

DIRECCION NACIONAL DEL ANTARTICO
INSTITUTO ANTARTICO ARGENTINO
MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES, COMERCIO
INTERNACIONAL Y CULTO

2008

INFORME CIENTIFICO TECNICO SOBRE EL HUNDIMIENTO
DEL M/V EXPLORER^(*)

^(*) Este informe ha sido elaborado sobre la base de la información suministrada por investigadores, técnicos y científicos de la Dirección Nacional del Antártico y del Instituto Antártico Argentino.

Introducción

En la madrugada del 23 de noviembre de 2007, el MV *Explorer*, un buque de turismo de bandera liberiana, de 73 metros de eslora y 14 metros de manga, colisionó contra un iceberg a aprox. 40 km de la Isla 25 de Mayo y 96 km de la península Antártica (latitud. 62° 24' 24" S, longitud 57° 17'00" W), sufriendo serios daños y el ingreso de agua en la embarcación. Dos horas después, dada la gravedad del impacto, los 100 pasajeros y los 54 tripulantes debieron abandonar el buque empleando embarcaciones neumáticas tipo Zodiac y balsas salvavidas.

Esa madrugada, las 0:50 horas, un miembro de la tripulación del buque informó a la estación costera de la Prefectura Naval Argentina de la ciudad de Ushuaia, que el buque había colisionado contra un objeto, lo que había provocado un rumbo de gran magnitud. Desde la Prefectura Naval Argentina, se dio aviso a la Armada Argentina, la que tomó a su cargo la coordinación de las tareas de búsqueda y salvamento atento su responsabilidad SAR en el Atlántico Sur. Como resultado de las averías y el permanente ingreso de agua, el buque se escoró marcadamente, hundiéndose, finalmente, a las 15.30 hora local.

El buque M/V *Explorer* había informado las siguientes características:

Buque *Explorer*, señal distintiva ELJD8

Bandera: Liberia

Propietario: V Ships Leisure

Eslora: 72,86 mts, Manga: 14 mts, Puntal: 12 mts.

Combustible (capacidad máxima): 185.000 lts de gas oil.

Tripulación: 54 personas – Pasajeros: 100 personas

La Armada Argentina prestó asistencia radioeléctrica, realizando tareas de coordinación entre todos los navíos disponibles que se encontraban cerca de la zona del accidente para proceder al rescate de los pasajeros que se encontraban distribuidos en ocho botes semirígidos y seis balsas salvavidas. De esta manera, se facilitó la intervención del crucero *Nordnorge* de bandera noruega, del *Antarctic Dream*, de bandera chilena y del *National Geographic Endeavour*, de bandera bahamesa, los que trasladaron a los naufragos a los centros de socorro más cercanos, permitiendo así su traslado posterior al continente sudamericano. En esa oportunidad, los grupos de rescate que llegaron a la zona observaron la presencia de un derrame de combustible, y alertaron respecto de un posible daño ambiental.

Luego del hundimiento, y una vez que todos los pasajeros y tripulación se encontraban a salvo, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, la Cancillería y la Armada Argentina realizaron las primeras evaluaciones ambientales a partir del 24 de Noviembre de 2007, comenzando con sobrevuelos en la zona del hundimiento con aviones de patrulla marítima Orion P-3 de la Armada Argentina, que posteriormente se continuaron con una regularidad de 7 a 10 días. Se realizó también el posterior monitoreo in situ por medio del buque ARA *Suboficial Castillo* para evaluar la evolución e impacto de la mancha de combustible que se podía observar. En las tareas de monitoreo participaron especialistas de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, de la Dirección Nacional del Antártico y de la Armada Argentina, así como científicos del Instituto Antártico Argentino.

En todos los casos, se observó una mancha de características similares a los derrames de gasoil, lo que luego quedó confirmado en los muestreos realizados. Para ello se trabajó con equipos científico técnicos mixtos para establecer un programa de estudios y monitoreos en la zona.

Inicialmente el derrame fue descrito como una mancha iridiscente, posiblemente de gasoil, de aproximadamente 20 metros de ancho por 200 metros de longitud. Luego del hundimiento, se continuó observando el afloramiento de hidrocarburos que generaban manchas oleosas de menor tamaño.

Las características del derrame y la zona de hundimiento - pleno mar abierto con la costa más cercana a aproximadamente a 50 km, una profundidad estimada en 1500 metros, la permanente presencia de hielo y témpanos, los vientos y la corriente dominante con sentido sur/norte- no permitieron ningún tipo de maniobra de recuperación del combustible, excepto la dispersión mecánica de la mancha superficial.

Según lo declarado por los operadores turísticos, el MV *Explorer* se hundió con un cargamento estimado de 185 m³ de gasoil, 1000 litros de gasolina y 24 m³ de lubricante. En este contexto, resulta necesario examinar el posible destino de estos hidrocarburos y los riegos potenciales para el medio marino.

Es de utilidad tener en cuenta factores de otros derrames (i.e. buque Nordkapp):

- La zona intermareal podría ser la más impactada por la mancha oleosa, afectando diversas matrices tales como lapas, macroalgas, aves, sedimentos y rocas.

- Las lapas pueden ser la matriz más altamente impactada, con una mortalidad estimada en más del 50% de la población afectada inmediatamente después un derrame. El impacto resultó especialmente grave en áreas costeras de baja energía física tales como caletas o pequeñas bahías, mientras que en zonas de alta energía física o con acceso a aguas profundas se observó más rápida recuperación de las poblaciones.
- Algunos bivalvos (almejas) y peces con hábitos de alimentación bentónicos han mostrado evidencia de incorporación de sedimentos contaminados con hidrocarburos.
- En macroalgas cubiertas por el gas-oil antártico no se evidenciaron efectos tóxicos o dañinos, debido posiblemente al corto período de exposición (horas o días).
- La presencia de hidrocarburos poliaromáticos (PAHs) de alto peso molecular en sedimentos costeros de la zona afectada por el derrame, fueron asociados principalmente a otras actividades.

Sobre la base de la información disponible, y salvando las notables diferencias entre los naufragios del Explorer y otros derrames, tanto en la cantidad de hidrocarburos derramados como en las características de los ambientes afectados, resulta necesario evaluar las posibles implicancias ambientales derivadas del accidente del MV *Explorer*¹. En este contexto y teniendo en cuenta las características físicas y biológicas de este sector del Mar de La Flota, se ha estimado conveniente examinar el posible impacto de los hidrocarburos sobre tres componentes del medio marino antártico. De esta forma se examinarán a continuación los posibles efectos de los hidrocarburos sobre el ambiente costero, sobre el ambiente pelágico y sobre el ambiente bentónico.

¹ El impacto sobre la atmósfera por la evaporación de los componentes más volátiles será omitido debido al pequeño volumen derramado y por considerarlo no significativo en términos del conocimiento actual.

Ambiente Costero

Medio Físico

La zona costera más cercana al sitio de hundimiento es la Isla Bridgeman, de origen volcánico, que se halla en posición 62°3'S, 56°45'W. De la bibliografía y estudios previos realizados por el Instituto Antártico Argentino, se desprende que en el sitio de hundimiento, *las corrientes superficiales son de dirección predominante hacia el noreste*, con un flujo medio entre 8 y 14 cm/s.

Se estima, de este modo, que el agua superficial de este sitio podría alcanzar las costas de las islas Elefante y Clarence en aproximadamente 30 días. Sin embargo, la información disponible obtenida estudiando la trayectoria de boyas de deriva ubica a este flujo pasando preferentemente al sur de estas islas.

Esta corriente límite oeste, denominada Corriente del Mar de la Flota, transporta aguas relativamente cálidas y menos salinas provenientes del Mar de Bellingshausen (Gordon y Nowlin, 1978). El flujo en superficie de la corriente límite oeste, no cruza la isobata de 750 m hacia la costa de las Islas Shetland del Sur. Sin embargo, las corrientes de marea son intensas en la zona, produciendo intercambio de aguas más profundas entre el Mar de La Flota y los estrechos que separan las islas. Por ejemplo, observaciones hechas en Bahía Laserre (costa sur de Isla 25 de Mayo) mostraron que el intercambio de aguas entre la bahía y el Mar de la Flota ocurre principalmente como resultado de las mareas. De este modo, es factible que agua del sitio de hundimiento pueda arribar a la zona de la isla 25 de Mayo o incluso formar parte del flujo hacia el sudoeste por el norte de las islas. Por otra parte, el borde sur de la Corriente de Mar de la Flota, es irregular, produciendo meandros y anillos de circulación, que podrían retener el agua del sitio de hundimiento por más tiempo dentro de la cuenca.

La Figura 1 muestra el sitio de hundimiento, esquematiza la Corriente de Mar de la Flota y los principales flujos de agua en el área. En consecuencia, *los áreas costeras que podrían ser alcanzadas por la mancha oleosa asociada a la pérdida de hidrocarburos del casco del Explorer serían, la isla Bridgeman; las islas Elefante y Clarence y con menor probabilidad, la Isla 25 de Mayo.*

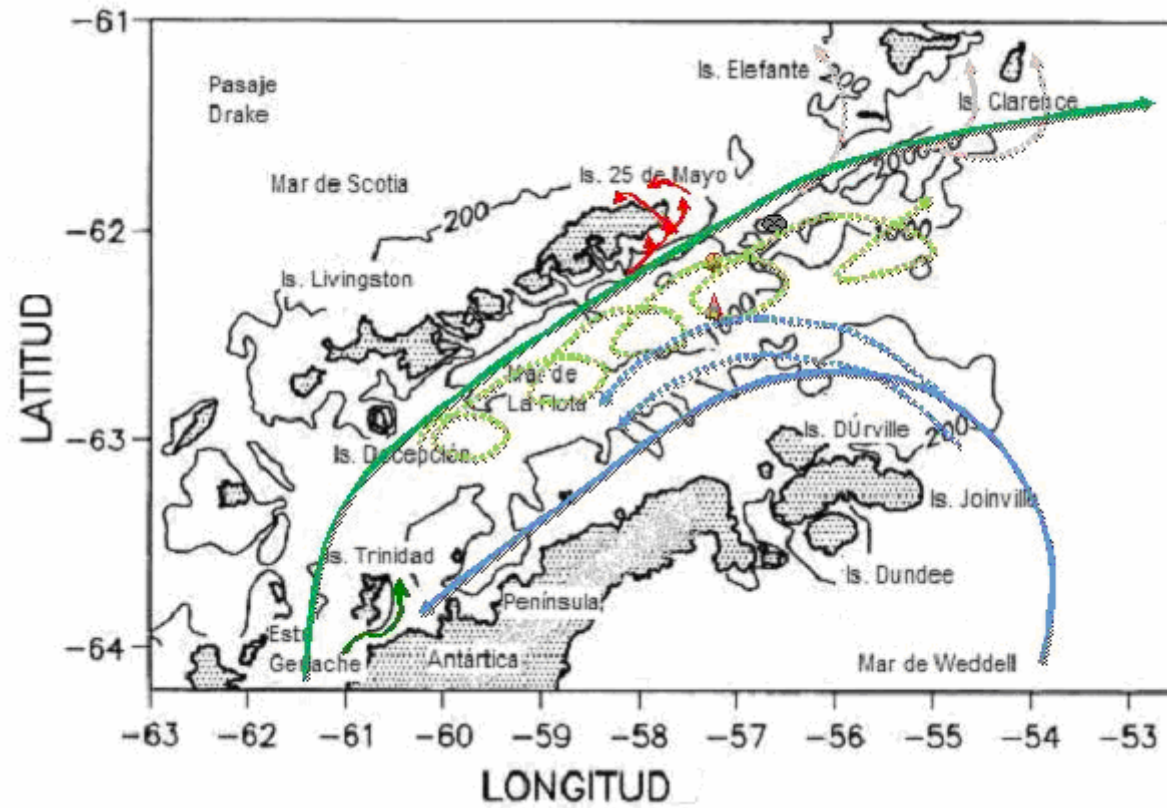











Fig. 1  : Sitio aproximado de hundimiento.  : Dorsal Hook.  : Isla Bridgeman.

 : Corriente de Mar de la Flota (proveniente del estrecho Gerlache).  : Flujo proveniente del Mar de Weddell.

 : Flujo meandroso del borde austral de la Corriente del Mar de la Flota.  : Area posible de extensión del flujo proveniente del Mar de Weddell.

 : Probable corriente de marea (sin dato para esa zona en particular). Muy poco probable que transporte aguas del sitio de hundimiento.

 : Flujo alternativo de la corriente del Mar de la Flota.

La Isla Bridgeman se encuentra a unas 25 millas del cabo Melville (Isla 25 de Mayo). Es una pequeña isla volcánica semi circular de media milla de diámetro ,que se eleva en forma de pirámide truncada de unos 233 m de altura. Las costas Norte y Oeste son acantiladas, y las costas sur y este ofrecen un declive más suave. Es una isla estéril y casi sin nieve.

La Isla Elefante mide 28 millas en sentido E-O con un ancho que aumenta desde 5 millas en el extremo oriental hasta 15 millas en el occidental, y está constituida por rocas de sedimento metamorfoseadas. El extremo occidental de la isla es el Cabo Lindsey, una península baja a cuyos lados se encuentran la Caleta Rodman y la Bahía Mesa, ambas con playas arenosas. A partir del cabo Lindsey la costa desciende hacia el S-SE presentando peñascos escarpados y glaciares colgantes.

La Isla Clarence está compuesta por rocas metamórficas y de origen volcánico. Mide unas 13 millas de N a S y 6 de E a W. Es una isla montañosa con cumbres nevadas que alcanza 1389m de altura en la parte central y hasta 2300m hacia el sur, correspondiente al Monte Bowles, cuyas laderas pronunciadas caen sobre la costa sur, terminando en el cabo del mismo nombre, el extremo meridional de la isla, en forma de peñasco de 30 metros de altura que cae vertical sobre el mar. En sus inmediaciones existe una playa de canto rodado. Al oeste se observan roquerías de pingüinos. El extremo sudoeste de la isla es punta Escarpada, descubierta de nieve y constituida por picos montañosos cuya altura aumenta hacia el interior de la isla.

Meteorología: hay pocas observaciones en islas Clarence y Elefante. Se hallan casi permanentemente cubiertas de nubes bajas y nevadas. Los vientos del NE traen consigo hielo que cubre las bahías, en tanto los vientos del SO, se lo llevan. Vientos del NO ocasionan fuertes marejadas, ya que soplan con fuerza huracanada.

Medio Biológico

No se ha reportado la existencia de colonias de mamíferos y/o aves marinas en isla Bridgeman. En isla Elefante existen importantes áreas reproductivas de lobos marinos en Cabo Valentine, Cabo Lindsley y Punta Stinker. En estas áreas también existen colonias de pingüinos barbijo, papúa y macaroni. En la Isla Seal, ubicada al norte de Isla Elefante, existen áreas de reproducción de lobos y elefantes marinos, y colonias de pingüinos macaroni y barbijo. En isla Clarence. se han reportado colonias de pingüinos adelia y macaroni.

Por su parte en isla 25 de Mayo existen áreas de reproducción de mamíferos (lobos y elefantes), colonias de pingüinos (adelia, barbijo y papúa), y áreas de anidación de aves voladoras (petreles gigantes, dameros, de las tormentas, skuas, gaviotines, etc.) En el sector noreste de la Isla, en punta Turret, existen poblaciones de petreles gigantes comunes, cormoranes imperiales, pingüinos de barbijo y adelia. También existen poblaciones de elefantes marinos del sur. En isla Penguin, situada frente a Punta Turret, existen poblaciones de petreles gigantes del sur y pingüinos barbijo.

Ambiente Pelágico

Medio Físico: Las condiciones oceanográficas del mar de La Flota, que se resumen a continuación, permiten el desarrollo de una importante actividad biológica.

El agua del mar de La Flota se origina en el agua de la costa oeste del Mar de Weddell. Esta agua fluye mayormente hacia el norte, aunque parte de ella hacia el Oeste en el extremo Norte de la Península Antártica, se dirige hacia el sudoeste dentro del Mar de la Flota hasta Isla Torre (Tower) y se funde con el agua del Estrecho Gerlache, formando la corriente del Mar de la Flota. Ésta última fluye hacia el Noreste a lo largo del talud empinado de Islas Shetland del Sur en el límite oeste del estrecho. El transporte hacia el sudoeste debe ser compensado por transporte hacia el noreste ya que el transporte hacia el sudoeste está restringido por islas y plataformas en el noroeste, sudeste y sudoeste del Mar de la Flota. Así, el mecanismo que impulsa el flujo hacia el sudoeste desde el Mar de Weddell produce la corriente del Mar de la Flota hacia el noreste, formando el frente que separa aguas del Mar de la Flota y aguas del talud.

Las aguas del talud alrededor de Islas Shetland del Sur están fuertemente influidas por procesos locales de calentamiento y descarga de agua pura referidas como aguas de talud y una intrusión de agua profunda desde la Corriente Circumpolar Antártica, que ingresa por la fosa profunda entre Islas Bravant y Smith, y permanece cerca de las Shetland (Zhou *et al*, 2006). La corriente del Mar de la Flota determina la exportación de aguas desde el Mar de la Flota a través del talud de las Islas Shetland y el transporte de nutrientes, metales y biota, en especial krill.

Medio Biológico

La Figura 2 muestra los resultados de la bio-regionalización de aguas circundantes a la Península Antártica, basada en la abundancia absoluta de organismos

microplanctónicos (silicoflagelados, dinoflagelados y ciliados) y de las especies de ciliados lorizados. El estudio permitió delinear, para las condiciones del verano austral (febrero-marzo), tres zonas con características biológicas y ambientales muy diferentes: La zona A se caracterizó por la máxima abundancia microplanctónica y por sus aguas de baja salinidad. La zona B presentó abundancias intermedias y salinidad relativamente elevada, mientras que la zona C se destacó por la máxima salinidad, por los mínimos valores de densidad y biomasa promedio de todos los grupos microplanctónicos, y por albergar un punto de “ausencia absoluta” de organismos microplanctónicos ($62^{\circ} 58'S$, $58^{\circ} W$, ver punto en verde sobre el mapa), fenómeno ocasionalmente observado en la naturaleza. Sin embargo, esta disminución de las abundancias, tanto en la Zona C como en el punto mencionado, fue atribuida al pastoreo de organismos de niveles tróficos superiores, más específicamente, a un intensivo consumo del krill sobre las comunidades bajo estudio. Esto indica que, en algunos casos, los descensos marcados de biomasa microplanctónica se corresponden con incrementos muy localizados de biomasa zooplanctónica. En consecuencia, la zona C (comprendida dentro de la Sub-Area 48.1 de CCAMLR) alberga una importante productividad biológica.

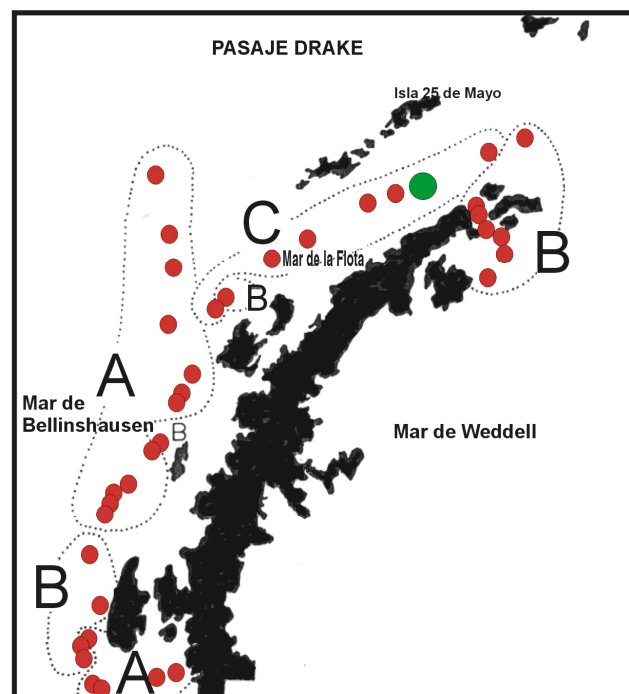


Figura 2

Las áreas someras y bahías del sudoeste del Mar de la Flota y estrecho Gerlache son zonas de criaderos para una multitud de biota, especialmente el krill (Zhou *et al*, 2006). Dado que el zooplancton se alimenta en la columna superior, la circulación cerca de superficie tiene gran efecto sobre el tiempo de residencia y dispersión del krill antártico en esta área.

La distribución espacial de clorofila es en parches y generalmente asociada a la influencia de diferentes masas de agua que se unen en el Mar de la Flota. El mayor bloom de fitoplancton es advectado desde el Estrecho Gerlache o el Mar de Bellingshausen, siguiendo las corrientes superficiales principales hacia el este (Bazterretchea y Arístegui, 1999).

Altas concentraciones de fitoplancton ($>10 \text{ mg chl m}^{-3}$) pueden estar presentes en los 50 m superiores desde Octubre a Enero, proveyendo un ambiente rico en alimento para el zooplancton. El oeste del Mar de la Flota y el Estrecho Gerlache son extraordinariamente productivos. Las especies más abundantes, como *Calanoides acutus*, *Euphausia crystallorophias* y *Euphausia superba*, desovan en el Mar de la Flota de Noviembre a Marzo. Es crítico para estas poblaciones larvales permanecer en un ambiente rico en alimento. La información disponible, utilizando boyas derivantes, indica que las mismas entrando en la corriente del Gerlache y del Mar de la Flota saldrán del Mar de la Flota en un período de 10-20 días, pero aquellas que ingresen en eddies (anillos de circulación) y en bahías pueden salir en períodos más extensos (de 50 a 100 días). Entonces, los individuos en un eddy o bahía tendrán suficiente tiempo de residencia para su desarrollo.

El ciclo de vida de *Euphausia superba* involucra un patrón de ascensos y descensos en el cual los embriones pueden hundirse hasta profundidades mayores a los 2000 m y ascender luego de la incubación a través de la columna de agua como larva (Wilson *et al*, 1999).

Ambiente Bentónico

Medio Físico

El buque Explorer se halla hundido en la cuenca central del Mar de La Flota a una profundidad aproximada de 1500 m. Las masas de agua profundas en la cuenca central del Mar de La Flota permanecen largos períodos de tiempo debido a restricciones topográficas. Se estima un tiempo de residencia de aguas profundas del

orden de 30 años. El agua de profundidades medias (600-800 m), por encima de la profundidad umbral (1000 m) que separa la cuenca central de la oriental, ingresa a la cuenca oriental mezclándose con aguas provenientes del Mar de Weddell a través de la cuenca Powell perdiendo rápidamente sus características.

El Mar de la Flota fue formado por la fractura de un arco volcánico. La actividad hidrotermal ocurre a lo largo de una dorsal neovolcánica lineal pero discontinua que va desde isla Decepción a Isla Bridgeman y continúa al nordeste en la cuenca oriental. Evidencia de actividad hidrotermal fue hallada en las cuencas central y oriental del Mar de la Flota. En la central se encontraron dos respiraderos (“venting”): las dorsales Hook y Tres Hermanas. En la dorsal Hook (cercano al sitio de hundimiento del Explorer), se midieron elevadas concentraciones de manganeso (13 nM) y otros metales en el agua de mar, comprobándose que las aguas por debajo de los 1000 metros de profundidad se encontraban enriquecidas en Fe y Mn. El Mn se encontraba principalmente en formas solubles, mientras que el Fe en forma de material particulado. En la cima de la dorsal los registros de temperatura mostraron agua anormalmente cálida, pero coincidentes con las anomalías de Mn y sugirieron la existencia de un gran cuerpo de agua boyante (con empuje hacia arriba) elevándose desde el cráter. Muestras de sedimentos del cráter fluidos mostraron elevadas temperaturas (en cubierta se midieron valores entre 42-48.5 °C)

Medio Biológico

Alrededor del cráter de Hook se observó cierto patrón en la biota. En el borde exterior hay alta abundancia de grandes corales y lirios marinos y en la parte superior de la dorsal hay estrellas frágiles y algunas pocas anémonas. Las paredes interiores del cráter están cubiertas con gusanos calcáreos y corales acopados tanto como esponjas y corales gorgonian. Frágiles estrellas y anémonas caracterizan la parte interna del cráter, estas últimas principalmente en la base de pequeños afloramientos rocosos. También se observaron gusanos tubulares que semejan tubos poliquetos.

Discusión

Varios factores condicionan el efecto espacial y temporal de los hidrocarburos sobre el ambiente costero antártico. Estos factores incluyen la cantidad y tipo de hidrocarburos derramados (especialmente la volatilidad), las condiciones climáticas, la

intensidad y dirección de vientos y corrientes marinas y la energía física de las costas afectadas.

Los mecanismos primarios de remoción de los hidrocarburos derramados en el mar involucran la dispersión, la evaporación y la dilución. Otros procesos involucrados en menor grado son la adsorción sobre material particulado, la sedimentación, la oxidación bacteriana, la fotooxidación y la incorporación por organismos.

La mancha oleosa en la zona de hundimiento del Explorer varió su apariencia durante el verano austral 07 / 08, conforme las condiciones del mar. En algunos casos, con mar calmo, se presentó como una película delgada, iridiscente, con contornos nítidos, que permitió estimar su extensión espacial. En ocasión del muestreo, realizado el día 11 de marzo de 2008 por personal de la Dirección Nacional del Antártico – Instituto Antártico Argentino desde el buque ARA *Suboficial Castillo*, las condiciones del mar no permitieron discriminar una mancha definida. Se verificó el afloramiento de hidrocarburos en la superficie del mar, que por el efecto de las olas (de aproximadamente 1,5 de altura), se dispersaba rápidamente y se volvía casi imperceptible, excepto por la característica iridiscencia del gas-oil. Los análisis químicos mostraron que se trataba de un corte entre C₁₀ y C₁₅ atribuible a un gas-oil deteriorado, empobrecido en los componentes más volátiles, posiblemente por pérdidas de los componentes más solubles durante la migración vertical desde el casco hasta la superficie. En las condiciones descritas, es esperable que las fugas de gas-oil que alcancen la superficie del mar, se dispersen, evaporen o diluyan antes de alcanzar alguna costa.

En los alrededores de la zona de hundimiento, fueron avistados varios miles de pingüinos que podrían ser afectados por la mancha de hidrocarburos. En general, se acepta que las aves que entran en contacto con hidrocarburos pueden perder capacidad de aislamiento del frío, disminución en su capacidad de flotación, o sufrir distintas alteraciones fisiológicas por la ingestión de tóxicos. La información disponible no permite suponer un riesgo considerable para las aves marinas, pero algún efecto perjudicial no debería ser descartado. En efecto, a pesar de ser menos persistentes los cortes livianos suelen ser más tóxicos.

La información disponible sobre toxicidad de hidrocarburos sobre microorganismos marinos antárticos es limitada. Como ya ha sido mencionado previamente, el área de la zona de hundimiento se encuentra empobrecida en organismos microplanctónicos (silicoflagelados, dinoflagelados y ciliados) asociado

principalmente al intenso consumo del krill. A su vez, el krill es consumido por peces, aves marinas, y focas. Los peces de la columna de agua son pelágico-dinámicos y se desplazan permanentemente, por lo que no habría forma de monitorear un potencial efecto perjudicial asociado al derrame. Esto sería aplicable también a aves y a mamíferos marinos.

La situación podría ser diferente si las fugas fueran de lubricantes. En este caso, los hidrocarburos de mayor peso, menor solubilidad y volatilidad, podrían formar manchas oleosas más estables que dependiendo de la cantidad liberada, composición química y condiciones oceanográficas, podrían alcanzar alguna costa.

Como ya ha sido mencionado, la información oceanográfica disponible sugiere que las áreas costeras que podrían ser alcanzadas por la mancha oleosa asociada a la pérdida de hidrocarburos del casco del Explorer serían: la Isla Bridgeman; las islas Elefante y Clarence y con menor probabilidad, la Isla 25 de Mayo

Las áreas costeras rocosas o con playas de partículas gruesas (mayores del tamaño de guijarros) son mucho menos afectadas, que aquellas de arenas o sedimentos finos. En efecto, estas áreas no ofrecen superficies aptas para acumular hidrocarburos, los que son más fácilmente removidos por el efecto de las olas y el viento. Los estudios posteriores a derrames demostraron que la zona intermareal resultaba la más impactada por la mancha oleosa, y que las lapas fueron el organismo más afectado. En las costas, potencialmente alcanzables por la mancha oleosa, es común la presencia de la lapa *Nacella concinna*, que podría ser un organismo útil para monitorear la existencia de efectos perjudiciales asociados al derrame. En efecto, los hidrocarburos que alcancen las costas podrían ser tomados por las algas, que son el alimento principal de las lapas, penetrando al organismo a través de su sistema digestivo con la consiguiente transferencia del contaminante. El metabolismo de una gran variedad de contaminantes, incluidos los hidrocarburos, produce especies reactivas del oxígeno (ROS). Concentraciones de diesel en agua de mar del orden de 0,05% WAF (fase soluble del hidrocarburo) producen efectos cuantificables a nivel de los mecanismos de defensa antioxidante que reaccionan ante el estrés oxidativo generado por las ROS.

Finalmente, debe señalarse que sería conveniente examinar si en la zona de hundimiento el derrame pudiera afectar los procesos de migración vertical del krill hacia las grandes profundidades marinas, como así también evaluar los posibles efectos que podrían producirse sobre la biota bentónica.

Cursos de acción posibles

Sobre la base de las consideraciones el Programa Antártico Argentino analiza los siguientes cursos de acción:

1.- Evaluar la necesidad y conveniencia de establecer un programa de vigilancia en la zona de hundimiento destinado a verificar la existencia y extensión de las fugas de combustible. Este programa requerirá de fotografías aéreas o imágenes satelitales que permitan evaluar la situación el mayor tiempo posible, y de muestreos periódicos de las aguas superficiales para caracterizar químicamente las fugas.

2.- Evaluar la necesidad y conveniencia de establecer un programa de monitoreo ambiental regional destinado a examinar si existe algún efecto asociado al derrame sobre los ecosistemas costeros. A tales fines, sería de utilidad estudiar las áreas costeras alcanzables por el derrame e identificar sitios o mapas de riesgo. Resulta de especial interés identificar:

- Zonas costeras libres de hielos, cercanas al hundimiento, que, por las corrientes marinas, pudieran, en mayor o menor medida, ser alcanzadas por la mancha de hidrocarburos.
- Zonas costeras libres de hielo, de fácil acceso desde embarcaciones menores.
- Zonas costeras libres de hielo, con valores naturales, potencialmente amenazados por contaminación por hidrocarburos. Por ejemplo: pingüíneras, loberías o sectores con vegetación.
- Zonas costeras libres de hielo, con valor turístico.

Sobre los sitios identificados se debería establecer un programa de monitoreo químico que involucre al menos muestreos de sedimentos, algas y lapas. Sería conveniente evaluar si existe indicio de estrés oxidativo sobre las lapas.

3.- Dado que en los últimos años han resultado frecuentes los incidentes que involucran derrames de hidrocarburos, resultaría conveniente crear una unidad de respuesta especializada, integrada por personal capacitado y dotada con los elementos necesarios (botes, equipos de muestreo, instrumentos analíticos, etc.) que permita una rápida acción y un diagnóstico adecuado del compromiso ambiental.