the spill, adsorption of the oil into selected materials, application of dispersant and other chemicals, and stabilization and removal of the oil from the water or from contaminated beaches.

It was obvious from the beginning that because of the strong currents and high winds in the area of the *METULA* grounding, the use of conventional booms to restrain the spread of oil would be ineffective. Chemical dispersants and applicators were not available, and even if they had been, weather and the currents would have made their use difficult and their effectiveness questionable. Even in ideal circumstances one part dispersant is required for ten parts of oil so that some 5,000 tons of these chemicals would have been required to deal with the over 50,000 tons of oil released by the accident.

Cleanup of the beaches was also not feasible because of a lack of necessary manpower and equipment to attempt this

5. CONSIDERACIONES DE LIMPIEZA

Después de un derramamiento petrolífero, los procedimientos de la limpieza a menudo involucran combinaciones de contención del petróleo, limitando su alcance al área del derramamiento, la adsorción del petróleo en materias selectas, la aplicación de dispersantes y otros productos químicos y la estabilización y remoción del petróleo de las aguas o de las playas contaminadas.

Era obvio desde un principio que, a causa de las fuertes corrientes y los ventarrones en al área de encalladura del *METULA*, resultaría ineficaz el emplear botalones corrientes para detener el esparcimiento del petróleo. No hubo dispersantes o dispositivos químicos y aun cuando los hubiera habido, habría resultado bastante difícil ponerlos en uso por las condiciones climáticas reinantes en el lugar y las corrientes marinas, y su efectividad, hubiera sido discutible. Aun cuando las condiciones sean propicias se requiere una parte de dispersante por cada diez de aceite, de tal forma que hubiera sido necesario emplear unas 5.000 toneladas de dichos productos químicos a fin de poder acabar con las más de 50.000 toneladas de petróleo derramadas por el accidente.

La limpieza de las playas tampoco fue factible

enormous task. Tierra del Fuego is sparsely populated. Transportation of men, cleanup equipment, and supporting supplies and services to Tierra del Fuego would have been extremely difficult. These resources would have had to come from great distances by sea or air, and even if the resources had been available, large segments of the impacted beaches could not have been approached by the heavy mechanical equipment needed for the cleanup.

Besides these difficulties there were additional concerns about the application of chemicals, and the removal of the oil from the beaches because of the possibility that even greater damage might be done to the environment. It was hoped that natural events, such as successive spring tides, would refloat the oil from the beaches and carry it out to sea, thus alleviating the oil damage to the beaches.

In retrospect, it is clear that the pollution of the beaches could not have been prevented. The decision, therefore, to concentrate efforts to save the ship and to minimize further oil release was logical. The decision whether or not to proceed with cleanup of the beaches had to be weighed against the immense logistical problems cited above, and the costs of such an undertaking. Although it was understood that TOVALOP would reimburse national governments for oil spill cleanup costs, there were concerns that litigations would impede or prevent such reimbursement because of the involvement of Chilean waterways, navigational aids, and pilots. Furthermore, the eastern Magellan Strait was not considered to be a significant biological resource (as opposed to the area south of Punta Arenas which is noted for its king crab fishery) and minor pollution by the local oil industry already existed on Tierra del Fuego. The Chilean authorities decided that in view of these considerations and the other pressing national economic needs, unilateral action for cleanup of the beaches was not warranted.

Subsequently, agreement was reached between the representatives of the Chilean Government and Shell Tankers B.V. Rotterdam on November 7, 1974, on the compensation of costs incurred by the Chilean Government in relation to this accident. The key points of the agreement

debido a falta de mano de obra y de los equipos necesarios para emprender tan enorme tarea. La región de la Tierra del Fuego está escasamente poblada. El transporte de personal, del equipo de limpieza y de otros suministros y servicios hasta la región hubiera resultado extremadamente difícil. Estos recursos hubieran tenido que traerse de grandes distancias, por mar o por aire, y aun cuando hubieran sido disponibles, había grandes secciones de las playas contaminadas que ni siquiera habrían podido ser tocadas por la pesada maquinaria requerida para la limpieza.

Además de estas dificultades había otras preocupaciones adicionales relacionadas a la aplicación de los productos químicos y a la remoción del petróleo de las playas, debido a la posibilidad de mayores estragos ambientales. Se esperaba que la ocurrencia de ciertos eventos naturales, tales como las sucesivas mareas primaverales, ayudara con la remoción del petróleo de las playas, llevándolo mar afuera y así aliviando los daños de petróleo de las playas.

En retrospección, está claro que hubiera sido imposible evitar la contaminación de las playas. De ahí que fuera lógica la decisión de concentrar los esfuerzos en el salvamento del buque-tanque y así disminuir la posibilidad de mayores derramamientos petrolíferos. La decisión de seguir adelante o no con la limpieza de las playas tenía que hacerse tomando en cuenta los enormes problemas logísticos ya mencionados y también los costos de tan enorme empresa. Aunque desde un principio se tenía entendido que TOVALOP iba a reembolsar a los gobiernos nacionales por los gastos de limpieza ocasionados por el derramamiento, existía la preocupación de que los litigios impidieran u obstaculizaran tal reembolso debido a la utilización de vías de agua chilenas, de medios auxiliares de navegación y de pilotos. Más aún, la parte oriental del Estrecho de Magallanes no se consideraba una significativa fuente biológica (al contrario de la región ubicado al sur de Punta Arenas, la cual es conocida por su industria pesquera de centollas) y, además, ya existía en la Tierra del Fuego una contaminación menor causada por la industria petrolífera local. Las autoridades chilenas decidieron que en vista de estas consideraciones y otras necesidades nacionales económicas apremiantes, no podía justificarse una acción unilateral para la limpieza de las playas.

Posteriormente, se llegó a un acuerdo entre los representantes del gobierno chileno y la Shell Tanqueros B.V. Rotterdam el 7 de noviembre de 1974, sobre la compensación de costos incurridos por el gobierno chileno en relación con el accidente. Los puntos principales del acuerdo fueron:

- 1) El gobierno chileno deberá recibir US \$36.185

were:

- 1) The Chilean Government is to receive \$36,185 (U. S.) for actual local expenses incurred in the refloating operations of the *METULA* and for ecological damage observations.
- 2) Up to \$250,000 is provided to the Chilean Government for compensation to the U. S. Government for the actual costs incurred by the U. S. Coast Guard in the lightering and refloating of the *METULA*.
- 3) Up to \$25,000 is provided for two scholarships for designees of the Patagonian Institute to study ecological damage assessment and oil pollution control in England.
- 4) This agreement contains the final and total claims of both parties in regard to costs and compensation derived from the grounding of the VLCC *METULA*.

por los gastos actuales locales incurridos en las operaciones de salvataje del *METULA* y por las observaciones de daños ecológicos.

- 2) Hasta U.S. \$250,000 se provee al gobierno chileno para compensar al gobierno de USA por los gastos actuales incurridos por el Servicio de Guardacostas de USA en el levantamiento y reflotación del *METULA*.
- 3) Hasta US \$25,000 se provee para dos becas para dos personas nombradas por el Instituto de la Patagonia, a fin de estudiar evaluaciones de daños ecológicos y contaminación de petróleo, en Inglaterra.
- 4) Se declaró que este acuerdo contiene lo reclamos finales y totales por ambas partes en relación a costos y compensaciones derivadas de la encalladura del VLCC *METULA*.

6. LESSONS LEARNED FROM THE *METULA* OIL SPILL

One of the most important lessons of the *METULA* oil spill is that the best way to deal with the problem is to prevent it. Prevention should include advanced navigation aids and control mechanisms on land, water, and aboard ships, rigorous control of pilotage, and possibly the restriction of traffic through narrow channels or hazardous waterways during adverse weather and sea conditions.

Because accidents do happen despite precautions, contingency plans should be available to deal with them. In order to minimize damages due to massive oil spills, environmentally sensitive areas must be identified, particularly in locations where winds, tides, or channel widths or depths result in high risk of accidents, and where extraordinary contingency plans and readiness may be required. Tugs, salvage vessels, special mobilization procedures, spill control equipment, adsorbents, and/or dispersants may be required, depending on the location.

6. CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS A TRAVES DEL DERRAMAMIENTO PETROLÍFERO DEL *METULA*

Una de las lecciones más importantes aprendidas del derramamiento petrolífero del *METULA* es que la mejor forma de entenderse con un problema es evitar que suceda. Esta prevención debe incluir avanzados medios auxiliares de navegación y mecanismos de control en la tierra, en el mar y abordo de las naves; un control riguroso de pilotaje y de ser posible, la limitación del tráfico a través de los angostos canales o de las vías fluviales peligrosas durante épocas de condiciones climáticas y marítimas adversas.

Desde que siempre suceden accidentes a pesar de tomarse precauciones, debe disponerse de planes de contingencia para entenderse con ellos. A fin de poder reducir al mínimo los daños ocasionados a causa de los grandes derramamientos petrolíferos, resulta imprescindible identificar las regiones ecológicamente sensibles, especialmente en los sitios donde los vientos, las mareas, las anchuras o profundidades de los canales producen un índice de riesgo muy alto, y donde puedan exigirse planes extraordinarios de contingencia y estado de preparación. También pudieran requerirse remolcadores,

Where prior decision making or logistics prohibit spill intervention, procedures for monitoring and assessing the impact of the spill should be outlined. Where supertankers are involved, these plans should have the flexibility to allow response not only to minor spills, but to massive spills like that of the *METULA* where remoteness and adverse weather conditions prevail.

Most information on the behavior of the oil immediately after the spill came from aerial surveys. Although cloudiness, sun-angle, and the position of satellites with respect to the spill location are limiting, satellites may provide timely and valuable information. Aircraft multi-spectral scanner surveys, on the other hand, can provide detailed information on oil movement, onshore damage, and recovery of vegetation. Both types of survey require field surveys of the impacted area to establish ground truth.

bucos de salvamento, procedimientos especiales de movilización, equipos especiales para el control de derramamientos y absorbentes y/o dispersantes, de acuerdo con el lugar del accidente.

En casos en que el hacer decisiones con anterioridad, o la logística, prohíban una intervención en la escena del derramamiento, debe trazarse con antelación una serie de procedimientos relacionados con la verificación y evaluación del impacto petrolífero. Cuando se trate de utilizar los superbuques petroleros, dichos planes deben incluir suficiente flexibilidad como para permitir una reacción no solamente en casos de derramamientos pequeños sino también en casos de derramamientos cuantiosos, como el del *METULA*, donde prevalezca una situación de lejanía y malas condiciones climáticas.

Las inspecciones aéreas proporcionaron la mayor información sobre la reacción del comportamiento del petróleo inmediatamente después del derramamiento. Aun cuando ciertas condiciones, tales como la nebulosidad, el ángulo del sol y la posición de los satélites, son restrictivas en cuanto al sitio del derramamiento se refiere, los satélites sí pueden proporcionar una información valiosa y oportuna. Las inspecciones aéreas multi-espectrales de exploración, en cambio, pueden proporcionar una información pormenorizada acerca del movimiento del petróleo, de los daños ocasionados en las playas y de la recuperación de la vida vegetal. Ambos tipos de inspecciones exigen investigaciones del campo en las regiones contaminadas, a fin de establecer las condiciones verdaderas.

7. RESEARCH NEEDS

There are thousands of tons of *METULA* oil still in the beach sediments, in the estuaries and tidal channels, on the tidal flats, marsh areas, and on the beach zone. Erosion and leaching of this oil into the Strait of Magellan are going to be a chronic source of pollution for a long time to come. By way of comparison, residuals of a few thousands of gallons of oil spilled from storage tanks in Valdez, Alaska, during the 1964 earthquake were present in the beach sand ten years later.

Although supertanker spills of the 1974 *METULA* magnitude have been unusual, the 1967 *TORREY CANYON* (England), 1975 *TOSA MARU* (Strait of Malacca), and 1975

7. NECESIDAD DE INVESTIGACIONES

Todavía quedan miles de toneladas de petróleo del *METULA* en los sedimentos de las playas, en los estuarios, en los canales y bajos relativos al flujo de las mareas, en las marismas y encima de la zona de las playas. La erosión y la lixiviación de estos depósitos petrolíferos hacia el Estrecho de Magallanes seguirán siendo una fuente crónica de contaminación durante muchos años en el futuro. A manera de comparación, los residuos de unos cuantos miles de galones de petróleo derramado de los tanques de almacenamiento en Valdez, Alaska, durante el terremoto de 1964, aún estaban presentes en los sedimentos arenosos de las playas diez años más tarde.

Aun cuando los derramamientos de los superbuques petroleros de la magnitud del *METULA* en 1974

JACOB MAERSK (Lisbon Harbor) events show that they do happen.

Much, though not all, of the information on the fate and effects of the *METULA* oil in and along the Strait of Magellan, the weathering, erosion, stabilization, or permanent incorporation of the oil into the sediments, and the eventual ecological recovery of the polluted area can be transferred and used for environmental planning in similar areas. Supporting studies on the physical environment, on characteristics of undisturbed flora and fauna, and on ecological processes are also needed for a complete understanding of the results.

The research plan outlined below is for a 4-year period beginning January 1976, after which time the follow-on research can be better identified. The level of effort is presented in terms of professional man-years for the entire period. Necessary overhead and technician, travel, logistic, and administrative support can be estimated by multiplying professional salaries by a factor of 2.0 to 2.5, depending upon the agency or institution doing the work and the amount of ship support needed. The total cost will range from 200 to 300 thousand dollars per year, depending upon detailed work statements to be developed.

Close coordination of United States, Chilean, and international agencies and institutions involved in the research will be established. It is expected that U.S. Federal agencies will include the National Oceanic and Atmospheric Administration, the Coast Guard, the Environmental Protection Agency, the Energy Research and Development Administration, the National Science Foundation, the Department of State, and the Council on Environmental Quality. Chilean agencies may include the Navy, the Ministry of Education, and the Chilean National Petroleum Company (ENAP). International agencies may include UNESCO, UNEP, WHO, and the Organization of American States. University and industrial participation will be developed.

The overall objective of research proposed below is to provide transferable information on the fate and effects of *METULA* oil in and along the Strait of Magellan, the weathering, erosion, stabilization, or permanent incorporation of the oil

han sido raros, los del *TORREY CANYON* (Inglaterra) en 1967, del *TOSA MARU* (Estrecho de Malaca) en 1975 y del *JACOB MAERSK* (Puerto de Lisboa) en 1975, demuestran claramente que tales accidentes siempre suceden.

Una gran parte, aun cuando no toda, de la información adquirida acerca del destino y los efectos del derramamiento petrolífero del *METULA* en y a todo lo largo del Estrecho de Magallanes, trata sobre la acción corrosiva de los elementos naturales, la erosión, la estabilización o la permanente incorporación del petróleo en los sedimentos y la subsiguiente recuperación ecológica de la zona contaminada. Son factores que pueden trasladarse y utilizarse en la planificación ambiental en otras zonas similares del mundo. Se necesitan otros estudios de apoyo sobre el ambiente físico, sobre las características de la flora y fauna inalteradas y sobre los procesos ecológicos para lograr una completa compresión de estos resultados.

El plan de investigación que se presenta más adelante comprenderá un período de cuatro años, a partir de enero de 1976, después del cual investigaciones consecutivas podrán identificarse mejor. El nivel de esfuerzo ha de entenderse desde el punto de vista de años-hombre de profesionales durante el período completo. El apoyo económico necesario para gastos generales, equipo técnico, viajes y otros relacionados con la logística y cuestiones administrativas, pueden calcularse multiplicando los salarios profesionales por un factor de 2.0 a 2.5, de acuerdo con la agencia o institución que realice el trabajo y con la cantidad de asistencia de naves. El costo total oscilará entre los \$200 y los \$300 mil (U.S.) por año, dependiendo de los trabajos detallados que haya que realizar.

Deberá establecerse una íntima coordinación entre las agencias e instituciones estadounidenses, chilenas e internacionales que estuvieron involucradas en la investigación. Es de esperarse que entre las agencias federales estadounidenses se incluyan la Administración Nacional para Asuntos Oceánicos y Atmosféricos, el Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos, la Agencia para la Protección Ambiental, la Administración para la Investigación y el Desarrollo de la Energía, la Fundación Nacional para las Ciencias, el Departamento de Estado y el Consejo para el Mejoramiento de la Calidad Ambiental. Entre las agencias chilenas pueden figurar la Armada, el Ministerio de Educación y la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). Las agencias internacionales pueden incluir la UNESCO, la UNEP, la WHO y la Organización de Estados Americanos. Además, se fomentará el interés por parte de las universidades y corporaciones industriales.

into the sediments, and the eventual ecological recovery of the area. The scope of the work will include information essential to environmental planning in similar areas in other parts of the world.

Disciplinary research objectives are summarized below according to (1) physical oceanography and geology, (2) biology, (3) hydrocarbon chemistry, and (4) operations research.

El propósito general de la investigación propuesta abajo es de proporcionar información reportable sobre el destino y los efectos del petróleo derramado del *METULA* en y a lo largo del Estrecho de Magallanes, el desgaste de los elementos naturales, la erosión, la estabilización o la permanente incorporación del petróleo en los sedimentos y la subsiguiente recuperación ecológica de la zona contaminada. El alcance de esta tarea incluirá la información necesaria para la planificación en áreas similares de otras partes del mundo.

Las metas disciplinarias de investigación se dan abajo en forma de resumen según:

1) la oceanografía física y la geología, 2) la biología, 3) la química de hidrocarburos y 4) la investigación de operaciones.

8. THE RESEARCH PLAN

8.1 Physical Oceanography and Geology

Establish the general circulation pattern and its variation depending on tide and wind conditions in the eastern Strait of Magellan, and the strength and variation of tidal currents with depth and location within this area. (4 man-years)

Determine the detailed bathymetry of the Strait and the bottom sediment characteristics. Both of these will contribute to improved navigation research efforts, and identification of the processes that control the distribution of sediments in the area. (2 man-years)

Establish the coastal geomorphology and beach profiles along selected sites, and measure seasonal beach erosion, aggradation, and sediment movement. Emphasis should be given to mineralogical and grain size factors that control incorporation of oil into the sediments. (1 man-year)

Determine the geological conditions that control the causes and rates of down-slope movement of oil and mousse in the beach sediments. These studies should establish the role of shore geology in retaining or passing oil driven there by winds and waves, and the mobility of that oil in the sediments depending on grain

8. PLAN DE INVESTIGACIÓN

8.1 Óceanografía Física y la Geología

Establecer el patrón general de circulación y su variación de acuerdo con las condiciones de las mareas y los vientos en la parte oriental del Estrecho de Magallanes, así como la fuerza y variación de las corrientes relativas al flujo de las mareas con la profundidad y la ubicación dentro de esta área. (4 años-hombre).

Determinar la batimetría exacta del Estrecho y las características de los sedimentos del fondo marítimo. Ambas características contribuirán a un mejoramiento de las condiciones de navegación, así como los esfuerzos de investigación y la identificación de los procesos que controlan la distribución de los sedimentos del área. (2 años-hombre).

Establecer la geomorfología costera y los perfiles de la playa a lo largo de ciertos sitios selectos y medir la erosión estacional de las playas, de la agradación y del movimiento de los sedimentos. Habrá que poner énfasis en los factores mineralógicos y el tamaño de los granos, factores éstos que controlan la incorporación del petróleo en los sedimentos. (1 año-hombre).

Determinar las condiciones geológicas que controlan las causas y la razón del movimiento del petróleo cuesta abajo, y de la espuma de petróleo ("mousse") en los sedimentos playeros. Estos estudios deberán establecer la contribución de la geología de las playas al retener o alejar el

size, porosity, tidal variations, interstitial water levels, and the viscosity of the oil. (1 man-year)

petróleo llevado hasta ellas por los vientos y las olas, y la movilidad de ese petróleo dentro de los sedimentos de acuerdo con el tamaño de los granos, su porosidad, las variaciones en las mareas, los niveles intersticiales de las aguas y la viscosidad del petróleo. (1 año-hombre).

8.2 Biology and Microbiology

Inventory the terrestrial, tidal, and subtidal marine plants, animals, fish, and birds in areas not affected by the spill, and establish a reference collection of these. Particular emphasis should be placed on the king crab population. Biological aspects of the Strait of Magellan ecosystem should be described, and a baseline for monitoring rehabilitation of the impacted environment should be developed. (3 man-years)

Assess the continuing impact of the oil found on the beaches and in the sediments on the intertidal and subtidal marine organisms, especially in regard to sickness and mortality, reproduction, and repopulation of the area. The biological stations sampled in January 1975 should be reoccupied at semiannual intervals for 2 years and at annual intervals thereafter to accomplish this task. Changes in faunal and floral composition with location, hydrocarbon species, sediment type, and organic carbon in Bahía Felipe should be determined. (2 man-years)

Survey the eastern estuary and marsh area seasonally to determine continuing impacts of the spill on plant life and habitat destruction. Terrestrial, tidal, and subtidal revegetation rates should be determined. (1 man-year)

Continue assessment of sickness and fatality of marine waterfowl, and establish what conditions will cause a reduction and eventual termination of bird fatality due to the oil spill. (1 man-year)

Establish the effects of finely dispersed and dissolved oil on fish, larvae, eggs, phytoplankton and zooplankton. This will require sampling in pristine (or background) as well as polluted areas, and the determination of hydrocarbons in seawater

8.2 Biología Microbiología

Hacer un inventario de las plantas marinas, terrestres, y las que habitan las mareas, y de los animales, los peces y las aves en regiones no afectadas por el derramamiento, y establecer una colección de éstos para ser usada como fuente de referencia. Hay que poner un énfasis especial en la colonia de centollas. Deberán describirse los aspectos biológicos del ecosistema del Estrecho de Magallanes y a la vez desarrollarse una línea de base para revisar la rehabilitación del medio ambiente contaminado. (3 años-hombre).

Valorar el impacto continuado del petróleo encontrado en las playas y en los sedimentos de los organismos marinos que habitan las regiones de entre mareas y de mareas bajas, especialmente en cuanto se refiere a enfermedades y a la mortandad, a la reproducción y a la recolonización del área. Para llevar a cabo esta tarea, las estaciones para muestras biológicas que fueron utilizadas en enero de 1975 deberán ser habitadas nuevamente a intervalos semestrales durante los dos primeros años y posteriormente a intervalos anuales. Deberán determinarse en Bahía Felipe los cambios efectuados en la composición de la flora y fauna, con el sitio, las especies hidrocarbúricas, el tipo de sedimento y la cantidad de carbono orgánico. (2 años-hombre).

Examinar el estuario oriental y la zona de las marismas a fin de determinar el impacto continuado ocasionado por el derramamiento, en la vida vegetal y en la destrucción del ambiente natural. Deberá determinarse las proporciones de regeneración vegetal en la superficie terrestre y de las zonas de mareas y de sub-mareas. (1 año-hombre).

Continuar la evaluación de la tasa de enfermedad y mortandad de las aves acuáticas marinas y establecer las condiciones que causarán una reducción de la dicha mortandad de las aves debido al derramamiento petrolífero. (1 año-hombre).

Establecer los efectos del petróleo finamente dispersado y disuelto, en los peces, las larvas, los huevos y en el fitoplancton y el zooplancton. Esto requiere muestras en áreas tanto prístinas como

as well as in animal tissue. (1 man-year)

contaminadas, y determinar los hidrocarburos en las aguas marítimas, así como en los tejidos animales. (1 año-hombre).

8.3 Hydrocarbon Chemistry

Determine the physical, chemical, and biochemical processes and rates of hydrocarbon degradation in the vicinity of the spill. Include assessments of which petroleum components are solubilized, evaporated, or incorporated into the biological system. The respective roles and intermediate products of photooxidation, chemical oxidation, and microbiological breakdown should also be determined. (3 man-years)

Inventory and characterize the hydrocarbons in the marine biota, waters, and sediments, both in the vicinity and away from the spill. This task should be accomplished through semiannual or annual samplings and determinations, to establish the gradual recovery of the area. (½ man-year)

Perform inter- and intra-laboratory comparisons of hydrocarbon analytical techniques, with an overall objective of simplifying analytical techniques while maintaining analytical quality control. (½ Man-year)

8.3 Química de Hidrocarburos

Determinar los procesos físicos, químicos y bioquímicos, y las tasas de degradación de hidrocarburos en el área del derramamiento. Incluir evaluaciones acerca de los componentes petrolíferos que se solubilizan, evaporan o son incorporados al sistema biológico. También deberán determinarse las funciones respectivas y los productos intermedios de la fotooxidación, la oxidación química, y la descomposición microbiológica. (3 años-hombre).

Hacer inventario y caracterizar los hidrocarburos en la biota marina, en las aguas y los sedimentos, tanto en las inmediaciones como en las zonas distanciadas del lugar del derramamiento. Esta tarea deberá llevarse a cabo a través de muestras y determinaciones anuales y semi-anuales; todo esto a fin de establecer la gradual recuperación del área. (½ año-hombre).

Realizar inter- e intra-comparaciones de laboratorio con respecto a las técnicas analíticas de hidrocarburos, con el propósito de simplificar las técnicas analíticas, y a la vez mantener un control analítico de la calidad. (½ año-hombre).

8.4 Operations Research

The *METULA* accident forced the Chilean authorities to make important appraisals in a very short time as to what actions should be taken. The lessons learned from the *METULA* incident highlight the need for institutional or operations research on decision-making when a major oil spill occurs. The following research will provide national and state authorities with a rationale for the necessary decision-making framework:

Identify procedures for cleanup of massive spills in remote though environmentally sensitive areas.

Identify and evaluate institutional, economic, and environmental factors for determining whether spills should be cleaned up.

8.4 Investigación de Operaciones

El accidente del *METULA* obligó a las autoridades chilenas a hacer valoraciones en muy breve plazo en cuanto a las medidas que debían tomarse al respecto. Los conocimientos adquiridos a través del accidente del *METULA* ponen de relieve la necesidad de realizar más investigaciones de tipo institucional u operacional con respecto a hacer decisiones cuando ocurra un derramamiento petrolífero de gran envergadura. Las siguientes investigaciones proporcionaran a las autoridades nacionales y estatales una razón fundamental en el proceso de hacer decisiones:

Identificar los procedimientos propios a la limpieza de derrames grandes en áreas alejadas pero ecológicamente sensibles.

Identificar y evaluar factores institucionales, económicos y ambientales a fin de determinar si los derrames deberán o no limpiarse.

Begin to compile data base of environmental information to identify and characterize high-risk areas.

The level of effort for this research has not been assessed. Approximately one-half man-year is required for project development.

Comenzar a recopilar una base de datos ambientales a fin de identificar y caracterizar las áreas de alto riesgo.

El nivel de esfuerzo para esta investigación aún no ha sido evaluado. Se requiere por lo menos medio año-hombre para efectuar un desarrollo íntegro del proyecto.

9. SUMMARY

The August 1974 *METULA* oil spill in the Strait of Magellan was an extremely large one in a remote area to which, for various and sufficient reasons, cleanup and remedial measures were not applied. Initial obvious economic impacts of the spill on the environment were not large. Long-term effects are yet to be measured and there is a unique opportunity for Chilean, United States, and international agencies and institutions to develop valuable and transferable environmental information for use in planning and predicting impacts and remedial measures elsewhere. Some of the most important research needs, as determined in discussions held in Boulder, Colorado, by an international group of researchers and managers, are outlined in this report. This outline will serve to promote understanding of the problem by environmental managers, and to orient research efforts that will be addressed by the scientists. Close cooperation, joint participation, and full exchange of information on future research are considered essential.

9. SUMARIO

El derramamiento petrolífero del *METULA* de agosto de 1974 en el Estrecho de Magallanes resultó ser de gran envergadura, habiendo sucedido en una zona bastante alejada. Por lo tanto, y por varias y adecuadas razones, no se llegó a aplicar medidas de limpieza y remedio. El primer impacto económico del derramamiento en el ambiente fue obvio pero no grande. Los efectos a largo plazo aún quedan por juzgarse. De ahí que las agencias e instituciones chilenas, estadounidenses e internacionales se vean obligadas a proseguir en el desarrollo de una valiosa información ecológica, la cual podría reportarse y usarse en la planificación y el pronóstico de más impactos y medidas remediales en otras áreas del mundo. En este informe quedan esbozadas algunas de las necesidades de investigación más apremiantes, de acuerdo con una serie de reuniones llevadas a cabo en Boulder, Colorado, y a las cuales asistió un grupo internacional de investigadores y empresarios. Este compendio servirá de estímulo para fomentar una mayor comprensión del problema por parte de dichos empresarios a cargo de la conservación del ambiente natural, y también de orientación a los esfuerzos de investigación a que tendrán que dirigirse los científicos en el futuro. De ahí que sea de suma importancia asegurar una estrecha cooperación, una participación conjunta y un completo intercambio de información para toda labor de investigación que se emprenda en años venideros.

10. ACKNOWLEDGMENTS

This report is drawn primarily from the reports of Rear Adm. Price, Dr. Roy W. Hann, Jr., and Dr. Dale Straughan, which are included in Appendix B, and from data obtained from the National Oceanographic Data Center. The authors gratefully ac-

10. RECONOCIMIENTO

Este informe se basa principalmente en los estudios del Contraalmirante Price, el Dr. Roy W. Hann, Jr., y la Dra. Dale Straughan, quienes están incluidos en el Apéndice B, y en los datos obtenidos del Centro Nacional Oceanográfico de Información (National Oceanographic Data Center). Los autores reconocen

knowledge the contributions and recommendations of Drs. Hann and Straughan, and the participants at the June 1975 *METULA* workshop. We thank the U. S. Coast Guard for providing reports on their observations and refloating operations of the VLCC *METULA*, and for allowing the reproduction of the reports of Dr. Hann and Rear Admiral Price.

The authors are deeply indebted to Dr. Hann for providing photographs and for numerous helpful discussions. Additionally, we gratefully acknowledge Dr. John R. Proni and Dr. Herold Mofjeld of the NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratories for assisting with the tidal computations, background and research needs in the physical oceanography and satellite-application areas.

It is a special pleasure to acknowledge the assistance of the members of the Patagonian Institute, Punta Arenas, Chile; the assistance and hospitality of the ENAP personnel in Tierra del Fuego; and the untiring interest and support of Contralmirante Eduardo Allen, of the Chilean Navy, and his staff.

con agradecimiento los aportes y recomendaciones de los Drs. Hann y Straughan, así como de los asistentes a la mesa redonda sobre el *METULA* que se llevó a cabo en junio de 1975. Asimismo expresamos nuestro agradecimiento al Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos por su cooperación al suministrarnos los reportajes de sus observaciones y operaciones de reflotación del VLCC *METULA*, y por habernos permitido la reproducción de los estudios del Dr. Hann y del Contraalmirante Price.

Los autores agradecen infinitamente al Dr. Hann el habernos proporcionado las fotografías y sus muchos y valiosos consejos. Además, quedamos muy agradecidos al Dr. John R. Proni y al Dr. Harold Mofjeld, de los Laboratorios de Oceanografía y Meteorología del Atlántico, NOAA (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratories) por haber tenido la gentileza de ayudarnos en la computación de las mareas; y los antecedentes fundamentales necesarios para la investigación en las áreas de oceanografía física y de aplicación satelital.

Nos complace sobremanera poder reconocer la valiosa ayuda de los miembros del Instituto de la Patagonia de Punta Arenas, la ayuda y hospitalidad del personal de la ENAP en la Tierra del Fuego; y, por último, el interés y respaldo infatigables del Contralmirante Eduardo Allen de la Armada de Chile, y su cuerpo de administración.

11. BIBLIOGRAPHY

Baker, J.M.

Grounding of "METULA"; Magellan Straits ecological survey, 9th September—4th October 1974. Unpublished report, Oil Pollution Research Unit, Pembroke, England, 1974.

Baker, J.M., Campodonico, I., Guzman, L., Texera, J.J., Texera, B., Venegas, C., and Sanhueza, A.

An oil spill in the Straits of Magellan. Unpublished report, Oil Pollution Research Unit, Pembroke, England, 1975.

Berridge, S.A., Thew, M.T., and Loiston-Clarke, A.G.

The formation and stability of emulsions of water in crude petroleum and similar stocks. Journal of the Institute of Petroleum, v.54, p.333-357, 1968.

Hann, R.W. Jr.

Oil pollution from the tanker *METULA*. Report to U.S. Coast Guard, Texas A & M University, College Station, Texas, 1974. (In Appendix B)

11. BIBLIOGRAFÍA

Baker, J. M.

Encalladura del "METULA". Inspección ecológica del Estrecho de Magallanes, 9 de septiembre - 4 de octubre, 1974 (Grounding of "METULA"; Magellan Straits ecological survey, 9th September - 4th October 1974). Estudio sin publicar, Centro para la Investigación de la Contaminación Petrolífera, Pembroke, Inglaterra, 1974.

Baker, J. M., Campodonico, I., Guzman, L., Texera, J. J., Texera, B., Venegas, C., y Sanhueza, A.

Un derramamiento petrolífero en el Estrecho de Magallanes (An oil spill in the Straits of Magellan). Estudio sin publicar, Centro para la Investigación de la Contaminación Petrolífera, Pembroke, Inglaterra, 1975.

Berridge, S. A., Thew, M. T., y Loiston-Clarke, A. G.

La formación y estabilidad de emulsiones de agua en petróleo crudo y materias similares (The formation and stability of emulsions of water in crude petroleum and similar stocks), Revista del Instituto de Petróleo, v. 54, págs. 333-357, 1968.

Hann, R. W., Jr.

Contaminación del buque-tanque *METULA* (Oil

- Hann, R.W., Jr.
Follow-up field study of the oil pollution from the tanker "METULA." Report to U.S. Coast Guard, Texas A & M University, College Station, Texas, 1975. (In Appendix B)
- Jerez, M., and Arancibia, M.
Trazada de isoyetes del Centro-Oriental de la Provincia de Magallanes. Publicación del Instituto de la Patagonia, Serie Monografías no. 4, Punta Arenas, Chile, 1972.
- Price, R.I.
Report of the VLCC *METULA* grounding, pollution, and refloating in the Strait of Magellan in 1974. Unpublished Report, U.S. Coast Guard, 1974. (In Appendix B)
- Straughan, D.
Biological survey of intertidal areas of the Strait of Magellan in January 1975, five months after the *METULA* oil spill. Final report to MESA Program Office, MESA TM 10, 1975. (In Appendix B)
- Warner, J.S.
Determination of petroleum components in samples from the *METULA* oil spill. Final report to MESA Program Office, MESA Data Report 4, 1975. (In Appendix B)
- Hann, R. W., Jr.
pollution from the tanker *METULA*), Informe presentado al Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos, Universidad A & M de Texas, College Station, Texas, 1974. (en Apéndice B)
- Éstudio posterior de campo sobre la contaminación petrolífera del buque-tanque "METULA," (Follow-up field study of the oil pollution from the tanker "METULA"). Informe presentado al Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos, Universidad A & M de Texas, College Station, Texas, 1975. (en Apéndice B)
- Jerez, M., y Arancibia, M.
Trazada de isoyetes del Centro-Oriental de la Provincia de Magallanes. Publicación del Instituto de la Patagonia, Serie Monografías no. 4, Punta Arenas, Chile, 1972.
- Price, R. I.
Informe sobre la encalladura, la contaminación y la reflotación del VLCC *METULA* en el Estrecho de Magallanes en 1974, (Report of the VLCC *METULA* grounding, pollution, and refloating in the Strait of Magellan in 1974). Informe sin publicar, Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos, 1974. (en Apéndice B)
- Straughan, D.
Inspección general biológica de zonas entre mareas altas y bajas del Estrecho de Magallanes en enero de 1975, a los cinco meses del derramamiento petrolífero del *METULA*, (Biological survey of intertidal areas of the Strait of Magellan in January, 1975, five months after the *METULA* oil spill). Informe final presentado a la Oficina de Programación de MESA, MESA TM 10, 1975. (en Apéndice B)
- Warner, J. S.
La determinación de los componentes petrolíferos en muestras tomadas del derrame petrolífero del *METULA*, (Determination of petroleum components in samples from the *METULA* oil spill). Informe final presentado a la Oficina de Programación de MESA, MESA Data Report 4, 1975. (en Apéndice B)

APPENDIX A

MESA PROGRAM OFFICE METULA OIL SPILL WORKSHOP

June 24 – 25, 1975

ATTENDEES

Mr. Arthur G. Alexiou
Office of Sea Grant, NOAA

Dr. Edward G. Altouney
Marine Ecosystems Analysis Program
Office, NOAA

Mr. Ralph A. Brown
EXXON

Dr. Herbert E. Bruce
Northeast Gulf of Alaska
Outer Continental Shelf Environmental
Assessment Program Office, NOAA

Professor Italo Campodonico
Patagonian Institute

Dr. Rita Colwell*
University of Maryland

Commander Hernan Ferrer
Chilean Embassy

Commander David B. Flanagan
U. S. Coast Guard

Mr. David Friis
Outer Continental Shelf Environmental
Assessment Program Office, NOAA

Dr. Victor Gallardo
Woods Hole Oceanographic Institute

Dr. Michael Gruenfield
Environmental Protection Agency

Mr. Charles G. Gunnerson*
Marine Ecosystems Analysis Program
Office, NOAA

Dr. Roy W. Hann*
Texas A & M University

Dr. Howard S. Harris
Marine Ecosystems Analysis Puget Sound
Project Office, NOAA

APENDICE A

MESA REDONDA PATROCINADA POR LA OFICINA DE PROGRAMACIÓN DE MESA SOBRE EL DERRAMAMIENTO PETROLÍFERO DEL METULA

Junio 24 y 25, 1975

ASISTENTES

Sr. Arthur G. Alexiou
Oficina de "Sea Grant," NOAA

Dr. Edward G. Altouney
Oficina de Programación para el Análisis
de Ecosistemas Marinos, NOAA

Sr. Ralph A. Brown
EXXON

Dr. Herbert E. Bruce
Gulf Noreste de Alaska
Oficina de Programación para el Avalúo del
Ambiente de la Plataforma Submarina
Continental Exterior, NOAA

Professor Italo Campodonico
Instituto de la Patagonia

Dra. Rita Colwell*
Universidad de Maryland

Comandante Hermán Ferrer
Embajada de Chile

Comandante David B. Flanagan
Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos

Sr. David Friis
Oficina de Programación para el Avalúo del Ambiente
de la Plataforma Submarina Continental Exterior,
NOAA

Dr. Victor Gallardo
Instituto de Oceanografía Woods Hole

Dr. Michael Gruenfield
Agencia para la Protección del Medio Ambiente

Sr. Charles G. Gunnerson*
Oficina de Programación para el Análisis
de Ecosistemas Marinos, NOAA

Dr. Roy W. Hann*
Universidad A & M de Texas

Dr. Howard S. Harris
Análisis de Ecosistemas Marinos, Oficina de
Planificación Puget Sound, NOAA

Mr. L. P. Haxby Shell Oil Company	Sr. L. P. Haxby Compañía Petrolífera "Shell"
Dr. Harry Hertz National Bureau of Standards	Dr. Harry Hertz Oficina Nacional de Reglamentos (National Bureau of Standards)
Dr. Wilmot N. Hess Environmental Research Laboratories, NOAA	Dr. Wilmot N. Hess Laboratorios para la Investigación Ambiental, NOAA
Mr. Kent Hughes Environmental Data Service, NOAA	Sr. Kent Hughes Servicio de Información Ambiental, NOAA (Environmental Data Service)
Dr. Eric Levy Bedford Institute of Oceanography/UNESCO	Dr. Eric Levy Instituto de Oceanografía Bedford/UNESCO
Dr. George Llano National Science Foundation	Dr. George Llano Fundación Nacional para las Ciencias (National Science Foundation)
Dr. Edward P. Myers Marine Ecosystems Analysis Program Office, NOAA	Dr. Edward P. Myers Oficina de Programación para el Análisis de Ecosistemas Marinos, NOAA
Dr. Ralph Perhac National Science Foundation	Dr. Ralph Perhac Fundación Nacional para las Ciencias
Dr. George Peter Marine Ecosystems Analysis Program Office, NOAA	Dr. George Peter Oficina de Programación para el Análisis de Ecosistemas Marinos, NOAA
Dr. Richard Swartz Environmental Protection Agency	Dr. Richard Swartz Agencia para la Protección del Medio Ambiente
Dr. Dale Straughan* University of Southern California	Dr. Dale Straughan Universidad de California del Sur
Dr. Alan R. Thomas Office of Programs, ERL/NOAA	Dr. Alan R. Thomas Oficina de Programas, ERL/NOAA
Dr. Scott Warner* Battelle Columbus Laboratories	Dr. Scott Warner* Laboratorios Battelle Columbus
Mr. John Whitman Smithsonian Institution	Sr. John Whitman Instituto Smithsonian
Dr. William Yotko National Environmental Satellite Service, NOAA	Dr. William Yotko Servicio Nacional Ambiental Satelital, NOAA

*Principal Investigators

*Investigadores principales

APPENDIX B

REPORTS ON THE METULA OIL SPILL: ABSTRACTS

Full text of the reports abstracted here may be found on microfiche inside back cover.

Hann, R. W., Jr. Oil Pollution from the Tanker *METULA*. Report to U.S. Coast Guard, Texas A&M University, 1974.

On August 9, 1974, the *METULA*, a 206,000-ton-dead-weight VLCC (Very Large Crude Carrier) enroute from Ras Tenura, Saudi Arabia, to Quintero Bay, Chile, with a load of 195,673 tons of Arabian light crude, ran aground on the Satallite Patch Shoal in the Strait of Magellan. The author was detailed by the U.S. Coast Guard to proceed to the spill site to serve in the capacity of Science Advisor to the U.S. National Strike Force sent to assist the Chilean government in abating the effects of the spill.

This report summarizes:

- a. History of the spill.
- b. Deposition of oil on the shore.
- c. Impact of the oil on the shore.
- d. Comments regarding feasibility of containment, cleanup, and stabilization.
- e. Lessons learned from the *METULA* spill.

Hann, R. W. Jr. Follow-up Field Study of the Oil Pollution from the tanker *METULÁ*. Report to U.S. Coast Guard, Texas A&M University, 1975.

The residual oil pollution, as the result of the August 9, 1974 accident of the VLCC *METULA* in the Strait of Magellan, was investigated by a team of United States and Chilean scientists in January 1975. Members of the team took geological, biological, and oil and mousse samples, and made estimates on the amount of oil and mousse found still in the beach sand, and in the estuaries and waters of the Strait. It was concluded that the majority of the oil that came ashore in August and September 1974 is still ashore, and will be a chronic source of pollution through leaching and erosion for a long time to come.

This report summarizes:

- a. History of the spill.
- b. Deposition of oil on the shore.
- c. Impact of the oil on the shore.
- d. Comments regarding feasibility of containment, cleanup, and stabilization.

Price, R. I. Report of the VLCC *METULA* Grounding, Pollution, and Refloating in the Strait of Magellan in 1974. Unpublished report, U.S. Coast Guard, 1974.

This report contains a detailed, factual account of the information known about the grounding

APENDICE B

Informes Sobre e Derramamiento Petrolífero del *METULA*

Hann, R. W., Jr., Contaminación Petrolífero del Buque-tanque *METULA*, 1974.

Hann, R. W., Jr., Estudio de Campo Posterior a la Contaminación Petrolífera del Buque-tanque *METULA*, 1975.

Price, R. I., Informe Sobre la Encalladura, Contaminación y Reflotación del VLCC *METULA* en el Estrecho de Magallanes en 1974, 1974.

Straughan, D., Reconocimiento Biológico de Zonas Ubicadas entre Mareas del Estrecho de Magallanes en Enero de 1975, Cinco Meses después del Derramamiento Petrolífero del *METULA*, 1975.

Warner, J. S., Determinación de los Componentes Petrolíferos Tomados de Muestras del Derrame Petrolífero del *METULA*, 1975.

of the VLCC *METULA* in the Strait of Magellan, the resulting pollution, and the subsequent off-loading and refloating operations performed with the assistance of the U.S. Coast Guard. Information is provided on:

- a. Grounding and damage.
- b. Ship's characteristics.
- c. Interests in ship and cargo.
- d. Conditions at site of grounding.
- e. Salvage of ship and cargo.
- f. Pollution.

Straughan, D. Biological Survey of Intertidal Areas of the Strait of Magellan in January 1975, Five Months After the *METULA* Oil Spill. MESA TM 10, 1975.

In January 1975, a survey of the intertidal invertebrates was performed in the Magellan Strait in the vicinity of the areas polluted by oil released during the grounding of the super tanker *METULA*. Comparisons of population density and species diversity were made between nonpolluted sites and sites of differing degree pollution, as well as between the physical characteristics of the sediments taken with the samples. The results of the study suggest that the amount of oil pollution correlates with low numbers of species diversity and population density, and with high mortality rate.

Warner, J. S. Determination of Petroleum Components in Samples from the *METULA* Oil Spill. MESA Data Report 4, 1975.

Forty-one sediment samples and seven tissue samples taken from the area of the *METULA* oil spill in the Strait of Magellan were analyzed for petroleum components. Gas chromatographic and mass spectrometric analyses showed similarities between the oils found in the samples and those taken directly from the *METULA*, thus establishing that the contamination of the samples was caused by *METULA* oil. The only difference between whole *METULA* oil and the petroleum found in the samples was that in the latter almost all the components boiling lower than C₁₃ n-paraffin, and large amounts in the C₁₃ to C₁₇ range were lost. This report describes the experimental work and the recommendations for future investigations.

NOAA COASTAL SERVICES CENTER LIBRARY



3 6668 14106 8504