



Tema 2.4.

La deriva de los vertidos de hidrocarburos en la mar.

Contenido

1. Por qué la deriva es determinante	3
2. Mecanismos físicos que gobiernan la deriva.....	3
2.1. Corrientes superficiales	3
2.2. Viento (leeway).....	4
2.3. Oleaje y deriva de Stokes	4
2.4. Estructuras de mezcla y microescala.....	4
2.5. Propiedades del hidrocarburo.....	5
3. Particularidades en entornos insulares y litorales complejos.....	6
4. De la física a la operación: implicaciones prácticas.....	7
4.1. Tiempos de llegada y priorización	7
4.2. Estrategias de barreras.....	7
4.3. Ventana operativa	8
4.4. Varamiento (beaching) y re-suspensión.....	8
5. Predicción operacional de la deriva	8
5.1. Modelización (núcleo lagrangiano)	8
5.2. Meteorización acoplada	8
5.3. Observaciones para ajustar el pronóstico	9
6. Gestión de la incertidumbre y toma de decisiones.....	9



7. Lecciones operativas clave (lista de control).....	9
Referencias	10

1. Por qué la deriva es determinante

En un derrame, el petróleo no “se queda donde cae”: desde los primeros minutos entra en un régimen de **transporte y transformación**. La **deriva** —el desplazamiento horizontal de la mancha— decide **qué zonas se verán afectadas, cuándo y con qué intensidad**. De su correcta estimación dependen el **posicionamiento de barreras**, la **priorización de recursos sensibles**, los **tiempos de llegada a costa** y, en consecuencia, la eficacia global de la respuesta.

La deriva observable es la suma de varios vectores: **corriente superficial, deriva por viento** (leeway), **deriva de Stokes** asociada al oleaje y contribuciones locales (mareas, descargas fluviales, jets costeros, frentes). A esto se añade la **meteorización** del propio crudo (evaporación, disolución, emulsificación), que cambia su densidad y viscosidad y, con ello, su movilidad.

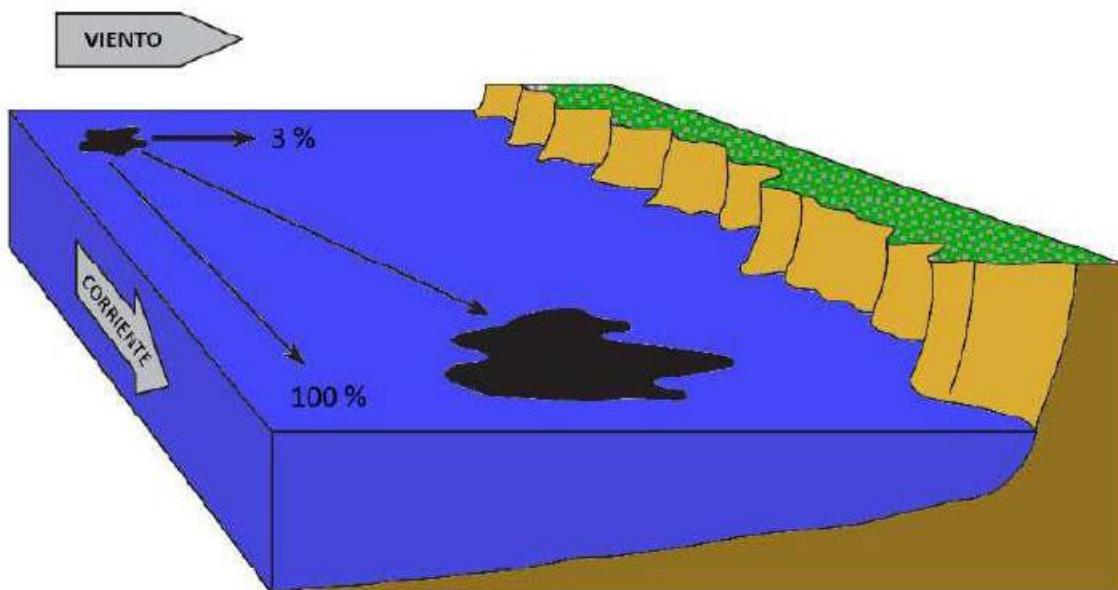


Ilustración 1. Efecto combinado del viento y la corriente. Fuente: ExxonMobile, 2008.

2. Mecanismos físicos que gobiernan la deriva

2.1. Corrientes superficiales

Son el “carril principal” de la mancha. Incluyen:

- **Circulación de mesoescala** (corrientes dominantes, remolinos, frentes).



- **Corrientes costeras y de plataforma** (deriva litoral por oleaje y vientos dominantes).
- **Corrientes mareales** (alternantes, capaces de canalizar y concentrar hidrocarburos en bocanas, bahías y estuarios).

En plataformas estrechas o taludes abruptos, las **corrientes de borde y la interacción con la batimetría** pueden acelerar la advección o desviarla hacia cabos y ensenadas, creando “zonas de atrapamiento” donde el varamiento (beaching) es probable.

2.2. Viento (leeway)

El viento empuja la película superficial. Como regla operativa, la velocidad de la mancha por viento suele situarse en el **1–4 % de la velocidad del viento a 10 m** (coeficiente α), con un ángulo de desvío pequeño respecto a la dirección del viento. Películas **finas y poco viscosas** responden más; emulsiones espesas responden menos.

2.3. Oleaje y deriva de Stokes

El oleaje aporta una **deriva neta** (Stokes) en la dirección de propagación que, aunque menor que la corriente, es significativa con mar formado. Además:

- **Rompientes y cizalla superficial** fragmentan la lámina, generando **gotículas** (dispersión natural).
- El batido favorece la **emulsificación agua-aceite** (“mousse”), aumentando la **viscosidad** y el **volumen aparente** del vertido (más persistencia, menor movilidad).

2.4. Estructuras de mezcla y microescala

- **Células de Langmuir** alinean ejes de concentración/despeje en superficie (bandas paralelas al viento), re-distribuyendo la mancha.
- **Frentes térmicos/halinos y zonas de convergencia** acumulan hidrocarburos como si fuesen “cintas transportadoras” que alimentan cordones costeros.



2.5. Propiedades del hidrocarburo

El tipo de crudo importa:

- **Ligeros:** alta volatilidad y baja viscosidad → **extensión rápida y evaporación temprana**; respuesta más sensible a viento.
- **Pesados/extrapesados:** viscosidad alta, tendencia a **emulsificar** y a **adherirse** a sustratos; pueden **hundirse parcialmente** si forman agregados con partículas minerales (OPA/AOP), aumentando la fracción subsuperficial y de fondo.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del hidrocarburo. Fuente: Comerma, 2004.

Proceso	Descripción y Condicionantes	Magnitud	Intervalo tiempo
Esparcimiento	Expansión del petróleo sobre la superficie del mar. Se observa en espacios abrigados	Principal fenómeno de expansión en aguas abrigadas. Sin relevancia en mar abierto	< 1 día (primeras horas)
Evaporación	Proceso fisicoquímico que resulta en la transferencia de hidrocarburos de la superficie del mar a la atmósfera. Retrasa la emulsión.	Importante para productos ligeros (>70%). Sin relevancia en productos pesados	< 1 día (primeras horas)
Emulsionado (agua-en-aceite)	Formación de agua en las emulsiones de petróleo. Radical aumento de la viscosidad Limitante del otros procesos químicos (biodegradación)	Importante para productos pesados (>80%). Inexistente en productos ligeros	1 día - 1 semana
Disolución	Proceso fisicoquímico que resulta en la disolución de los hidrocarburos en la columna de	Poco importante (<5%) o inexistente en función de la composición química	Primeros días
Foto-oxidación	Reacción de ciertos compuestos por los rayos UV Potencia la biodegradación	Poco importante a corto plazo	Semanas
Biodegradación	Descomposición en compuestos simples por acción microorganismos	Poco importante a corto plazo	Semanas
Sedimentación	Precipitación al fondo marino de las partículas agregadas a otros sedimentos o partículas en suspensión Impacto en zonas costeras	Poco importante En volumen	Semanas

3. Particularidades en entornos insulares y litorales complejos

Las islas y costas muy recortadas comparten rasgos que condicionan la deriva:

- **Distancias cortas a costa:** el tiempo entre vertido y impacto puede ser de **horas** a **1–2 días**, reduciendo el margen de maniobra.
- **Batimetría abrupta y pasos estrechos:** canales, cabos y ensenadas actúan como **embudos** que aceleran o estancan la mancha.
- **Vientos dominantes persistentes** (p. ej., alisios): imprimen **dirección preferente** a la deriva y definen **lados de sotavento** de mayor riesgo.
- **Mareas y resonancias locales:** pueden invertir trayectorias a escala de horas (muy relevante para planificar barreras “a contramarea”).
- **Afloramientos, jets y frentes costeros:** redistribuyen la mancha en bandas y meandros, creando **focos recurrentes** de varamiento.

Resultado: **deriva corta, impactos costeros rápidos y gran heterogeneidad espacial** de la contaminación, con tramos muy afectados y otros apenas tocados en pocos kilómetros de costa.

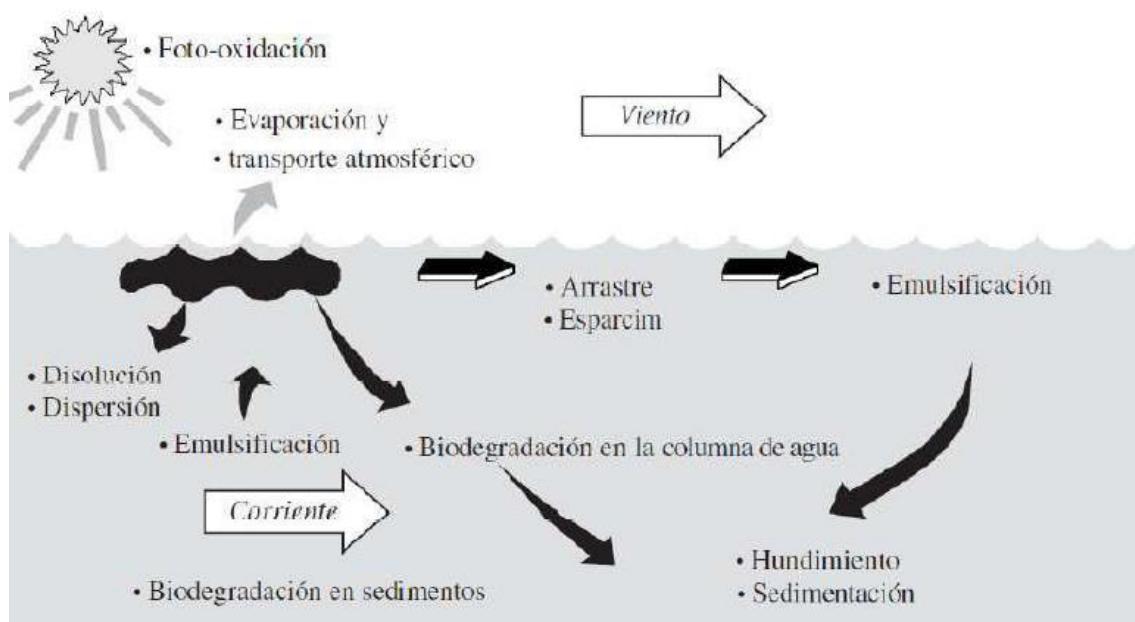


Ilustración 2. Procesos que actúan sobre el vertido. Fuente: ExxonMobile, 2008.

4. De la física a la operación: implicaciones prácticas

4.1. Tiempos de llegada y priorización

Con **vientos frescos y corriente costera**, un frente de mancha puede alcanzar **decenas de kilómetros en 24 h**. La planificación debe priorizar **recursos sensibles** (humedales, praderas marinas, colonias), no las zonas más cercanas sin más. El criterio es **sensibilidad × probabilidad × tiempo de arribo**.

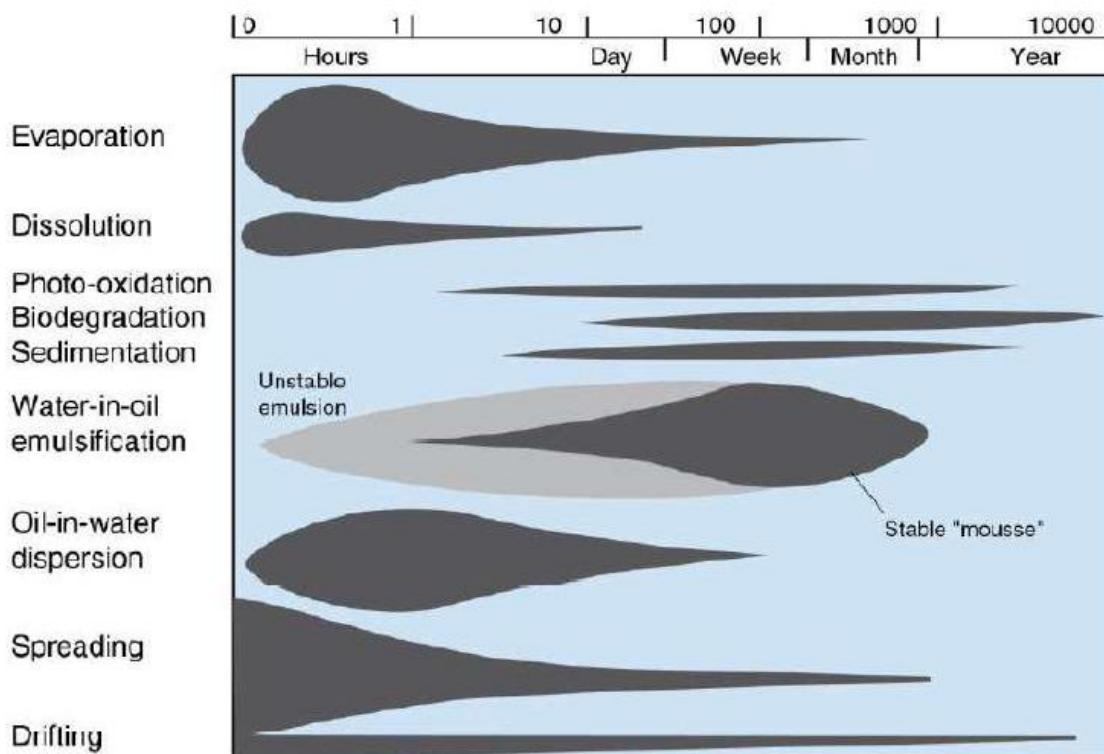


Ilustración 3. Distribución temporal de los procesos. Fuente: SINTEF, 2013.

4.2. Estrategias de barreras

- **Desvío/deflexión:** posicionar barreras oblicuas a la deriva para alejar la mancha de zonas críticas.
- **Exclusión:** proteger bocanas, estuarios y lagunas con **pre-booming**.
- **Contención y recuperación:** viable con mar “trabajable”; las emulsiones viscosas reducen la eficacia de skimmers.

El diseño debe considerar **mareas** (para evitar sobrepasos) y **ángulos de ataque** frente a la corriente/viento.



4.3. Ventana operativa

- **Evaporación temprana** de fracciones ligeras puede reducir masa en superficie pero **aumenta el riesgo tóxico** en aire.
- **Emulsificación** en 6–24 h (según mar y crudo) **eleva viscosidad** y complica bombeo/recogida.
- **Uso de dispersantes** (si procede) depende de **energía de oleaje, tipo de crudo y ventana de oportunidad** previa a la emulsión.

4.4. Varamiento (beaching) y re-suspensión

Una vez en la costa, el hidrocarburo puede **penetrar en sustratos porosos, adherirse a rocas o macroalgas y re-suspenderse** en temporales posteriores, generando **recontaminaciones cíclicas** que prolongan la respuesta semanas o meses.

5. Predicción operacional de la deriva

5.1. Modelización (núcleo lagrangiano)

En emergencias se emplean modelos tipo **partículas** que integran:

- **Corrientes** (modelos costeros y de cuenca, y/o radar HF).
- **Viento (U10)** con **coeficiente de leeway** ($\approx 0,01\text{--}0,04$).
- **Oleaje** (deriva de Stokes, estado de mar).
- **Parámetros del vertido** (posición, tiempo, tasa, tipo de crudo).

La salida no es “una línea”, sino **conjuntos (ensembles)** que ofrecen **mapas de probabilidad de impacto, conos de incertidumbre y tiempos de llegada** por tramo de costa.

5.2. Meteorización acoplada

La **evolución de propiedades** (evaporación, emulsión, viscosidad, densidad) se acopla al transporte para estimar **qué fracción permanece en superficie, qué parte se dispersa en la columna y qué probabilidad de varamiento** existe en cada intervalo temporal.



5.3. Observaciones para ajustar el pronóstico

- **Satélite SAR/óptico:** extensión de película.
- **Sobrevuelos y drones:** validación visual, espesores relativos.
- **Radar HF:** corrientes superficiales en tiempo casi real.
- **Boyas derivadoras y drifters:** “marcadores” de la circulación local.
Estos datos alimentan **re-inicializaciones** que corrigen sesgos y mantienen la **habilidad** del modelo día a día.

6. Gestión de la incertidumbre y toma de decisiones

No hay una deriva “exacta”, sino un **ábanico plausible**. Buenas prácticas:

- **Trabajar con probabilidades** (no con una única trayectoria).
- **Comunicar rangos de llegada** (“entre 10 y 16 h para el 50–90 % de escenarios”).
- **Documentar parámetros** (α del viento, difusividades, forzamientos) para trazabilidad.
- **Reajustar tácticas** conforme llegan observaciones nuevas (ciclo pronóstico–campo–pronóstico).

7. Lecciones operativas clave (lista de control)

1. **Antes de nada:** confirma **posición, hora y tasa** de vertido; si hay descarga continua, actualiza el forzamiento del modelo.
2. **Corre rápido el primer conjunto con viento y corrientes operacionales** para obtener **zonas de riesgo y tiempos de llegada**.
3. **Cruza** ese resultado con **cartas de sensibilidad** y define **prioridades** (lo más sensible primero).
4. **Diseña el booming** en función de **mareas, ángulos de ataque y estado de mar**; evita cerrar totalmente sin válvulas de alivio.
5. **Monitorea** (SAR, vuelos, radar HF, drifters) y **re-inicializa** el modelo al menos cada ciclo sinótico (o antes si cambian los vientos).
6. **Revisa la ventana operativa:** si el crudo emulsiona, cambia la táctica (de dispersión/recogida en mar a **protección de costa**).



7. **Planifica la fase costera:** varamientos, re-suspensión en temporales, retirada de residuos y restauración.

La deriva de una mancha de hidrocarburos es el **resultado vectorial** de corrientes, viento, oleaje y de la propia evolución del crudo. En costa e islas —donde las **escalas de tiempo son cortas y la heterogeneidad espacial** es grande— anticipar esa deriva con modelos **probabilísticos, datos actualizados y conocimiento local** marca la diferencia entre una respuesta **reactiva** y una **estratégica**. La combinación de **pronóstico operativo + observación + ajuste continuo** es, hoy, la vía más robusta para **minimizar la huella ambiental y socioeconómica** de un derrame.

Referencias

- Beegle-Krause, C. J. (2001). GNOME: NOAA's next-generation spill trajectory model. *Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference*, 865–871.
<https://doi.org/10.7901/2169-3358-2001-1-865>
- Brekke, C., & Solberg, A. H. S. (2005). Oil spill detection by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 95(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.015>
- Fingas, M. (Ed.). (2011). *Oil Spill Science and Technology: Prevention, Response, and Cleanup*. Gulf Professional Publishing (Elsevier).
<https://doi.org/10.1016/C2010-0-65837-8>
- French-McCay, D. P. (2004). Oil spill impact modeling: Development and validation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(10), 2441–2456.
<https://doi.org/10.1897/03-382>
- French-McCay, D. P. (2021). Oil spill modeling: Lessons learned over four decades of development. *International Oil Spill Conference Proceedings*, 2021(1), 688263.
<https://doi.org/10.7901/2169-3358-2021.1>



- Hackett, B., Breivik, Ø., & Wettre, C. (2006). Forecasting the drift of objects and substances. En *Ocean Weather Forecasting* (pp. 507–523). Springer.
https://doi.org/10.1007/1-4020-4021-7_21
- IPIECA & IOGP. (2015). *Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) in the context of oil spills.* IPIECA/IOGP Good Practice Guide.
<https://www.ipieca.org/resources/good-practice/>
- ITOPF. (2024). *Fate of Marine Oil Spills* (Technical Information Paper No. 2). International Tanker Owners Pollution Federation.
<https://www.itopf.org/knowledge-resources>
- Mackay, D., & Stiver, W. (1984). Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 62(4), 534–540. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450620405>
- National Research Council. (2003). *Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10388>
- NOAA Office of Response and Restoration. (s. f.). *GNOME Suite for Oil Spill Modeling*. <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/gnome-suite>
- NOAA Office of Response and Restoration. (s. f.). *ADIOS Oil Weathering Model (ADIOS2)*. <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/adios-oil-weathering-model>
- Paduan, J. D., & Washburn, L. (2013). High-frequency radar observations of ocean surface currents. *Annual Review of Marine Science*, 5, 115–136. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172315>
- Reed, M., Johansen, Ø., Brandvik, P. J., Daling, P., Lewis, A., Fiocco, R., Mackay, D., & Prentki, R. (1999). Oil spill modeling towards the close of the 20th century: Overview of the state of the art. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5(1), 3–16. [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(98\)00029-2](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(98)00029-2)
- Spaulding, M. L. (2017). State of the art review and future directions in oil spill modeling. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1–2), 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.001>



- Thorpe, S. A. (2004). Langmuir circulation. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 36, 55–79. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.36.052203.071431>