

3ra Parte – Detección de Derrames de Petróleo

Evaluación de Desastres Usando Radar de Apertura Sintética

Malin Johansson, UiT Universidad Ártica de Noruega

27 de octubre de 2022



Objetivos de Aprendizaje

Al final de esta capacitación, los participantes entenderán:

- El mecanismo detrás del porqué podemos detectar derrames de petróleo en la superficie marina utilizando SAR
- Cómo las imágenes SAR pueden ayudar en los procesos de limpieza
- Cómo podemos derivar las características de un derrame usando imágenes polarimétricas de polarización singular, dual y cuádruple (quad-pol)
- Cómo las imágenes de satélites pueden informar a grandes escalas sobre la detección de derrames de petróleo y patrones de movimiento

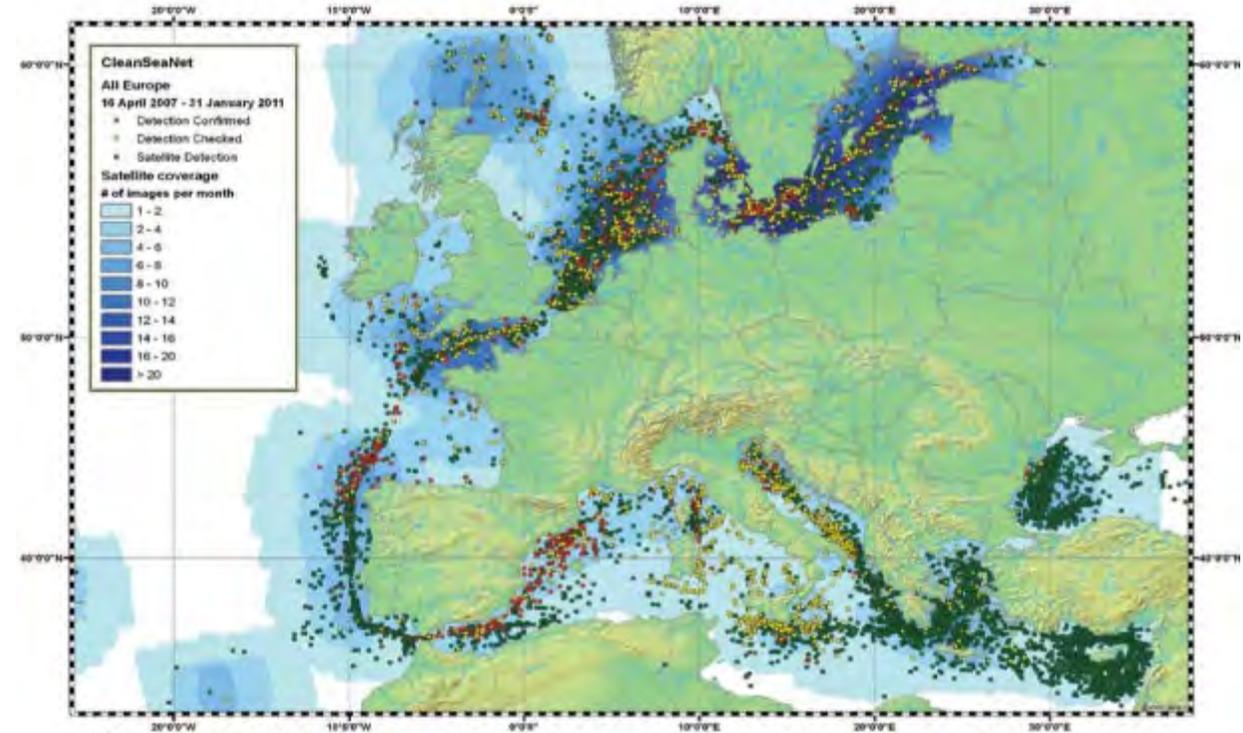


Dos Aplicaciones Principales de la Teledetección de Derrames de Petróleo con SAR

- 1) Herramienta utilizada durante las operaciones de limpieza después de un derrame de petróleo
- 2) Monitoreo del océano -> Detección de derrames de petróleo
 - Derrames accidentales de petróleo
 - Descargas ilegales

En 2021, 3,004 posibles derrames de petróleo fueron reportados por la AESM (Agencia Europea de Seguridad Marítima).

En 2021, los servicios de detección de derrames de petróleo de Kongsberg Satellite Services (KSAT) realizaron 11,000 detecciones basadas en SAR de posibles derrames de petróleo en el mar en todo el mundo.



CleanSeaNet:
SAR coverage and detections 16 Apr. 2007 – 31 Jan. 2011

Agencia Europea de Seguridad Marítima, 2011



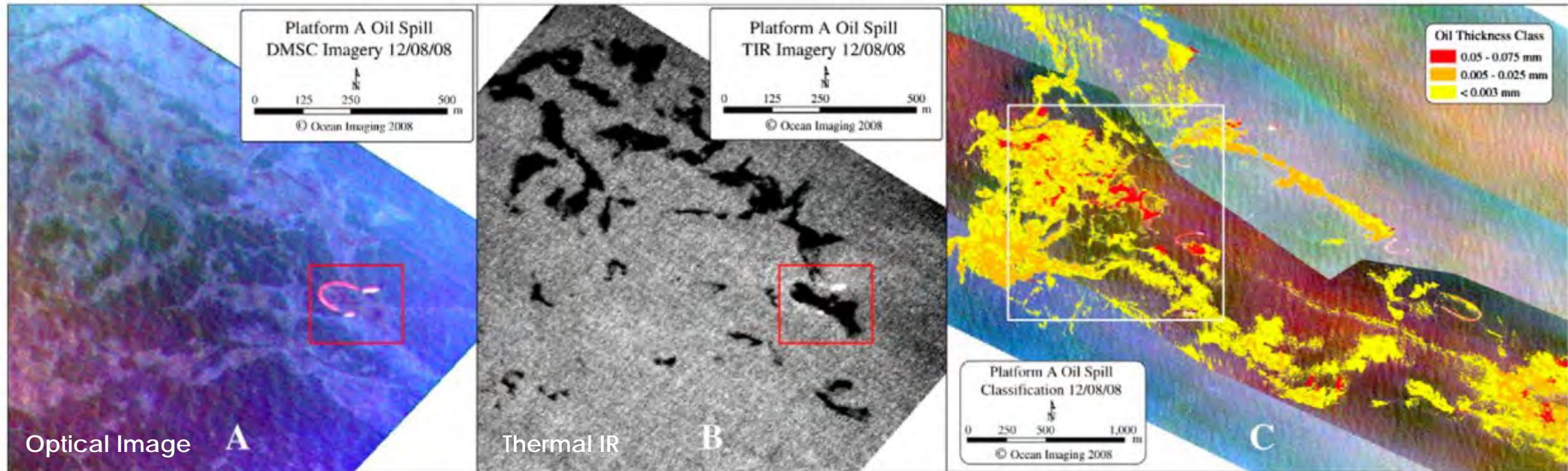
Ocurrencia de Derrames de Petróleo

- Los derrames de petróleo en el medio marino se originan en:
 - Oleoductos
 - Pozos
 - Vehículos de transporte
 - Tanques de almacenamiento
 - Filtraciones naturales
- A menudo ocurren en aguas costeras -> es importante que el personal de respuesta actúe rápidamente.
- También pueden ser transportados por vientos y corrientes lejos del punto de origen.
- Por lo tanto, es importante no solo detectar, sino también monitorear el movimiento y la propagación.



Detección de Derrames de Petróleo

- El petróleo se puede detectar en diferentes tipos de datos satelitales, cada uno con diferentes ventajas.
 - Una meta común es identificar el petróleo más espeso y estimar el volumen total.

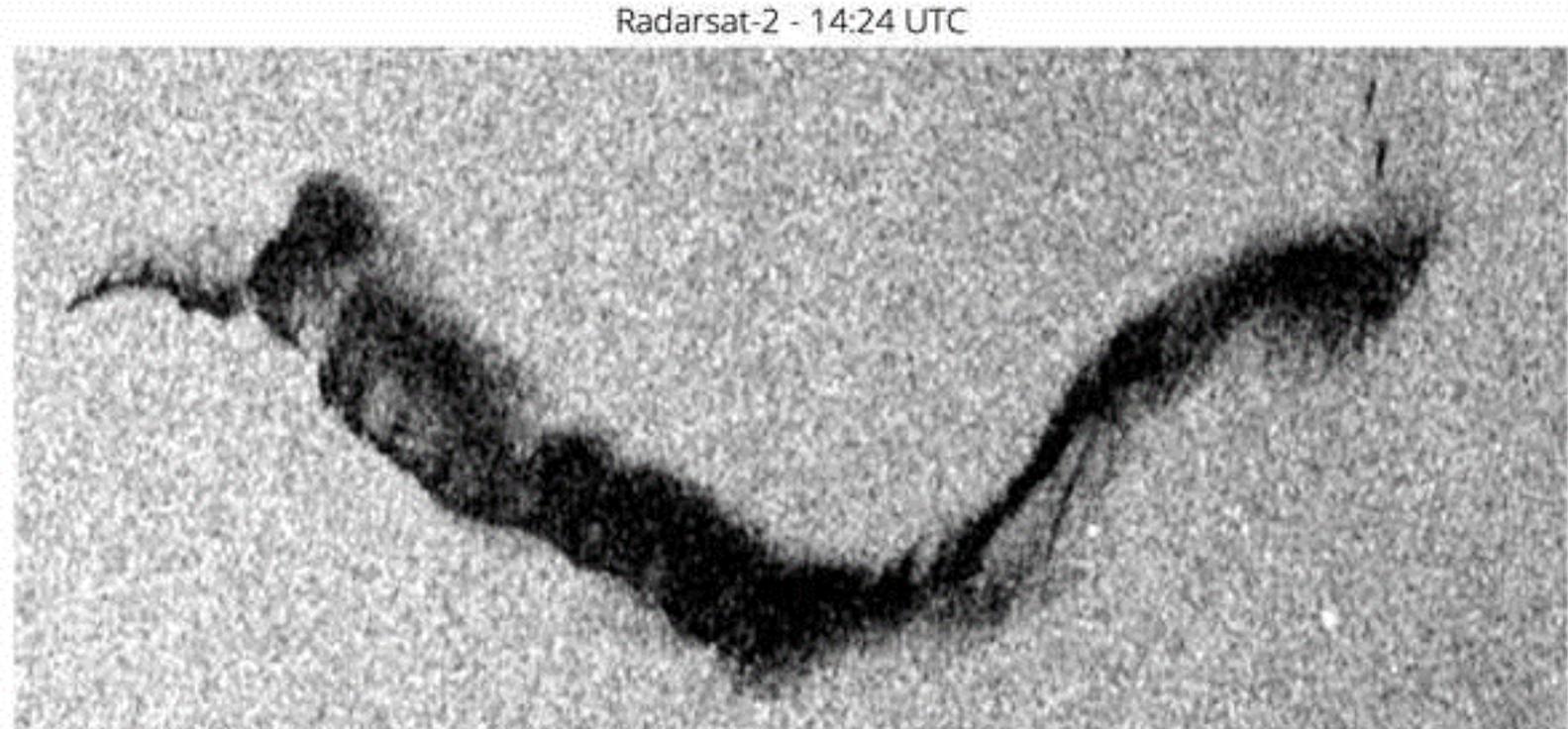


Leifer et al, 2012



Detección de Derrames de Petróleo

- Durante condiciones meteorológicas difíciles -> a menudo nubladas.
- Los derrames de petróleo pueden ocurrir de día o de noche.
- Para el monitoreo operativo, necesitamos una fuente que funcione en el día o en la noche y que no dependa de la luz del sol.



Datos y Productos de RADARSAT-2 © MDA Ltd. 2020 Derechos Reservados



Detección de Derrames de Petróleo – Radar de Apertura Sintética (SAR)

Monitoreo de
Derrames Conocidos

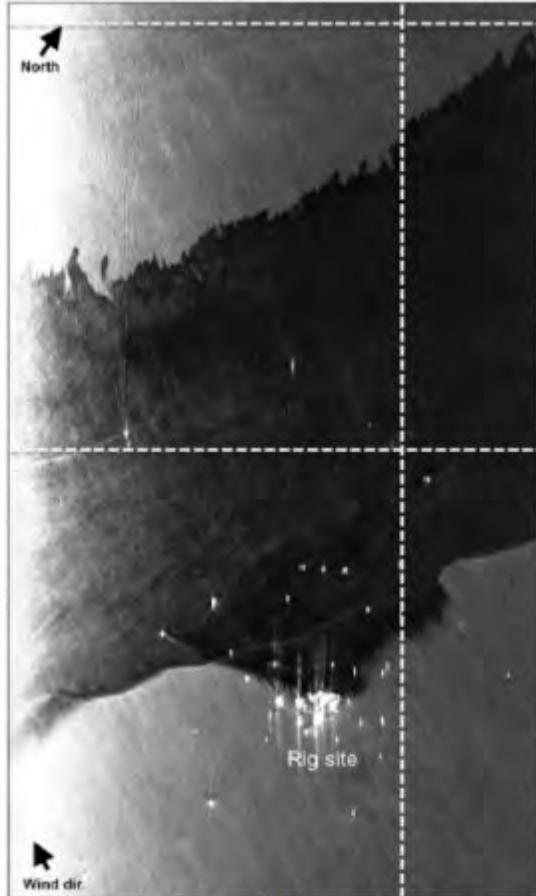
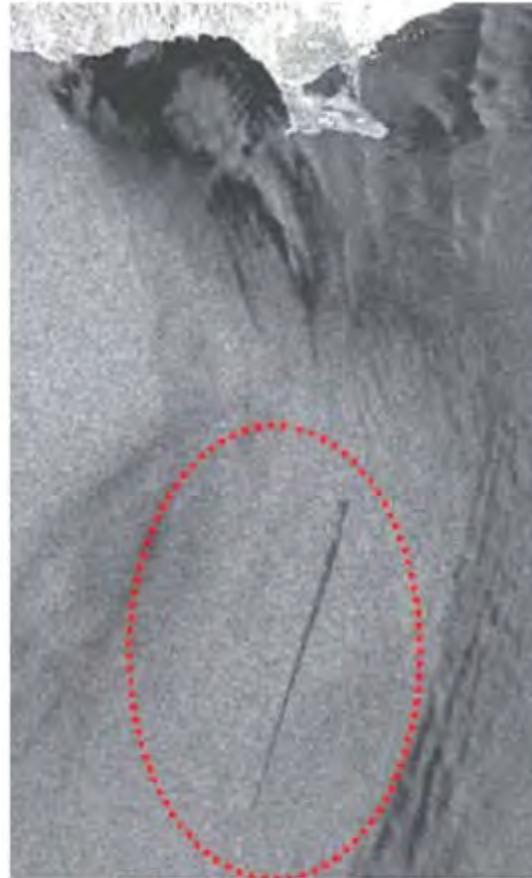


Figure from: Migliaccio and Nunziata, 2014

Detección de Derrames
Accidentales e Intencionales



CleanSeaNet satellite image of a possible oil discharge off the coast of Cyprus
Satellite image © ESA (European Space Agency) / EMSA 2007

SAR es una herramienta valiosa para la detección y el monitoreo de derrames de petróleo en el mar.

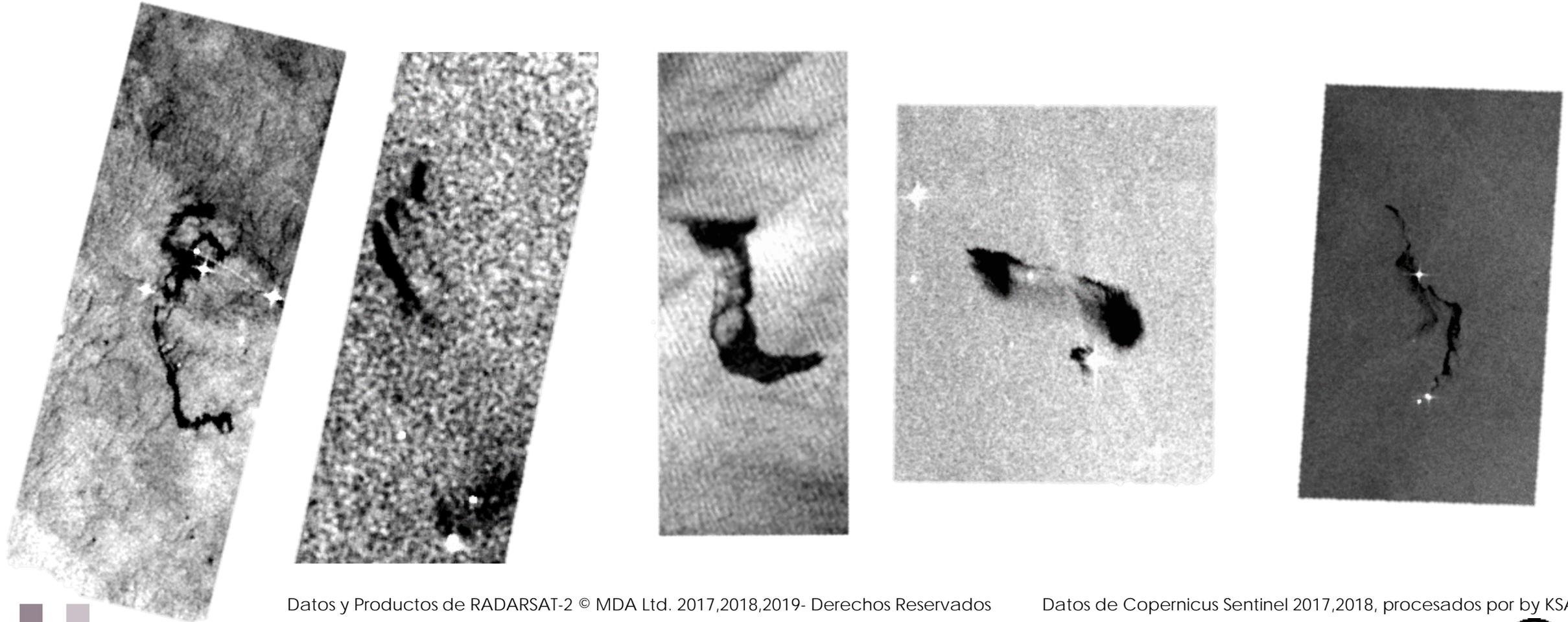
Proporciona información sobre:

- Posición y condiciones meteorológicas
- Proximidad a tierra, áreas vulnerables, etc.
- Extensión aérea
- Posibles fuentes



Detección de Derrames de Petróleo -- Radar de Apertura Sintética (SAR)

No hay dos derrames que se vean iguales.



Datos y Productos de RADARSAT-2 © MDA Ltd. 2017,2018,2019- Derechos Reservados

Datos de Copernicus Sentinel 2017,2018, procesados por by KSAT



Detección de Derrames de Petróleo – Radar de Apertura Sintética (SAR)

- El volumen del derrame no es consistente

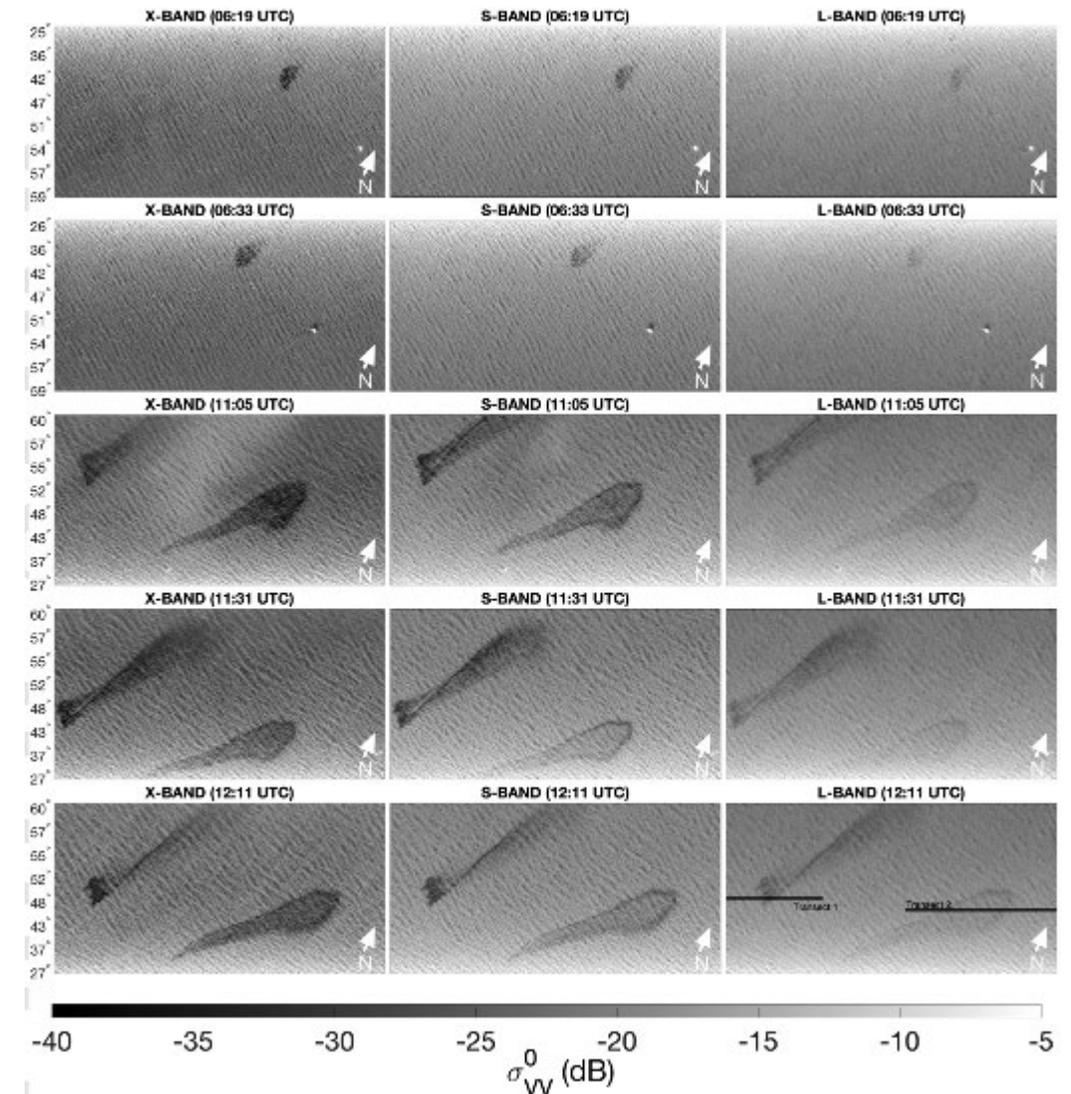
La mancha en la superficie del agua cambia con el tiempo.

- Corrientes
- Viento

Fuerza y Dirección



Movimiento



Brekke et al, 2020



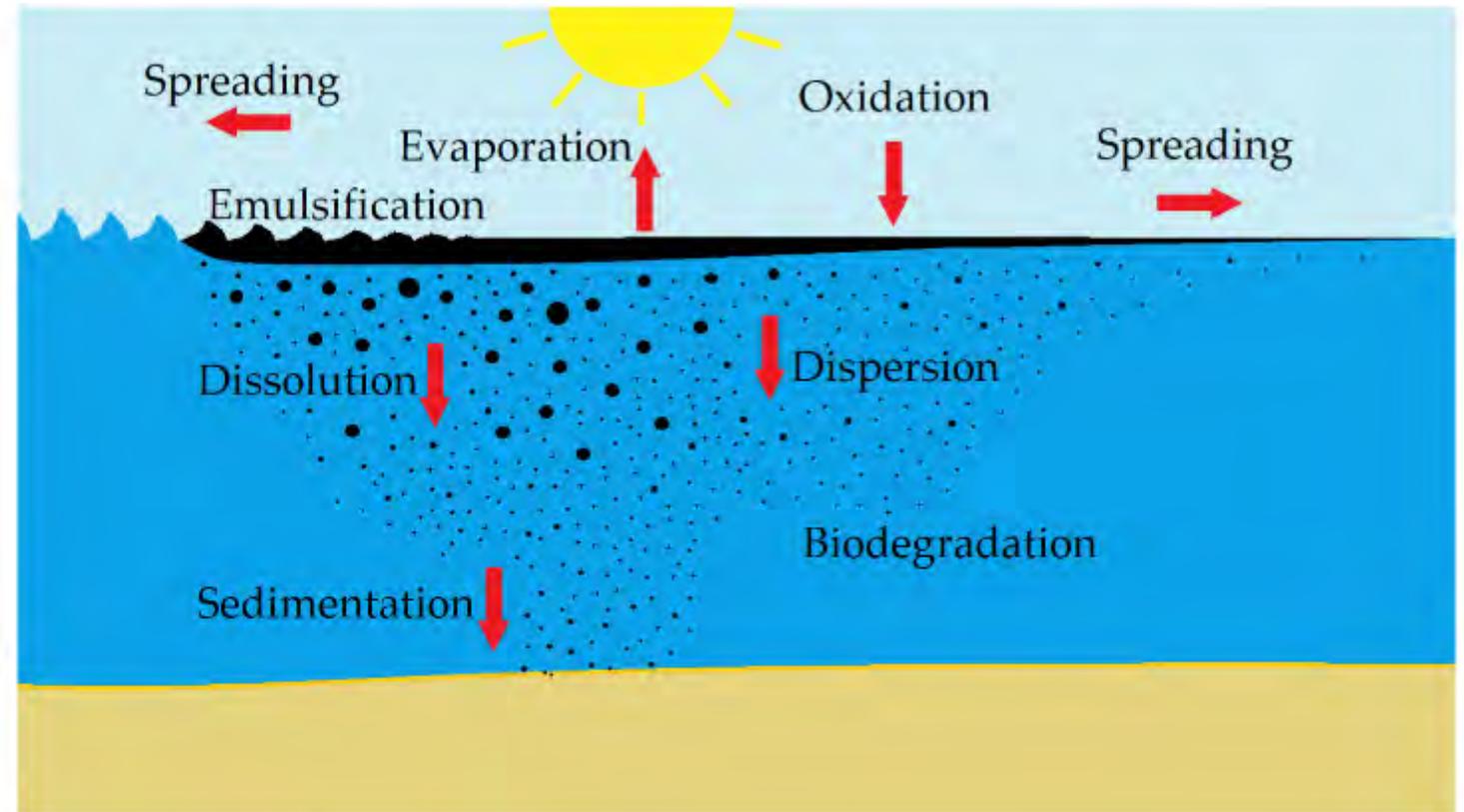
Detección de Derrames de Petróleo – Radar de Apertura Sintética (SAR)

Las propiedades del petróleo cambian con el tiempo debido al proceso de meteorización.

La meteorización depende de:

Las propiedades del petróleo (viscosidad, densidad, solubilidad, etc.)

- Temperatura del aire y del mar
- La velocidad del viento, el estado del mar, corrientes, etc.



Skrunes 2014



Deteccción de Derrames de Petróleo – Radar de Apertura Sintética (SAR)

Monitoreo de Derrames Conocidos

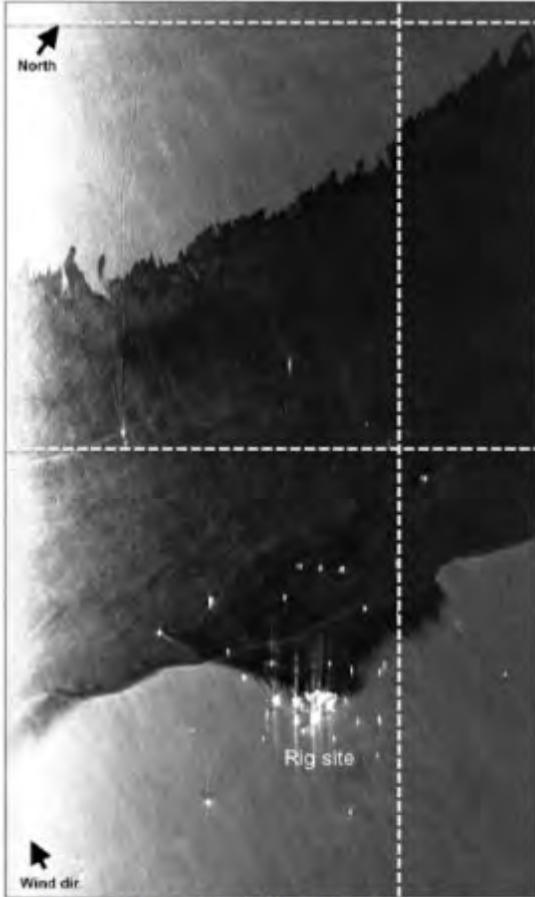
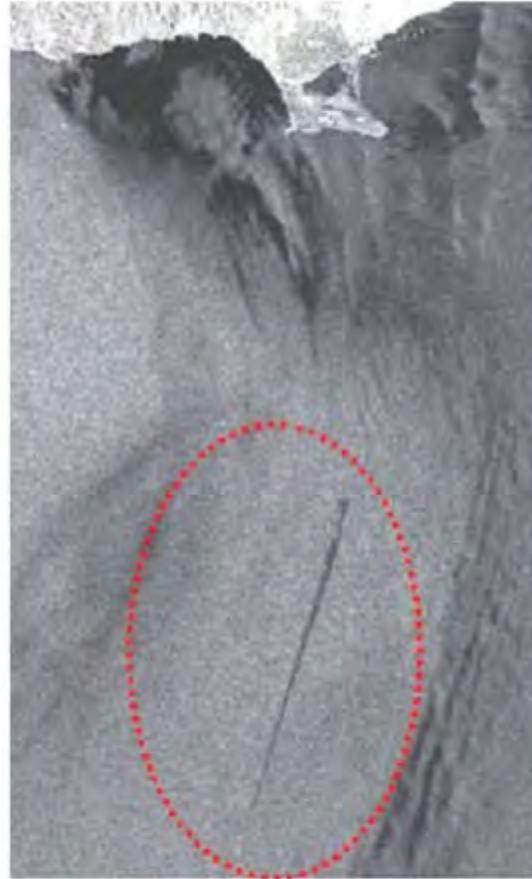


Figure from: Migliaccio and Nunziata, 2014

Deteccción de Derrames Accidentales e Intencionales



CleanSeaNet satellite image of a possible oil discharge off the coast of Cyprus
Satellite image © ESA (European Space Agency) / EMSA 2007

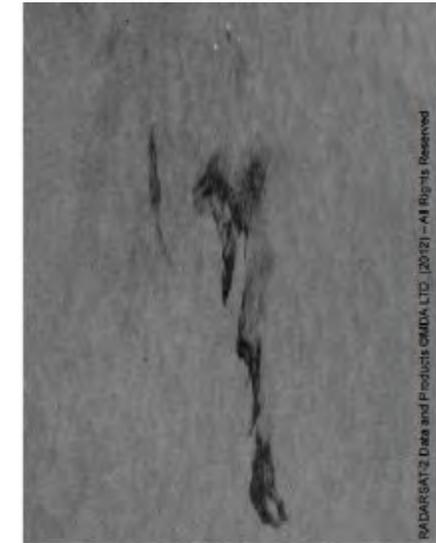
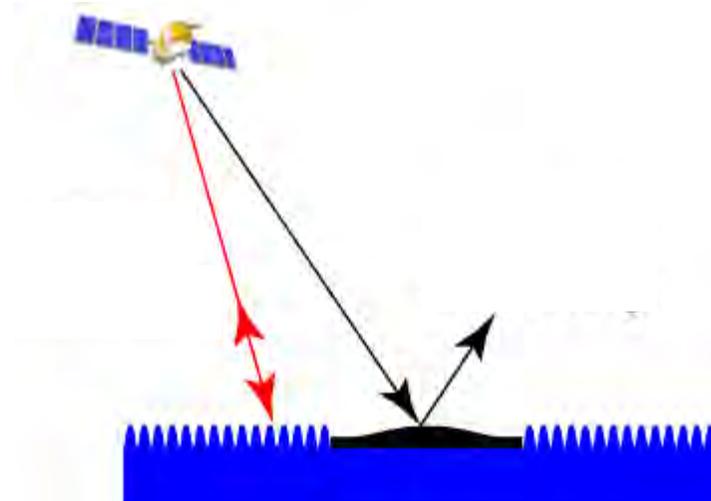
Desafíos:

- Estimaciones del espesor –
 - El petróleo más ligero se evapora rápido
 - El petróleo más espeso – de mayor viscosidad – dura más tiempo en la superficie
- Pronósticos sobre el transporte en la superficie
- Volúmenes
- Tasas de liberación
- Tipo de petróleo y propiedades
- Características del tipo de petróleo



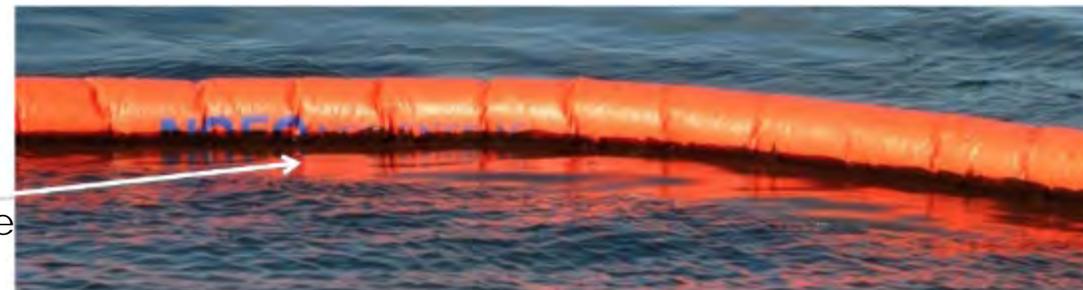
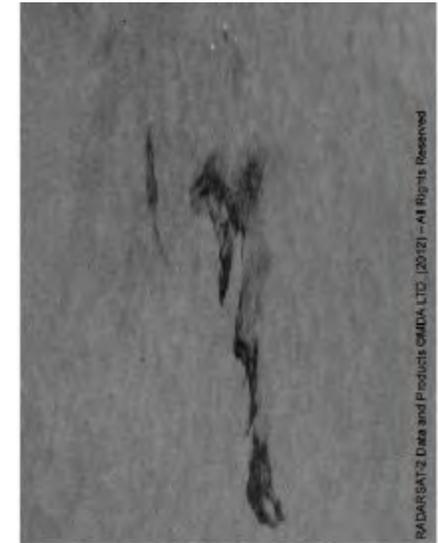
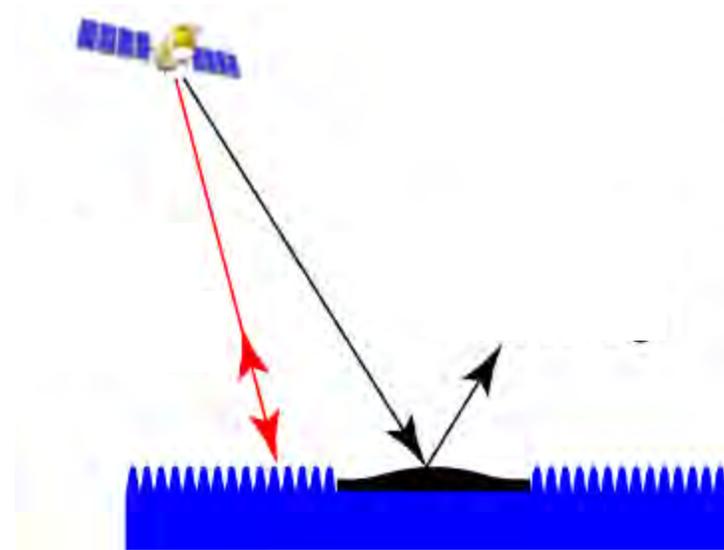
Detección de Manchas de Petróleo con SAR – ¿Cómo funciona?

- Las manchas de petróleo aparecen como áreas oscuras en las imágenes de radar en comparación con el agua circundante.
- Las manchas de petróleo amortiguan la rugosidad de la superficie y, por lo tanto, se detectan como áreas de retrodispersión reducida.
 - Una superficie lisa significa que menos de la señal regresa al satélite.
- SAR ve la rugosidad de la superficie (depende de la frecuencia).
- Se puede utilizar un rango de diferentes frecuencias de SAR para la detección de los derrames de petróleo.



Detección de Manchas de Petróleo con SAR

- También se pueden usar diferentes polarizaciones, aunque VV es la más común para los servicios operativos debido a que tiene la señal de retorno más alta.

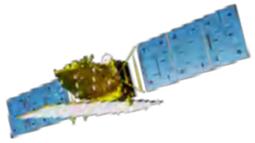
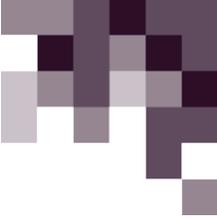


Película de
Petróleo

© C. Jones



Retrodispersión del Petróleo



Microondas



Generada por el Viento



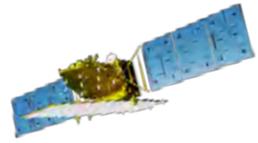
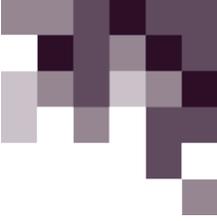
Ondas Capilares y de Gravedad Cortas



Ondas de gravedad mas largas



Retrodispersión del Petróleo

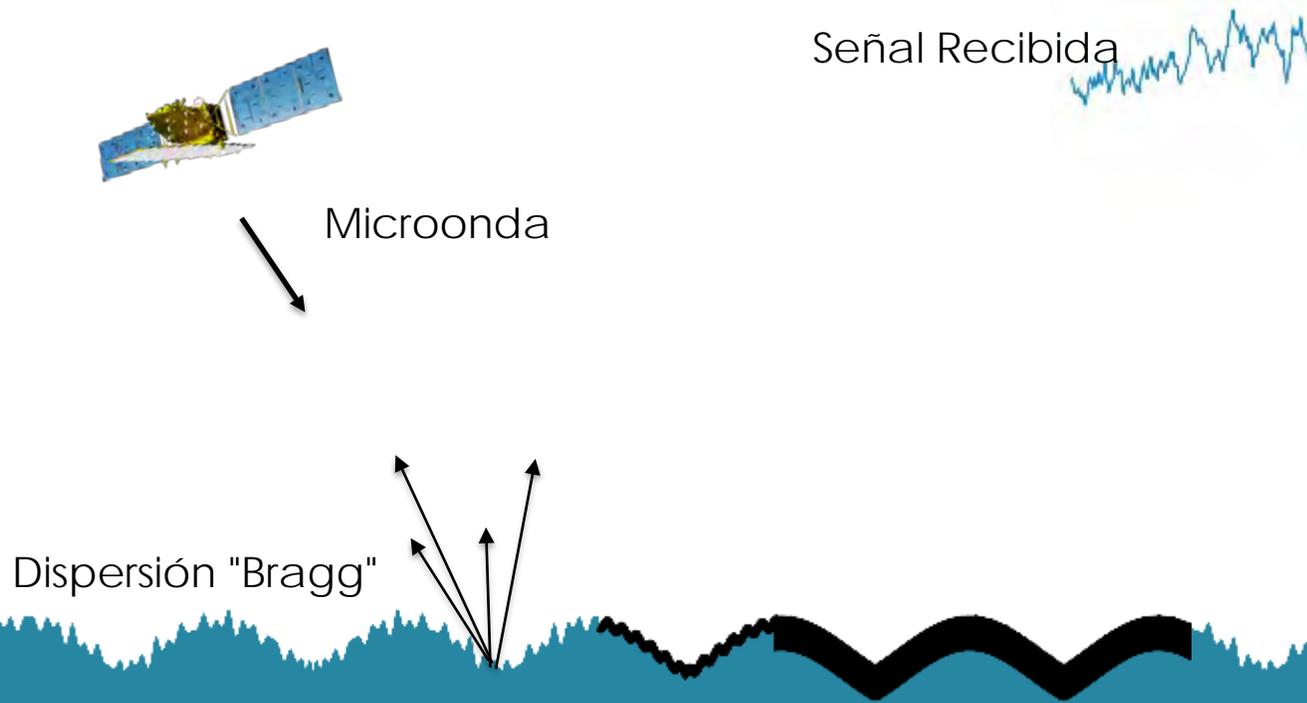


Señal Recibida 

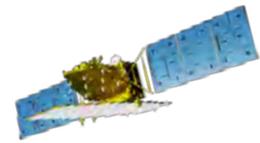
Microonda



Retrodispersión del Petróleo



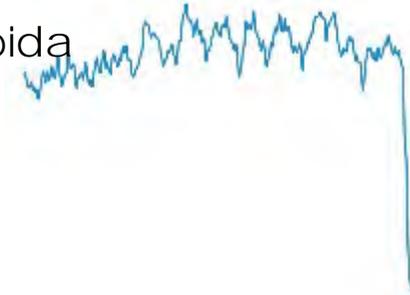
Retrodispersión del Petróleo



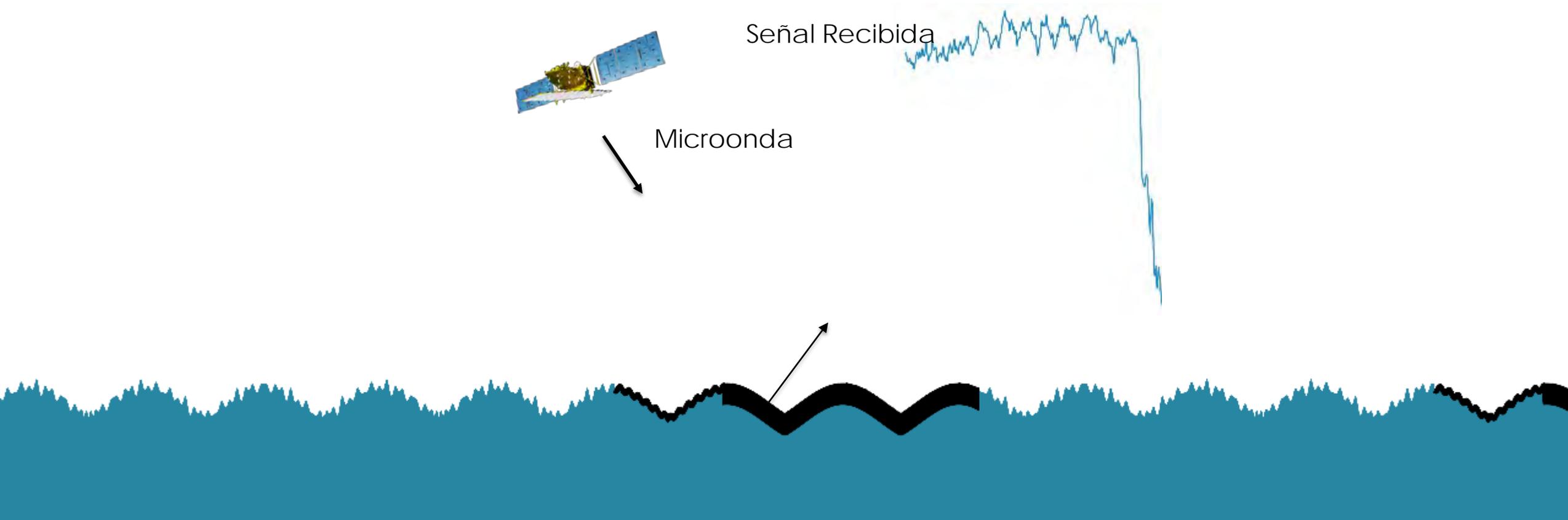
Microonda



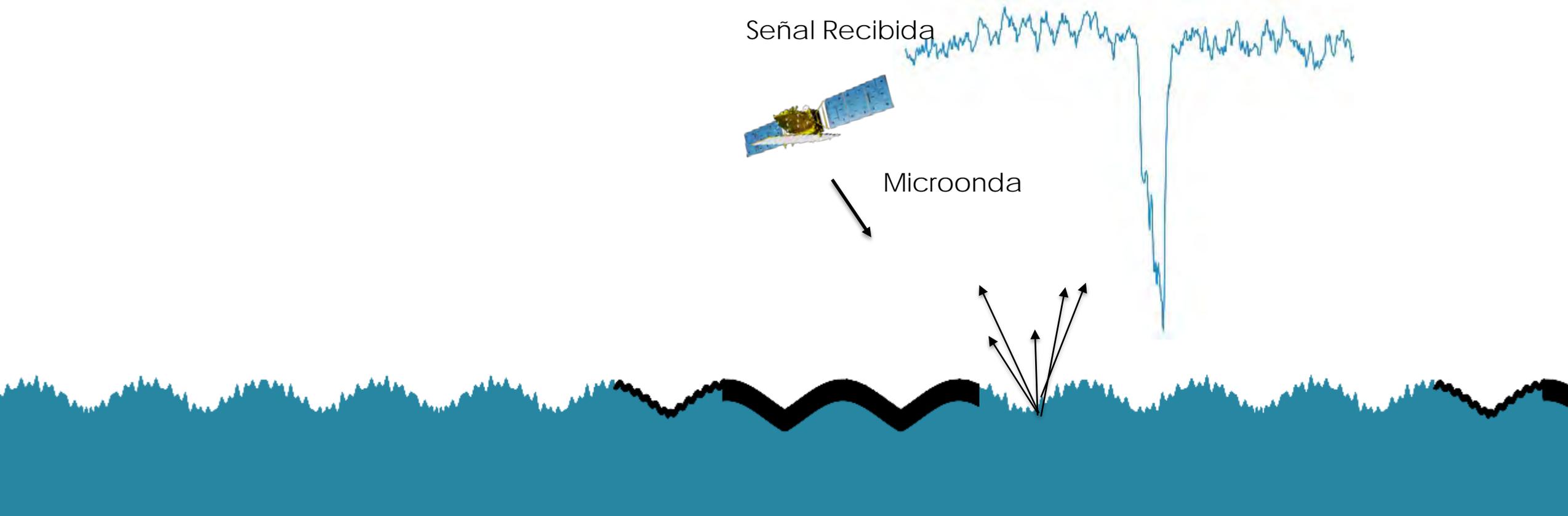
Señal Recibida



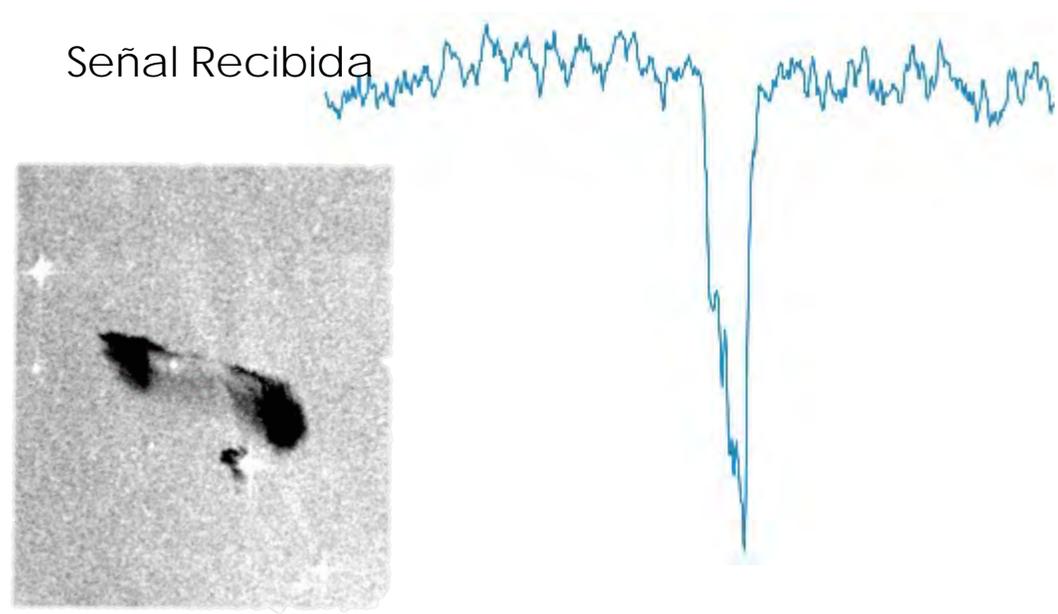
Retrodispersión del Petróleo



Retrodispersión del Petróleo



Retrodispersión del Petróleo



Detección de Manchas de Petróleo con SAR

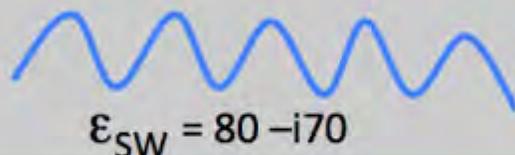
Dielectric Constant of Thick Slick Oil Emulsion Forms New Dielectric Layer

Complex Permittivity
 $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$

Sea water $\epsilon_{sw} = 80 - i70$
-High conductivity surface

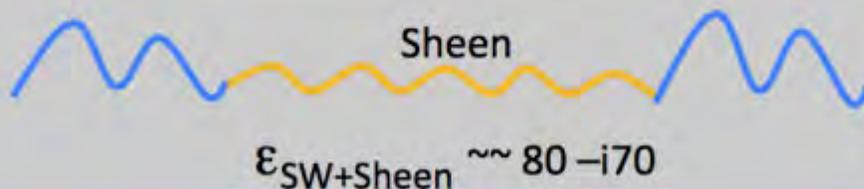
Crude oil $\epsilon_o = 2.3 - i0.02$
-Low conductivity surface

Ocean Surface (no oil)



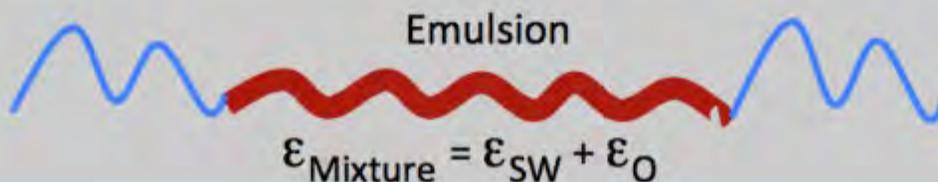
-Frequency, temperature dependent

**Ocean Surface
+Thin Sheen**



-Reduced roughness
-Sheen too thin to change ϵ_{sw}

**Emulsion =
Mixture of Oil
+ Sea water**



-New dielectric layer
with ϵ mixture
-Alters scattering

Para películas de petróleo gruesas, una reducción en la constante dieléctrica también puede disminuir la retrodispersión.



Detección de Manchas de Petróleo con SAR

- Existen diferentes espesores dentro de un mismo derrame de petróleo.
- Recuperación eficiente del petróleo -> ¿Dónde está el petróleo espeso?

- El Acuerdo del Código de Bonn
- El Código de Bonn aparece solo en el petróleo nuevo.
- Cuando el petróleo ha estado expuesto a la meteorización, puede convertirse en una emulsión.

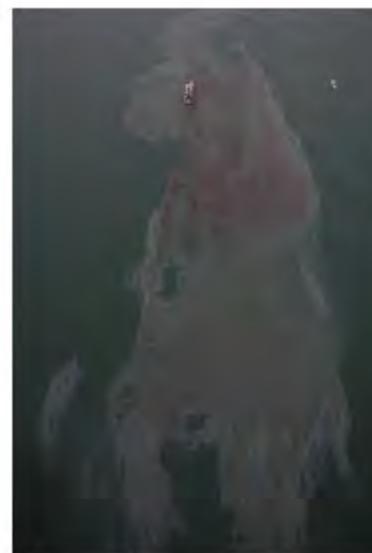


Photo: Kustbevakningen



Appearance	Thickness (μm)
Sheen (silvery/grey)	0.04 - 0.30
Rainbow	0.30 - 5.0
Metallic	5.0 - 50
Discontinuous true color	50 - 200
Continuous true color	> 200

- Áreas con metalizado - color verdadero o emulsión -> es muy importante detectarlas en una fase temprana.



Detección de Manchas de Petróleo con SAR

- Existen diferentes espesores dentro de un mismo derrame de petróleo.
- Recuperación eficiente del petróleo -> ¿Dónde está el petróleo espeso?

- El Acuerdo de París
 - El código de colores
 - Cuando el petróleo está expuesto a la meteorización, puede convertirse en una emulsión.
- Regla general:**
Más del 90% del volumen del petróleo se encuentra en menos del 10% del área del derrame.



Photo: Kustbevakningen

Appearance	Thickness (μm)
Sheen (silvery/grey)	0.04 - 0.30
Rainbow	0.30 - 5.0
Metallic	5.0 - 50
Discontinuous true color	50 - 200
Continuous true color	> 200

- Áreas con metalizado - color verdadero o emulsión -> es muy importante detectarlas en una fase temprana.



Detección de Manchas de Petróleo con SAR

- Limitaciones de Sensores:
 - Ruido
 - Ángulo de Incidencia
 - Cobertura Espacial
 - Resolución
 - Cobertura Temporal

Limitaciones conocidas con la detección de derrames de petróleo con SAR:

Fenómenos de apariencia similar:

- Manchas naturales, hielo marino recién formado, regiones de poco viento, ondas internas, surgencia, floraciones de algas

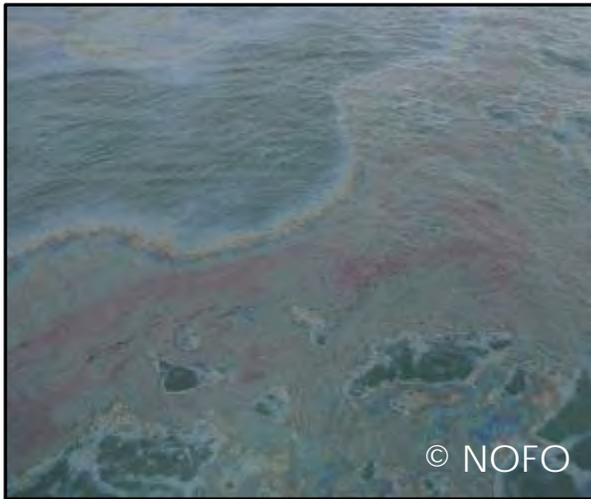


Fenómenos de Apariencia Similar Para SAR

Hielo Marino Recién Formado



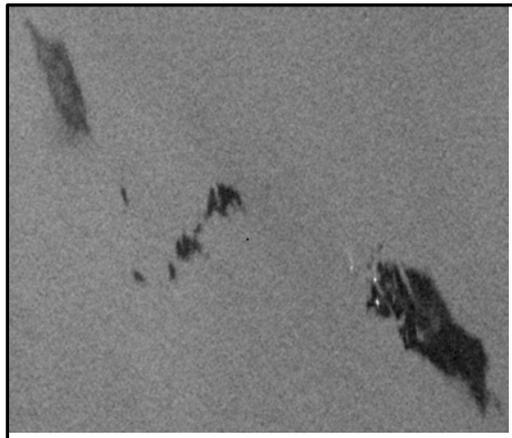
Derrames de Petróleo



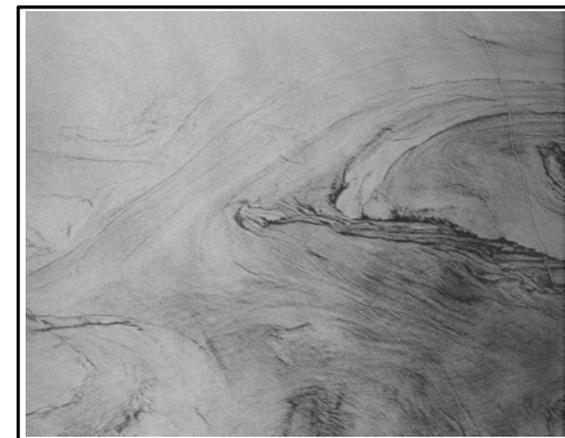
Floraciones de Algas



NASA's Applied Remote Sensing Training Program



Datos y Productos de RADARSAT-2© MDA Ltd.
2012 Derechos Reservados



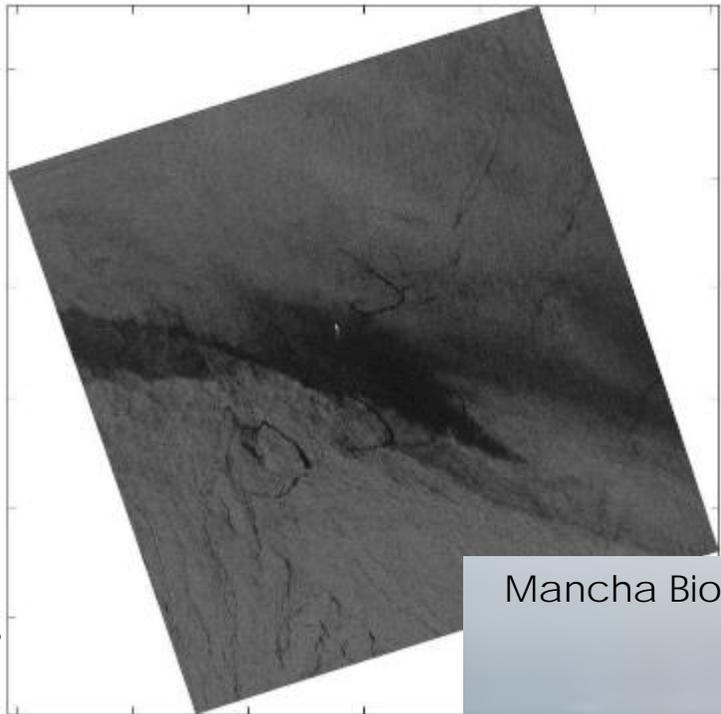
Datos y Productos de RADARSAT-2© MDA Ltd.
2016 Derechos Reservados



Fenómenos de Apariencia Similar Para SAR

- Aquí una filtración natural de petróleo, manchas biogénicas y zonas de poco viento se ven en la misma área de 25 x 25 km.

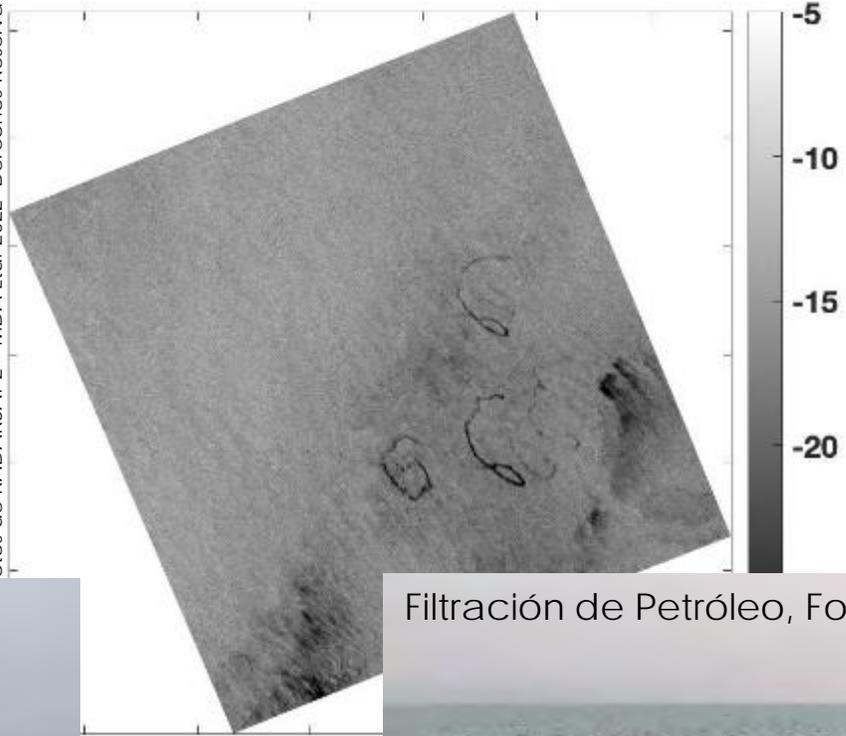
Datos y Productos de RADARSAT-2 © MDA Ltd. 2022 Derechos Reservados



Mancha Biogénica, Foto V de Aguiar



Datos y Productos de RADARSAT-2 © MDA Ltd. 2022 Derechos Reservados



Filtración de Petróleo, Foto V de Aguiar



Muchos Factores Afectan a las Imágenes SAR

- **Surface parameters**

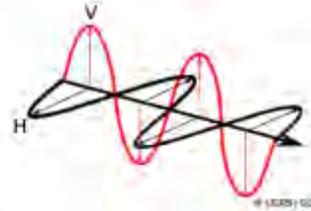
- Roughness
- Dielectric properties



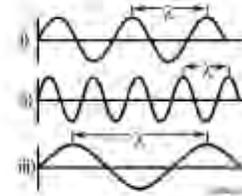
- **Wind conditions**
- **Oil slick properties**

- **Sensor parameters**

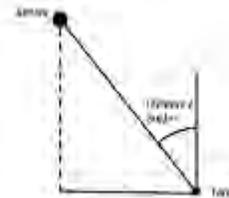
- Polarization



- Frequency



- Incidence angle θ



- Resolution, sensor noise, ...



Muchos Factores Afectan a las Imágenes SAR

- **Surface parameters**

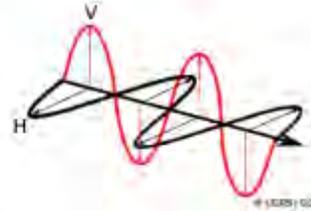
- Roughness
- Dielectric properties



- **Wind conditions**
- **Oil slick properties**

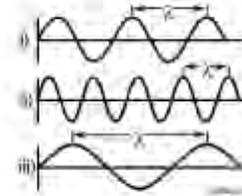
- **Sensor parameters**

- Polarization

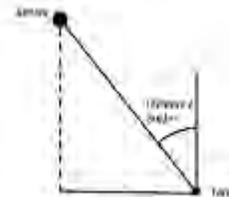


El SAR de polarización singular se utiliza desde los años 80...

- Frequency



- Incidence angle θ



- Resolution, sensor noise,

...



Datos de SAR de Polarización Singular

- Incluso con datos de polarización singular podemos hacer muchas cosas.
- Pasos que normalmente se siguen:
 - Detección de áreas oscuras
 - Extracción de características
 - Clasificación de petróleo versus fenómenos parecidos



Datos y Productos de RADARSAT-2 © MDA Ltd. 2020 Derechos Reservados

- La señal de retorno más alta ocurre con la polarización vertical.
 - Es la polarización más adecuada para la detección de derrames de petróleo



Datos de SAR de Polarización Singular

- Las propiedades dieléctricas del petróleo están relacionadas con la fracción volumétrica del petróleo.
- El petróleo más espeso amortigua las ondas superficiales con más fuerza.
 - Un mapa que muestra áreas con petróleo relativamente más espeso

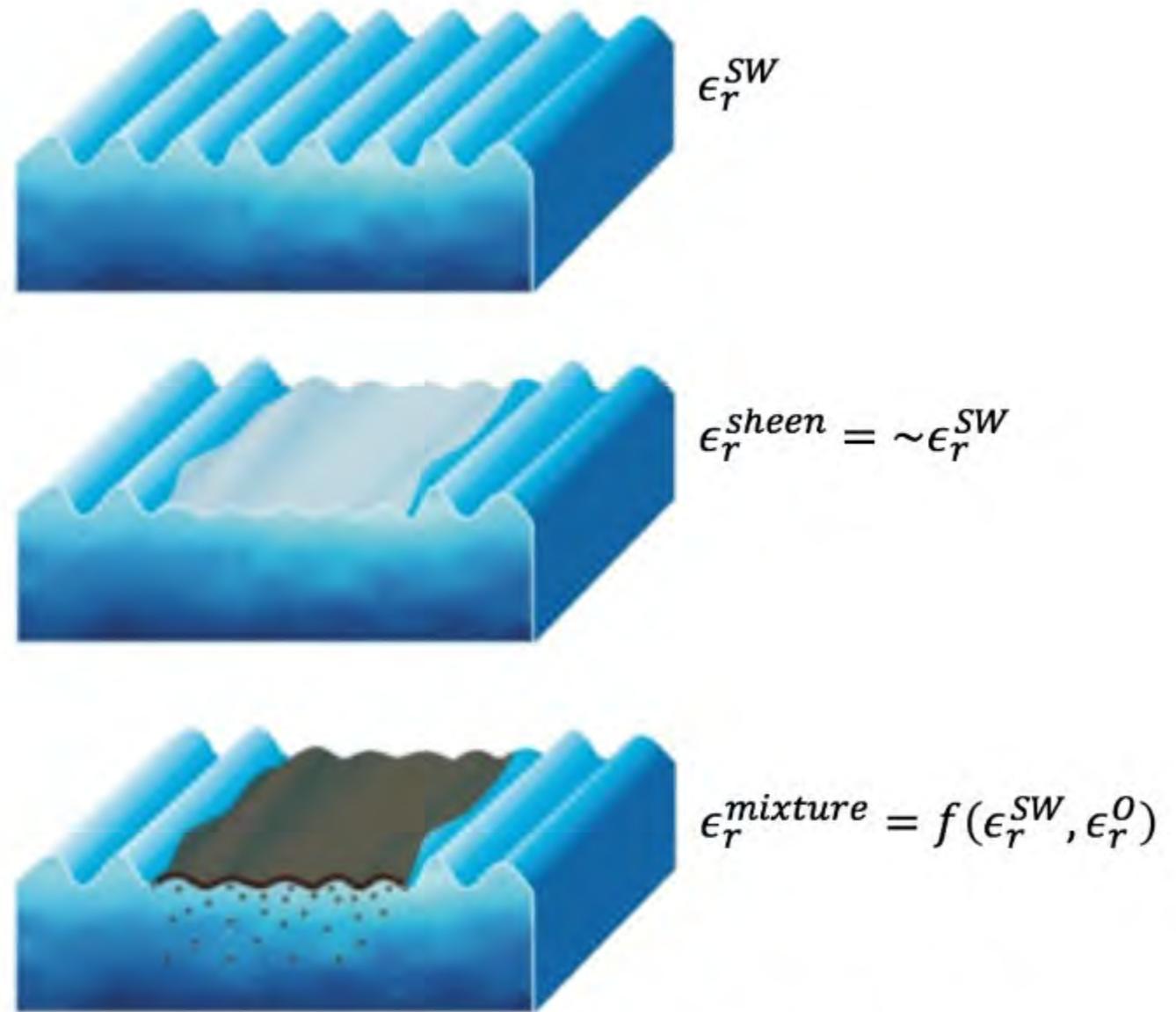
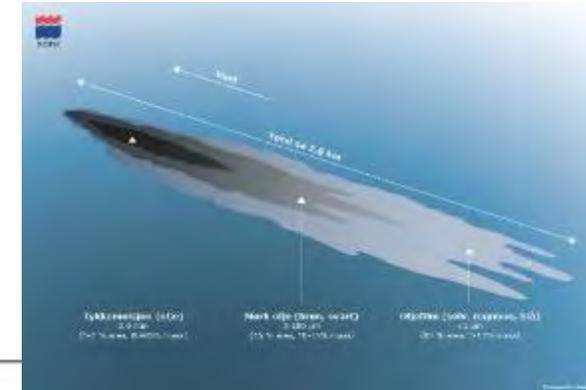


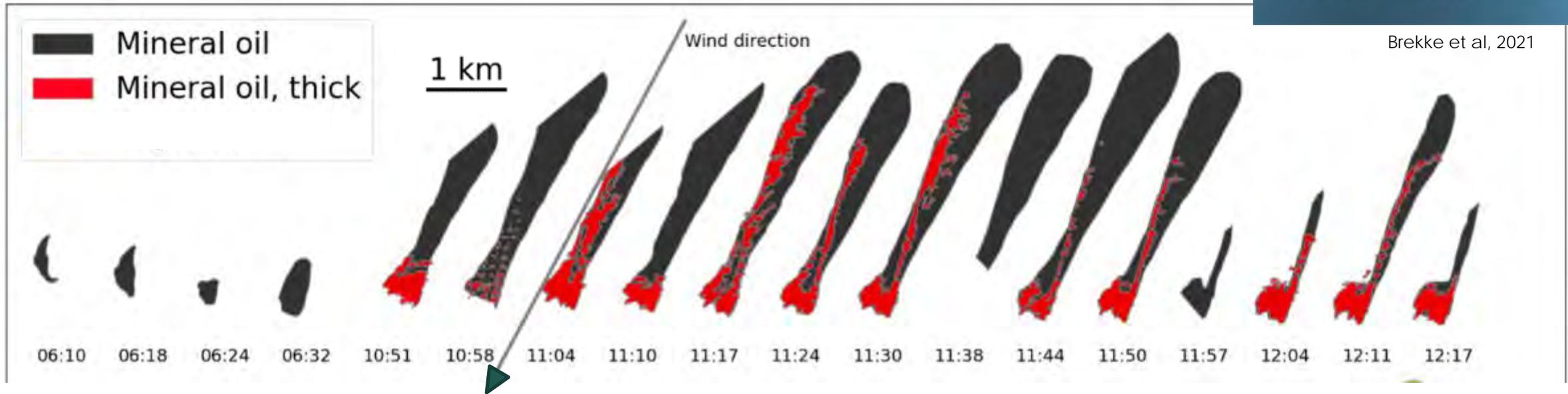
Figure 1.7 The impact of sheen and thicker mineral oil slicks on the relative dielectric constant. (Top) Clean sea water, (Middle) sheen slick, and (Bottom) thicker oil slick.

Datos de SAR de Polarización Singular

- Tasa de Amortiguación (Contraste de Retrodispersión en dB) = VV_{limpio} / VV
- Es especialmente útil cuando tenemos una serie temporal

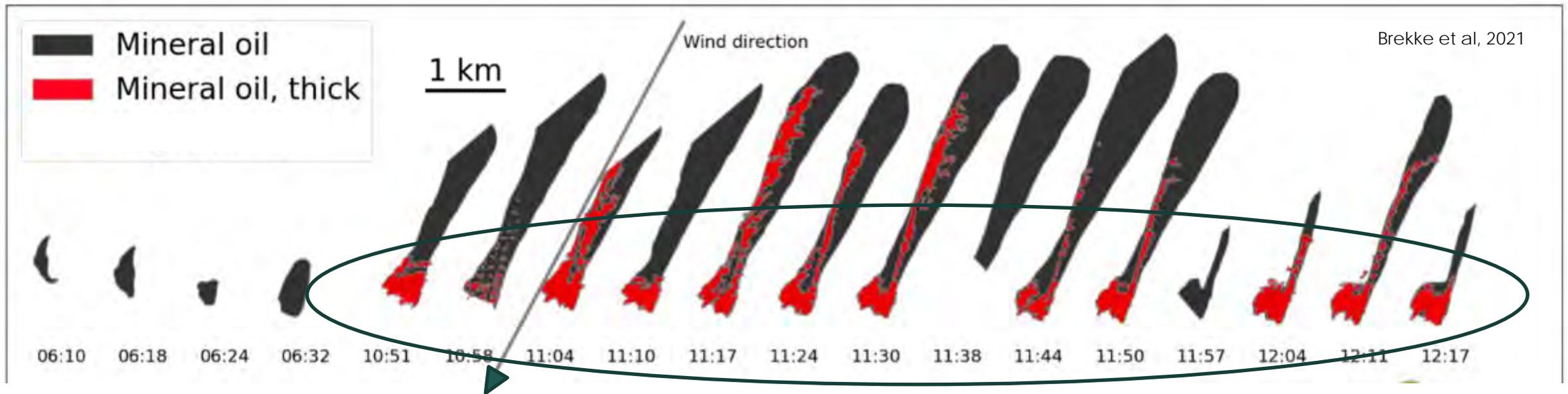


Brekke et al, 2021



Datos de SAR de Polarización Singular

- Tasa de Amortiguación (Contraste de Retrodispersión en dB) = VV_{limpio} / VV
- Se usa la tasa de amortiguación para ayudar al personal de respuesta en las operaciones de limpieza

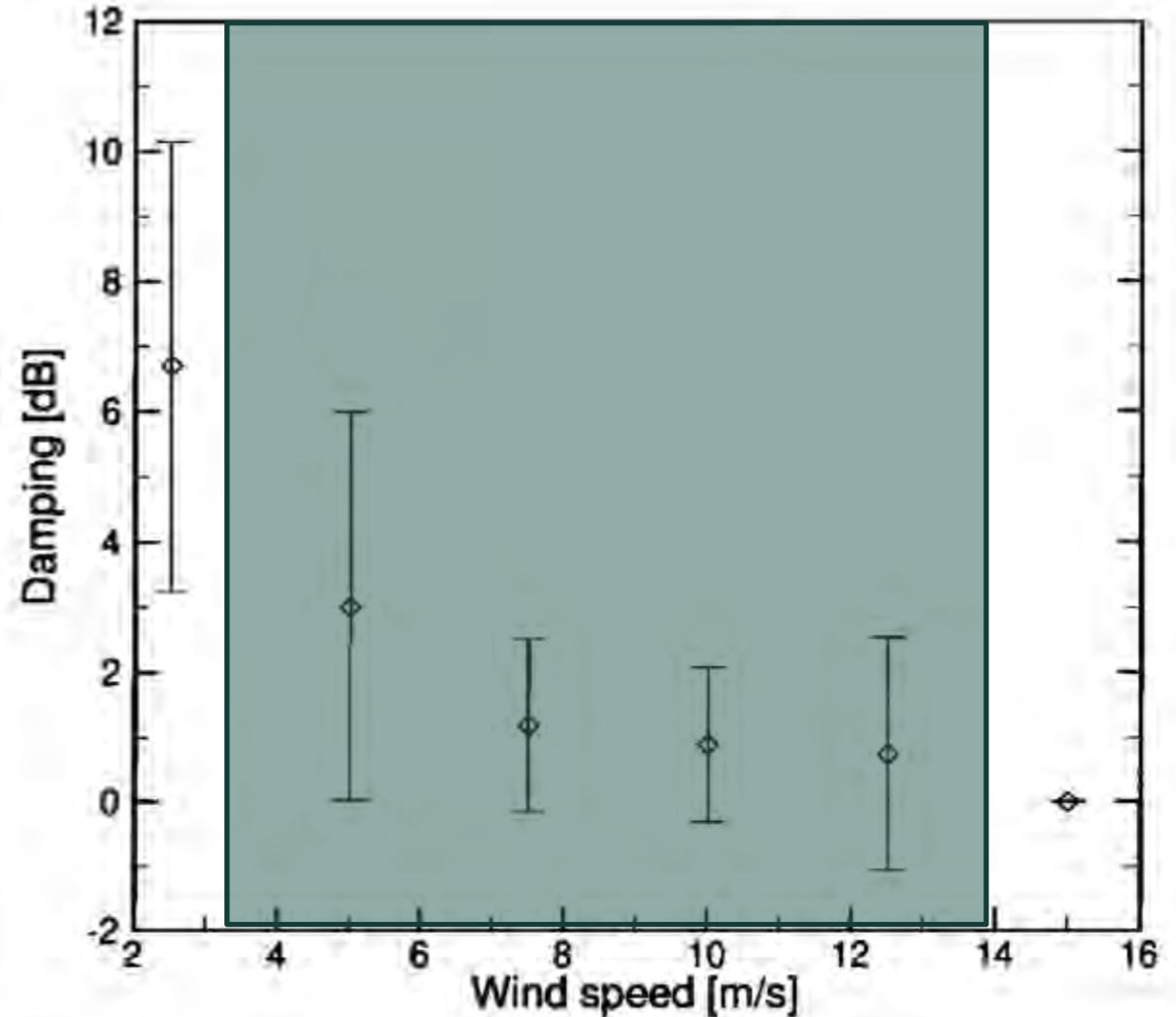


La mayoría del petróleo está concentrado en la parte delantera y en el medio del campo. Esto está relacionado con la dirección del movimiento.



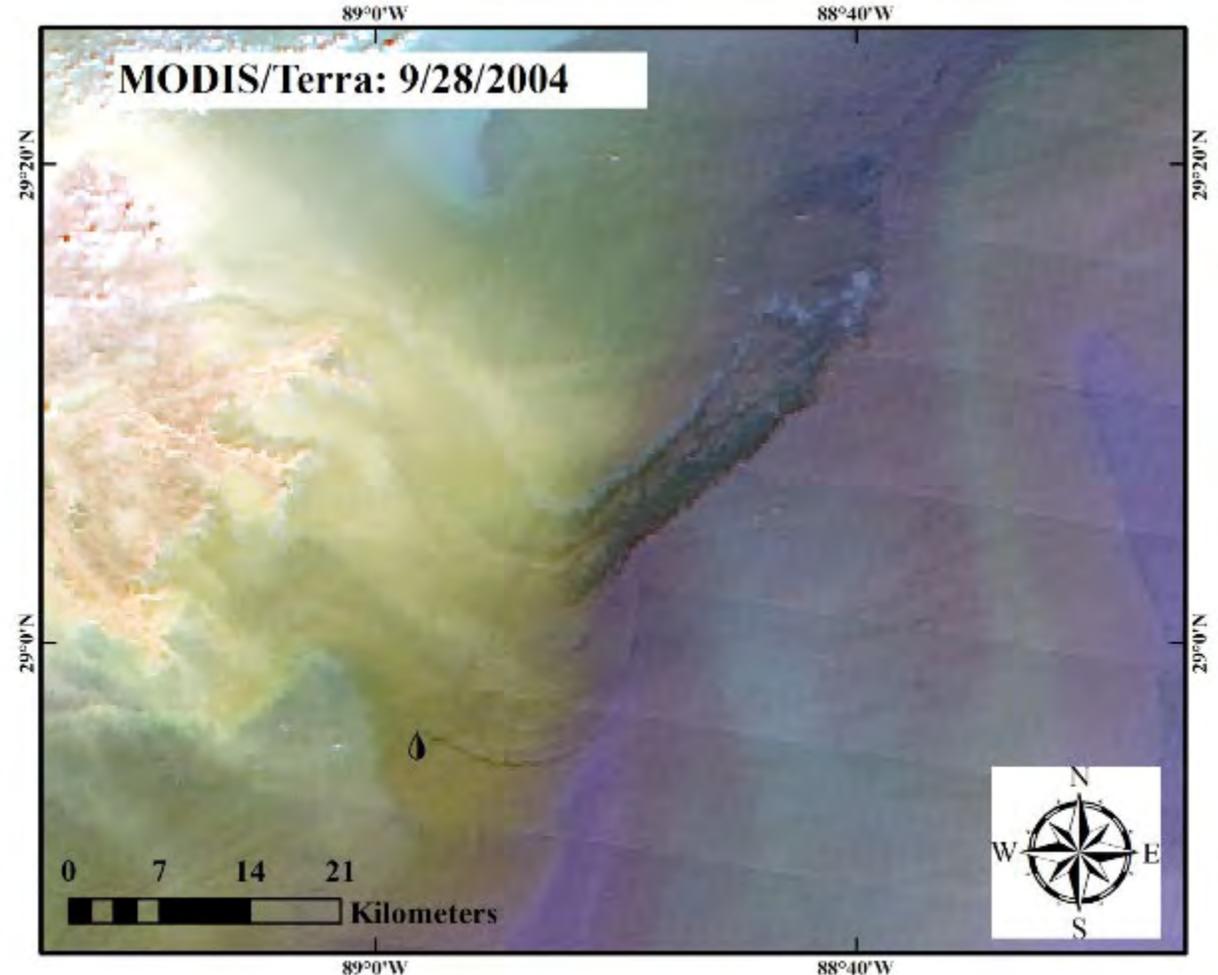
SAR – Condiciones del Viento

- Detección limitada de aprox. 2-3 m/s a 10-14 m/s
 - Viento demasiado bajo -> no es posible separarlo del entorno
 - Demasiado alto y el petróleo se mezcla con la columna de agua -> reduce la mancha en la superficie marina
- También afecta a parámetros como la tasa de amortiguamiento, e.g. cuánto se ha reducido la retrodispersión



Mississippi Canyon 20 (MC20) en el Golfo de México

- <https://coastalscience.noaa.gov/news/mc20report/>
- Hay fuga de petróleo aquí desde el huracán Iván en 2004.
- Una forma de monitorear la liberación continua es a través de imágenes SAR, tanto aéreas como satelitales.

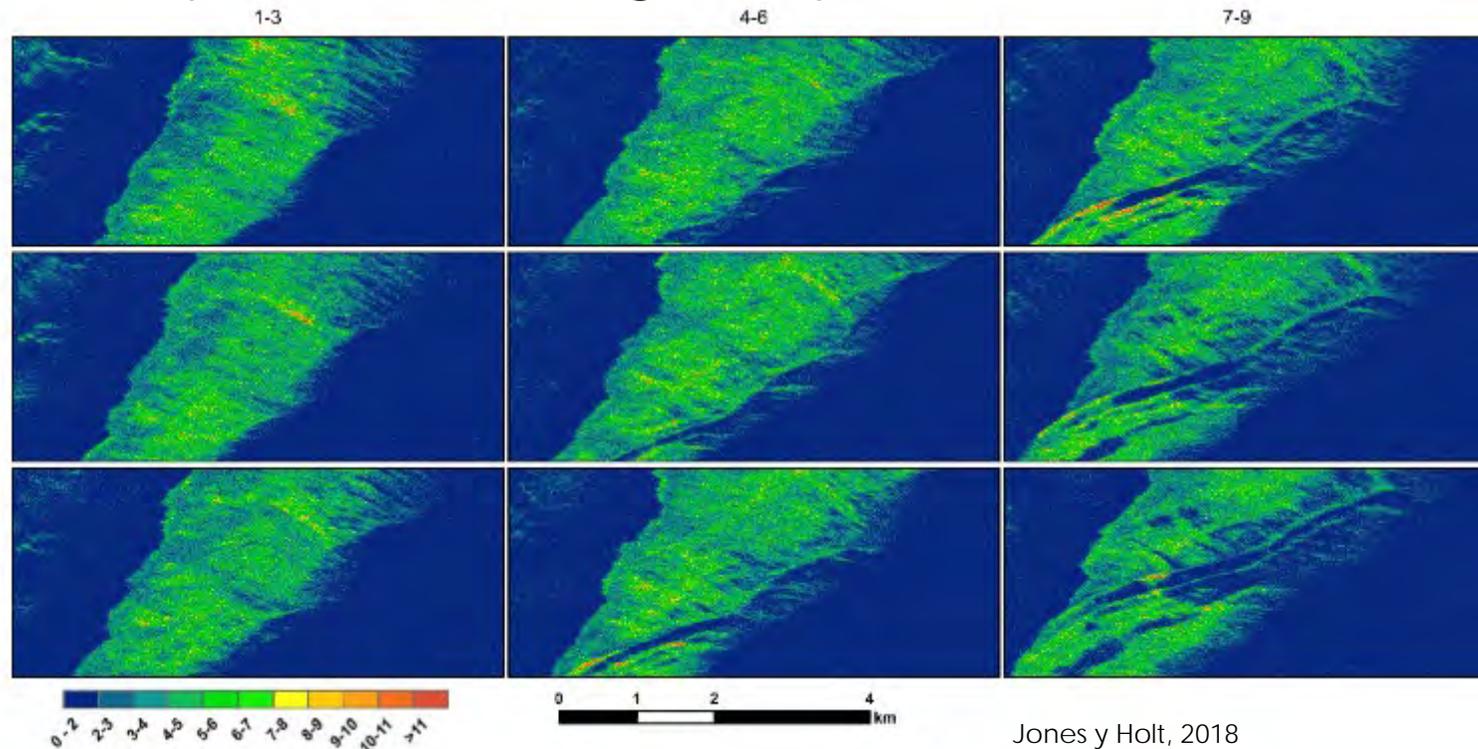


Satellite image showing oil slicks from MC20 after Ivan (Image courtesy Shaojie Sun)



Estimación de Espesor Relativo

- Golfo de México, noviembre de 2016 -- se puede monitorear el derrame de petróleo a lo largo del tiempo
- Matemáticamente rápido
- Dependencia del ángulo de incidencia reducida ← ¡Volveremos a este punto!
- El umbral de petróleo versus agua depende del estado del viento

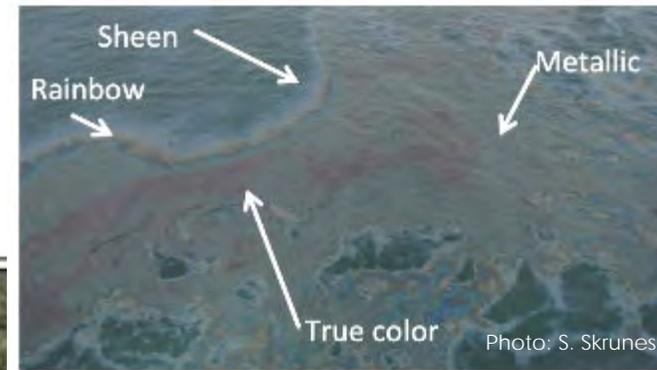


Jones y Holt, 2018

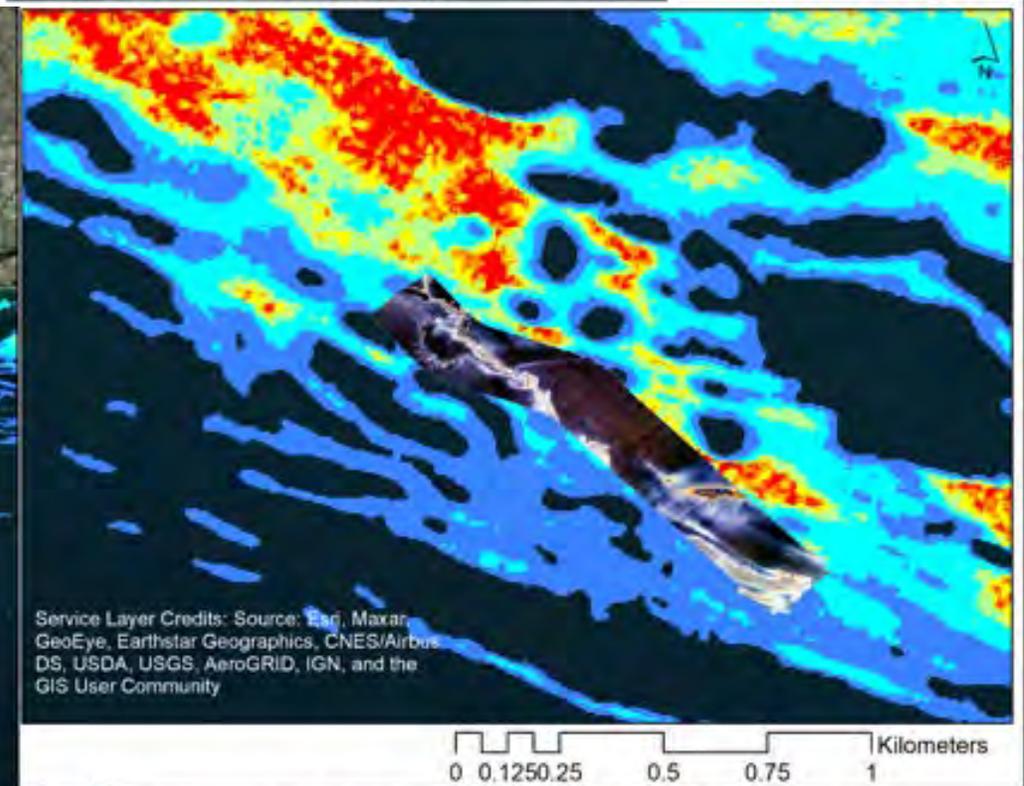
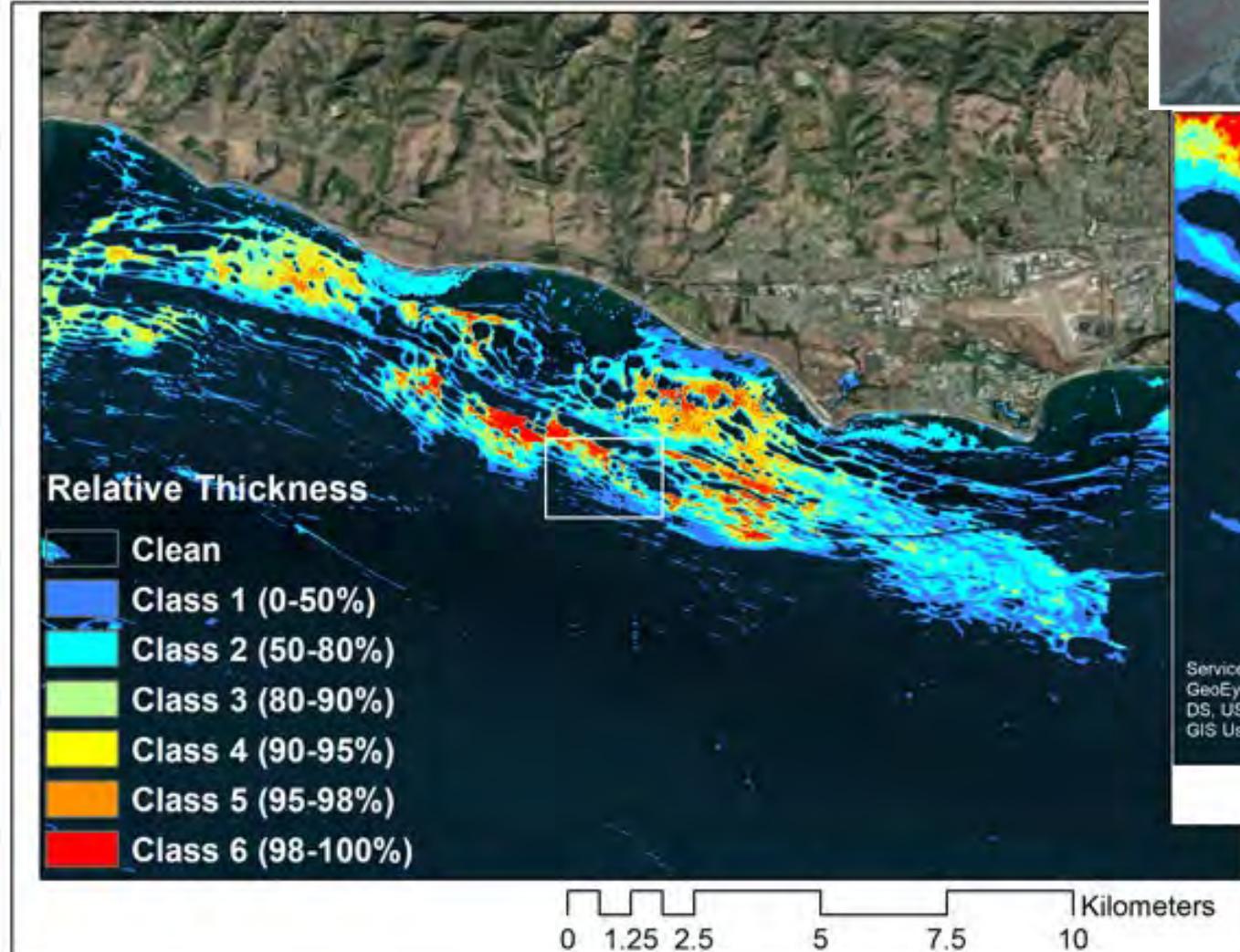
La tasa de amortiguación depende de la imagen y no es comparable entre conjuntos de imágenes



Comparación con Imágenes Ópticas



Appearance	Thickness (μm)
Sheen (silvery/grey)	0.04 - 0.30
Rainbow	0.30 - 5.0
Metallic	5.0 - 50
Discontinuous true color	50 - 200
Continuous true color	> 200

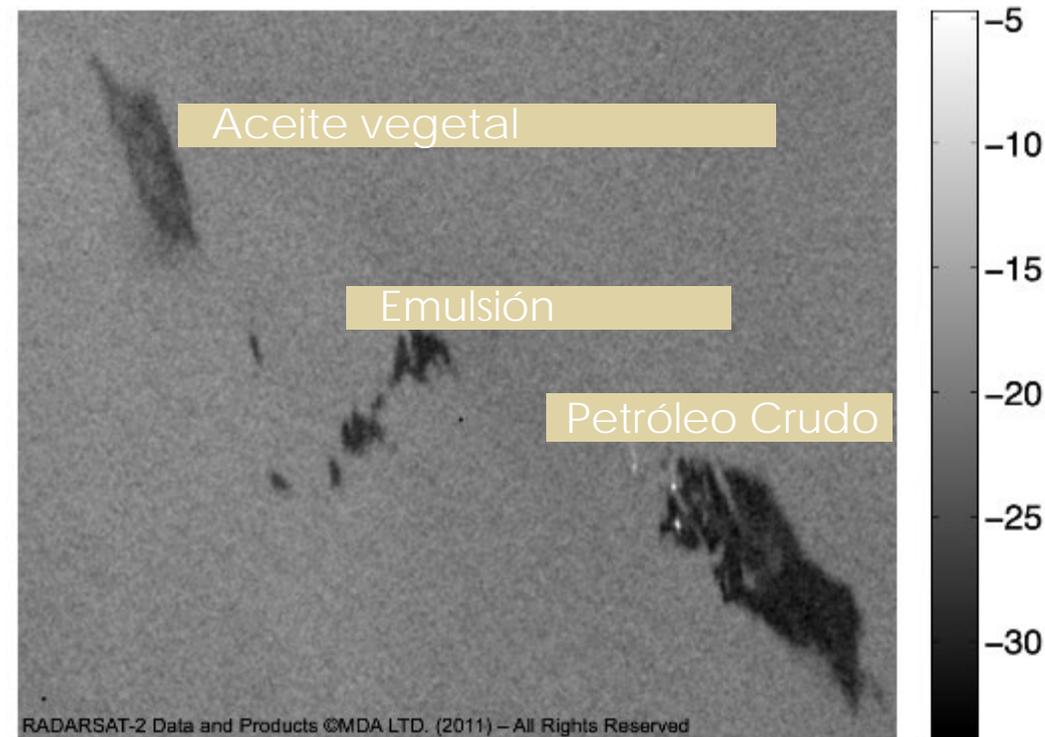
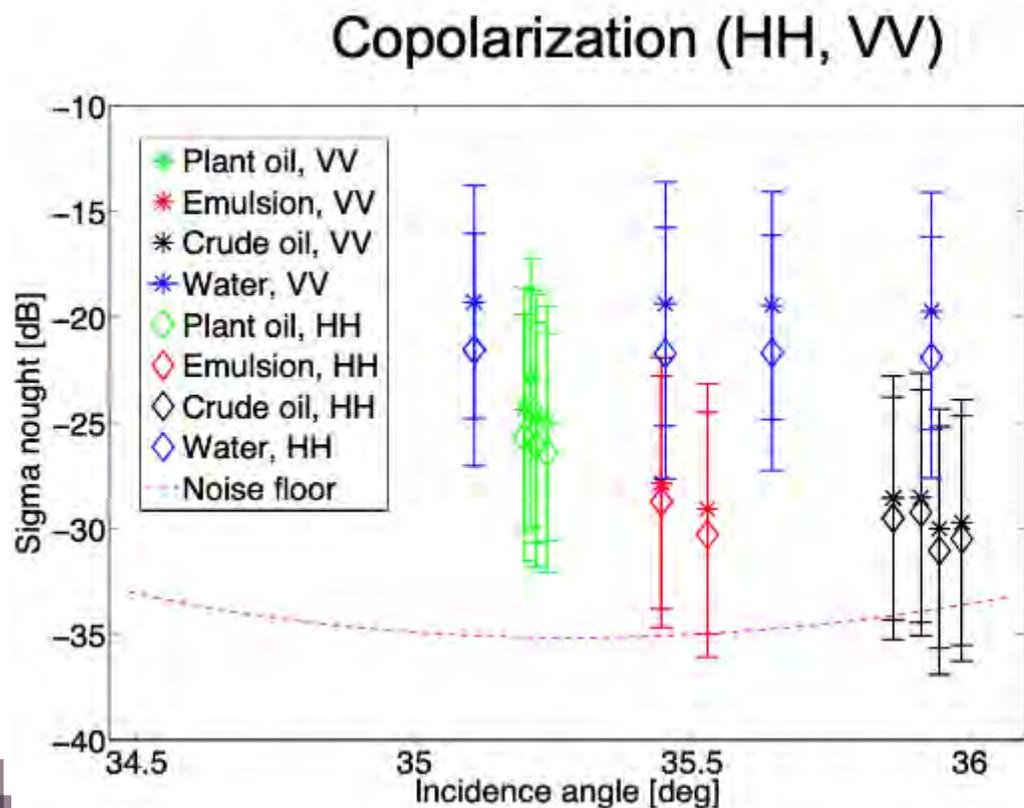


DRONE IMAGE INSET ON SAR CLASSES



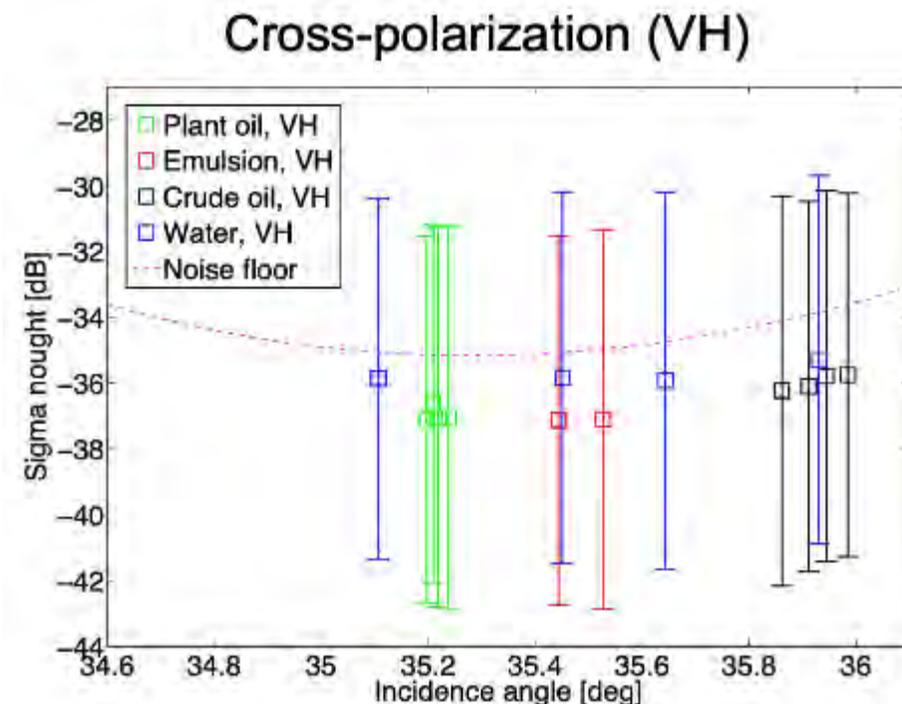
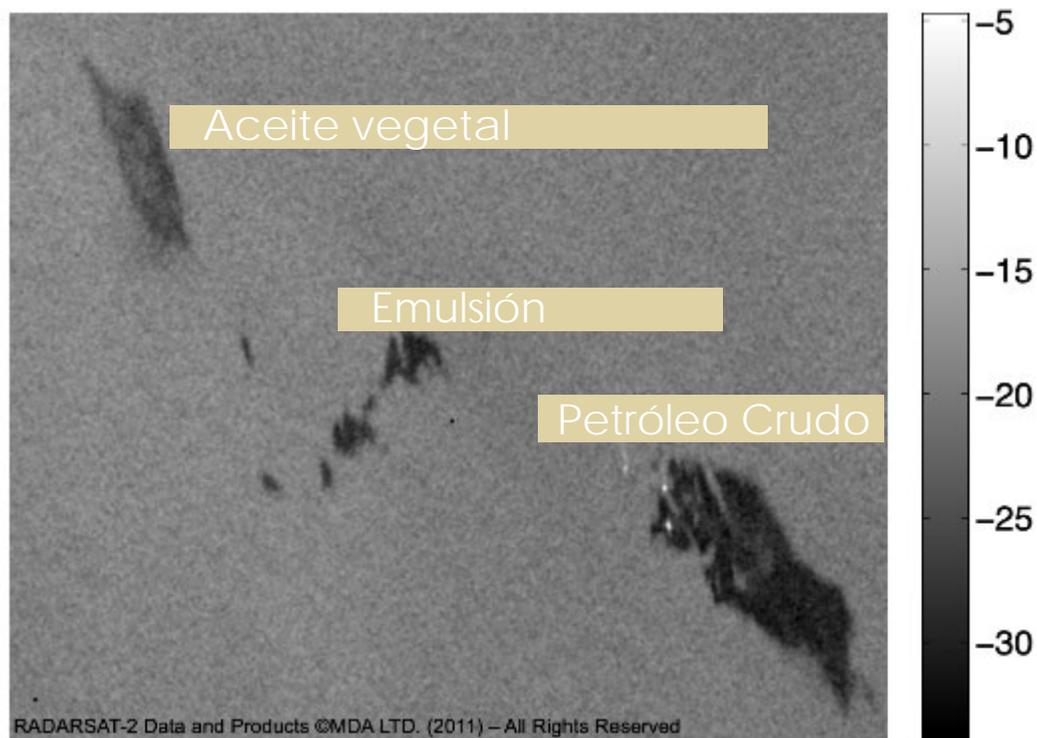
Ruido

- Podemos obtener estimaciones de espesor relativo de un canal, pero...
- El petróleo es una superficie de baja retrodispersión y debemos tener cuidado con la contaminación de ruido.



Ruido

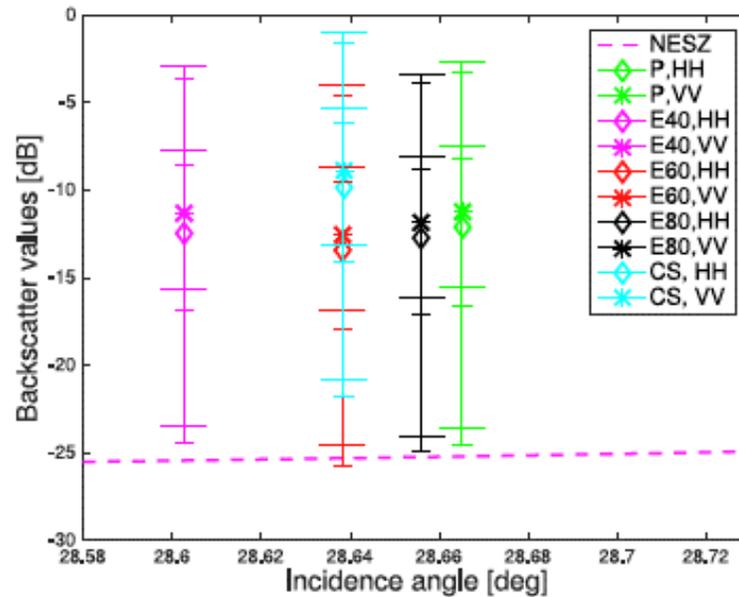
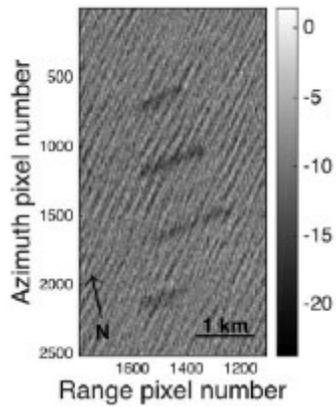
- Los análisis de ruidos muestran una alta contaminación de ruido en los canales de polarización cruzada.
- Si la relación señal-ruido (signal-to-noise ratio o SNR) es pobre -> no se puede separar áreas más espesas.
- Imagen del ejercicio anual de petróleo sobre agua (Oil on Water) en Noruega 2011.



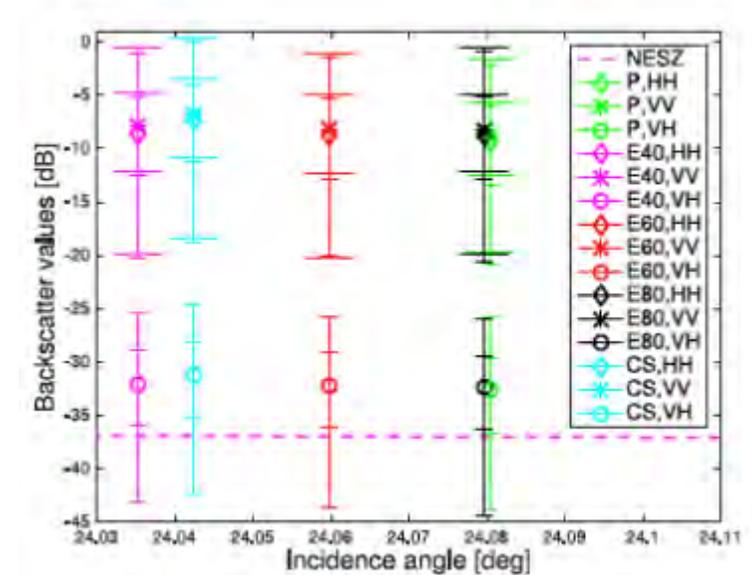
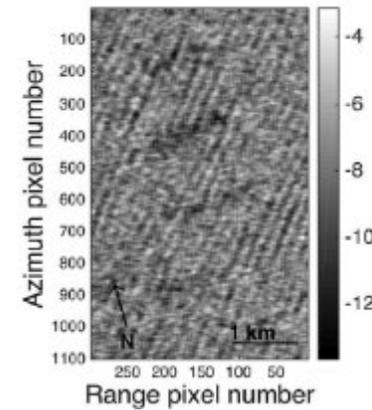
Ruido

- Diferentes sensores tienen diferentes niveles de piso de ruido, or NESZ.

TerraSAR-X



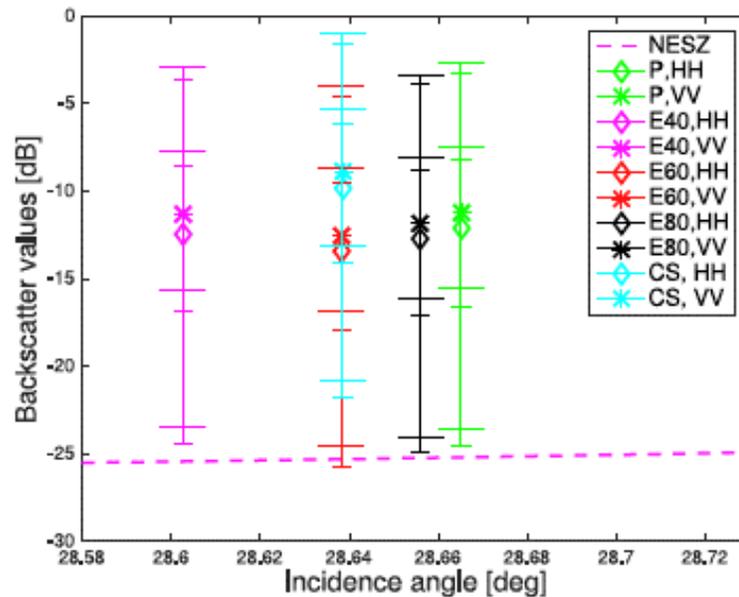
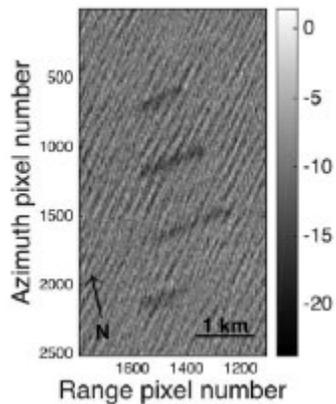
Radarsat-2



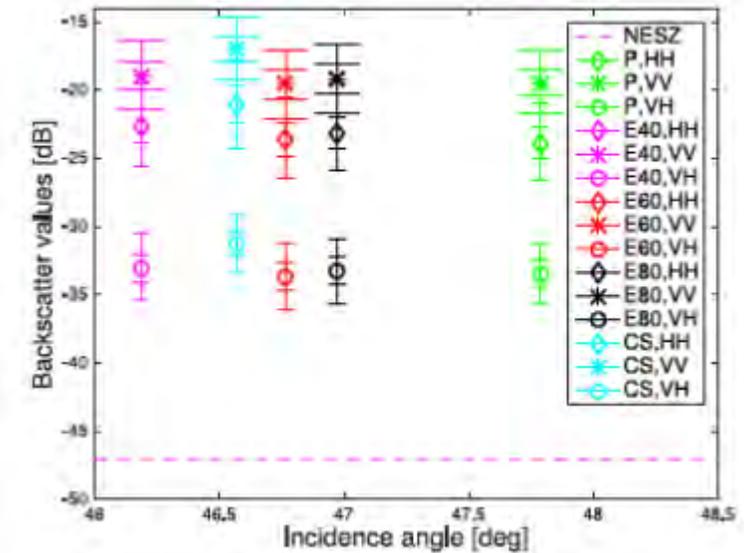
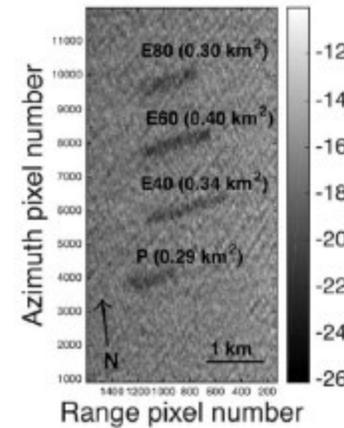
Ruido

- Diferentes sensores tienen diferentes niveles de piso de ruido, o NESZ.
- Y, por ejemplo, NASA UAVSAR tiene un nivel de piso de ruido muy bueno.

TerraSAR-X



UAVSAR



Muchos factores Afectan las imágenes SAR

- **Surface parameters**

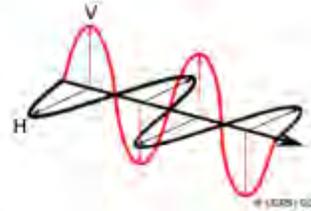
- Roughness
- Dielectric properties



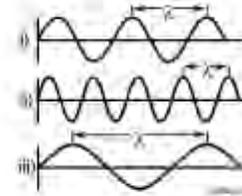
- **Wind conditions**
- **Oil slick properties**

- **Sensor parameters**

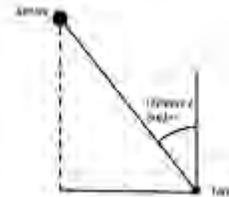
- Polarization



- Frequency



- Incidence angle θ



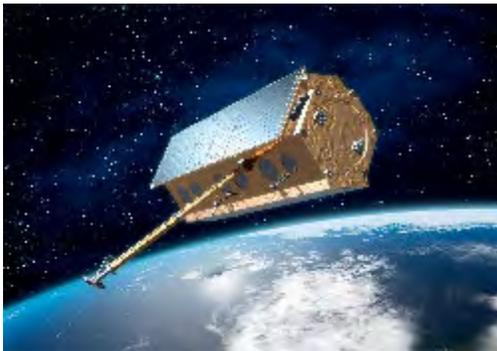
- Resolution,
sensor noise,
...



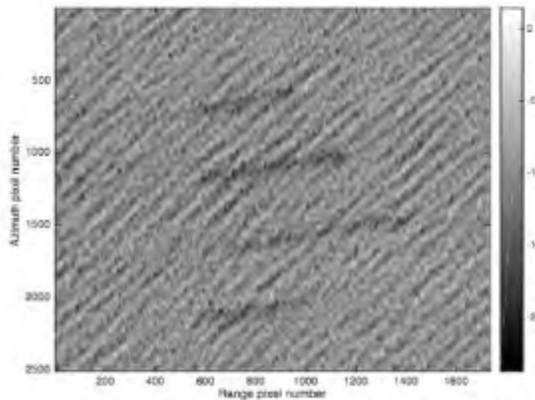
Detección de Derrames de Petróleo – Frecuencia

- Muchos diferentes satélites y plataformas aéreas se utilizan para detección operativa de derrames de petróleo

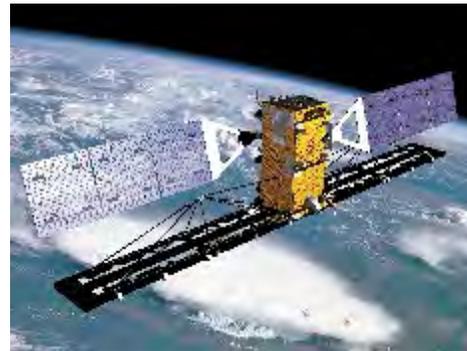
TerraSAR-X
(banda-X)



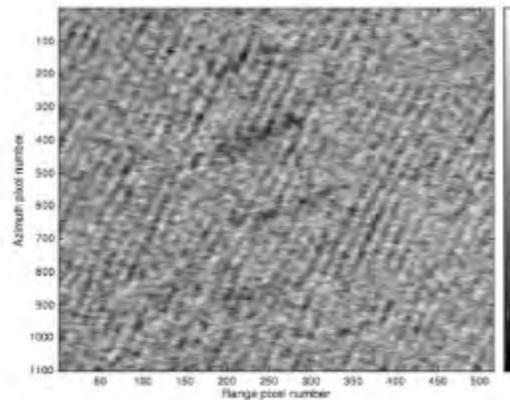
06.24



Radarsat-2
(banda-C)



06.28

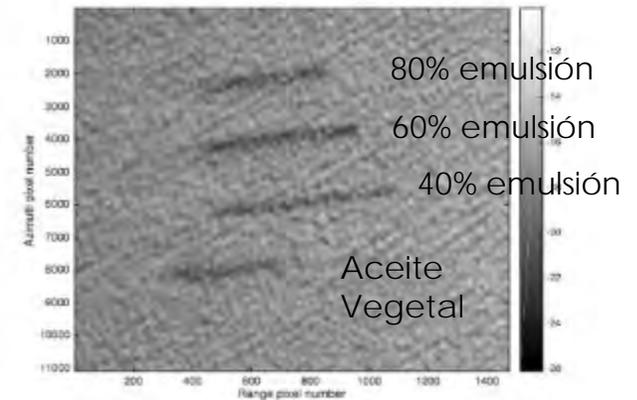


NASA-UAVSAR
(banda-L)



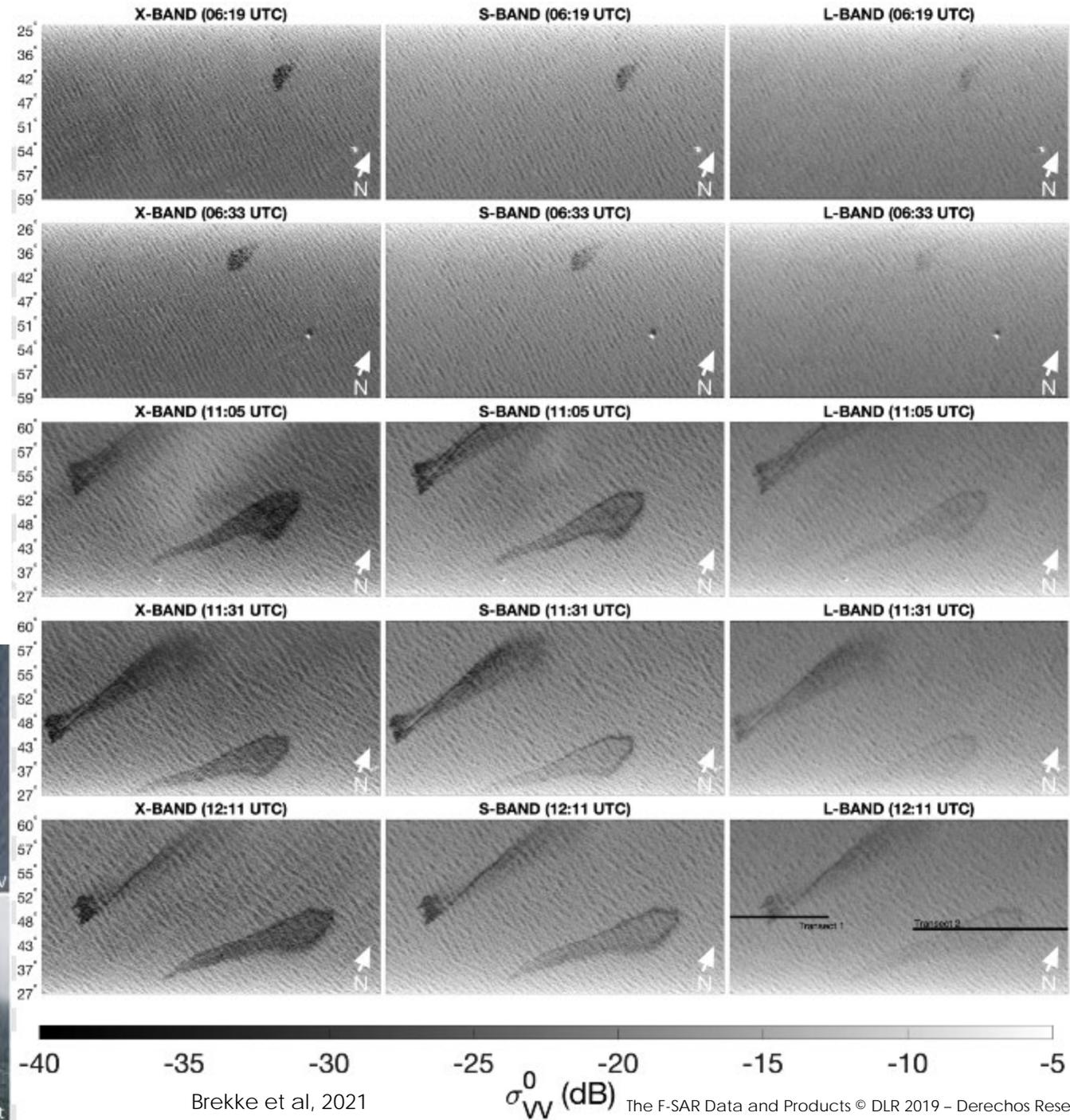
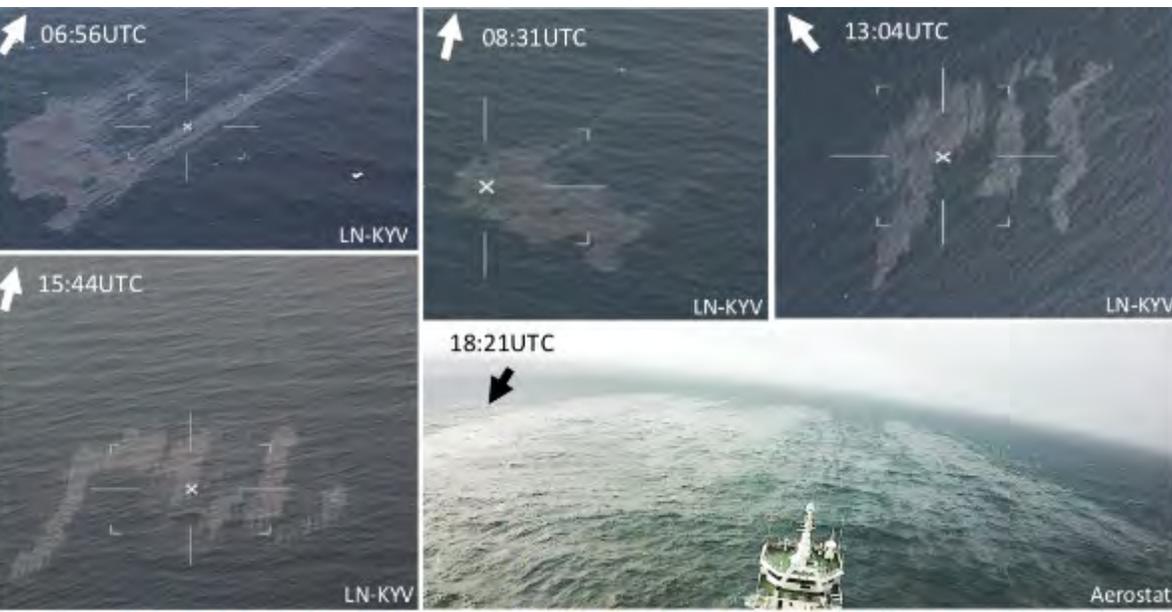
Photo: Armstrong Flight Research Center NASA.

06.26-06.30



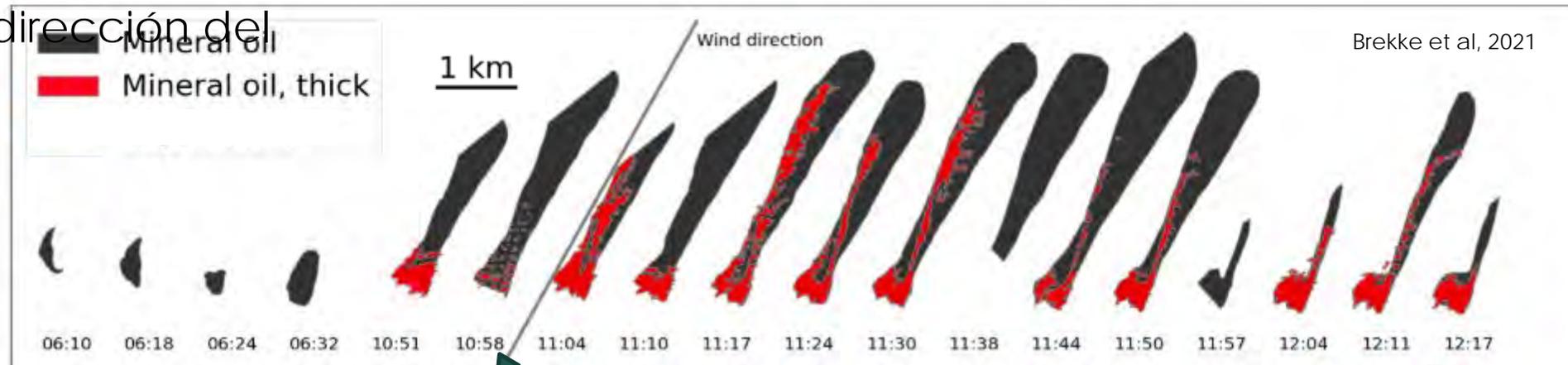
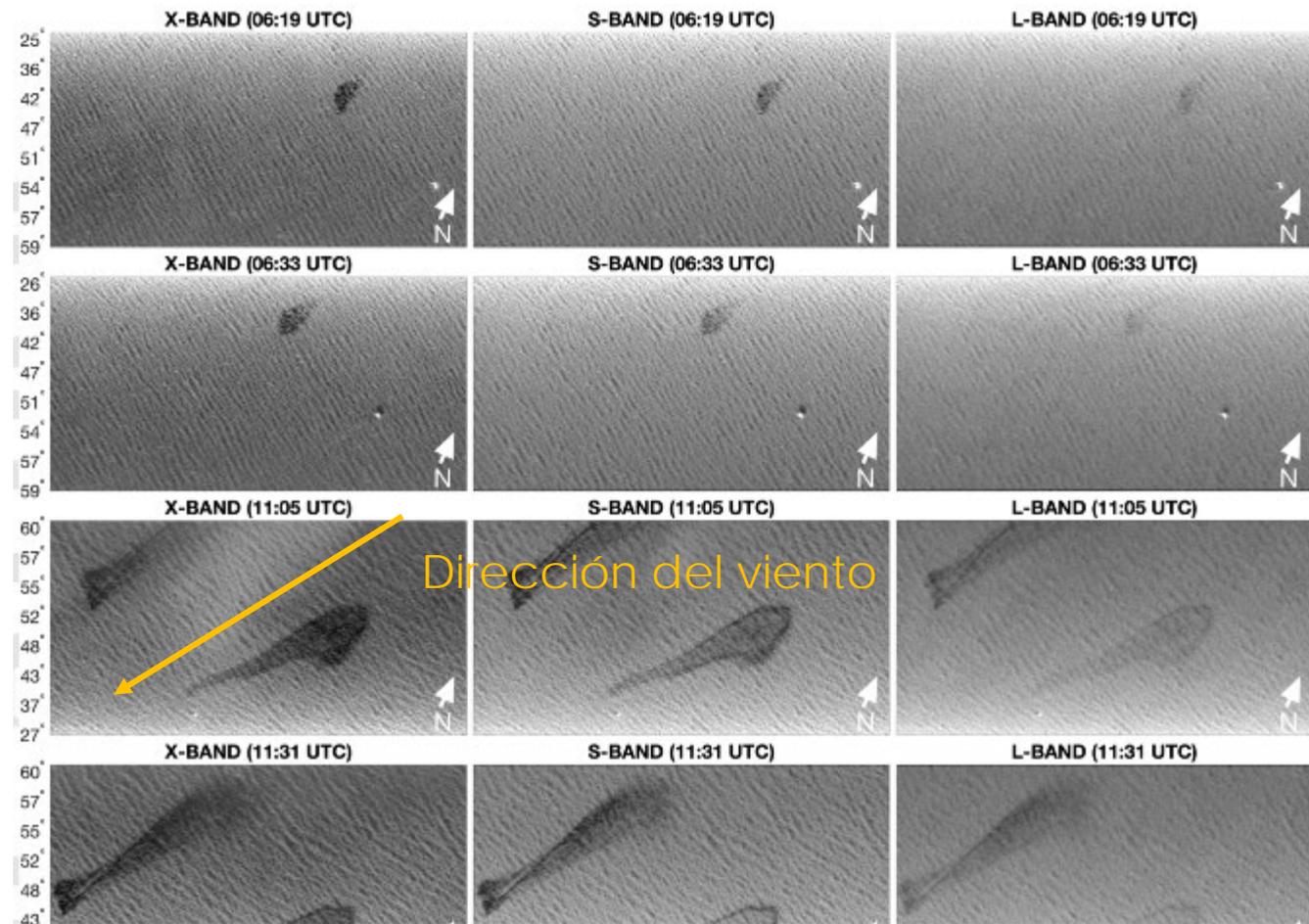
Detección de Derrames de Petróleo – Frecuencia

- Apariencias ligeramente diferentes.
- La banda-X es conocida por su buena detección debido a la mejoría del contraste entre el petróleo y el agua.



Detección de Derrames de Petróleo – Frecuencia

- Datos de alta relación señal-ruido
- También puede observar el patrón de movimiento, así como un cambio en el espesor.
- El patrón de movimiento aquí está gobernado por el viento.
- Más espeso en la dirección del viento.



Muchos Factores Afectan las Imágenes SAR

- **Surface parameters**

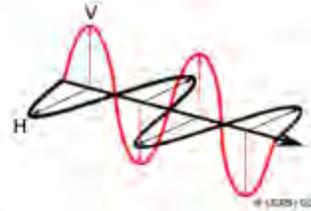
- Roughness
- Dielectric properties



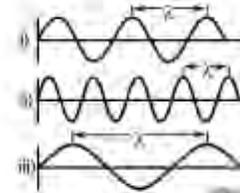
- **Wind conditions**
- **Oil slick properties**

- **Sensor parameters**

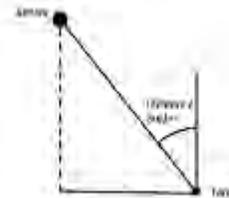
- Polarization



- Frequency



- Incidence angle θ

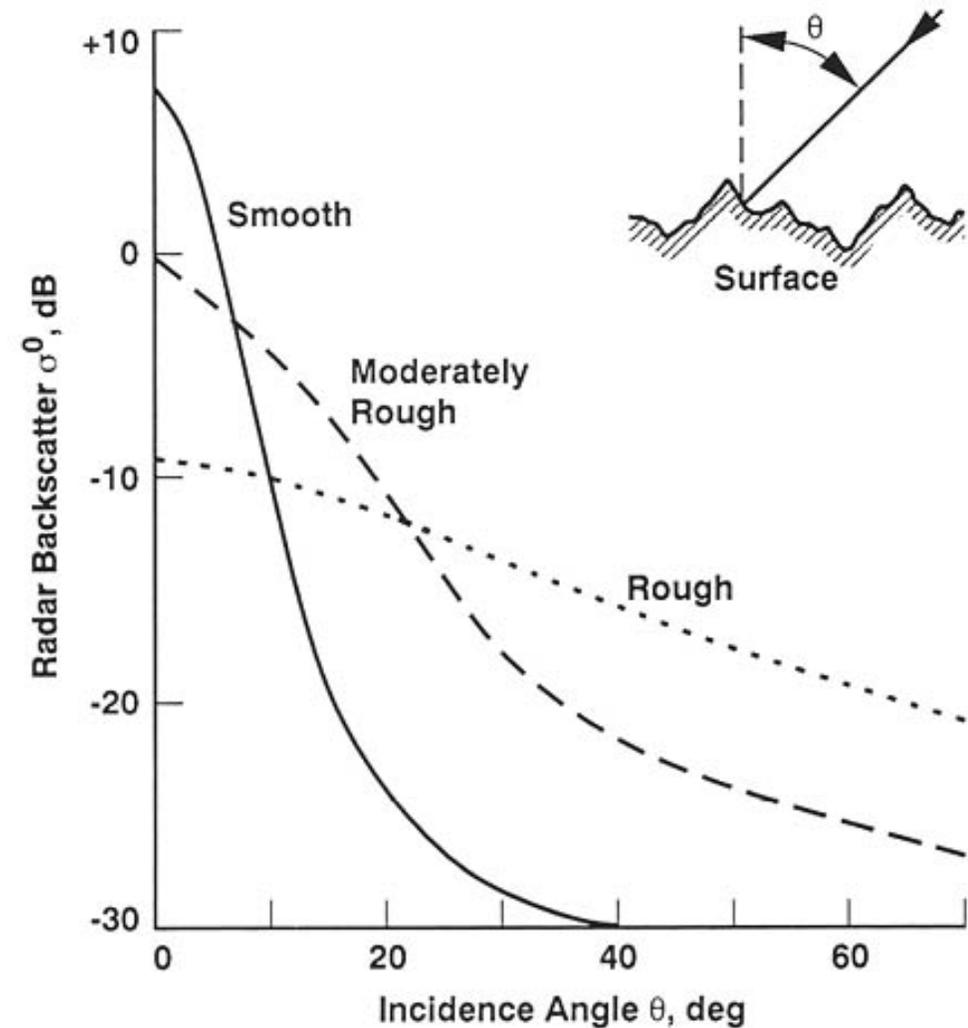
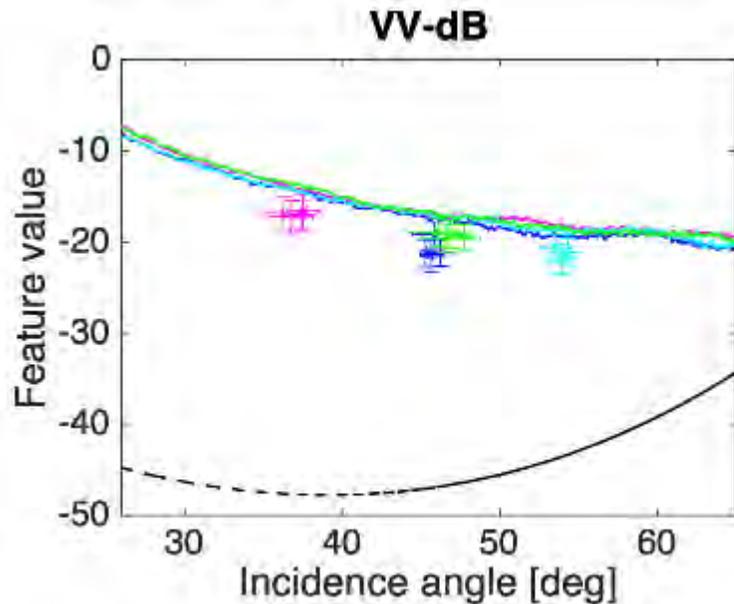


- Resolution,
sensor noise,
...



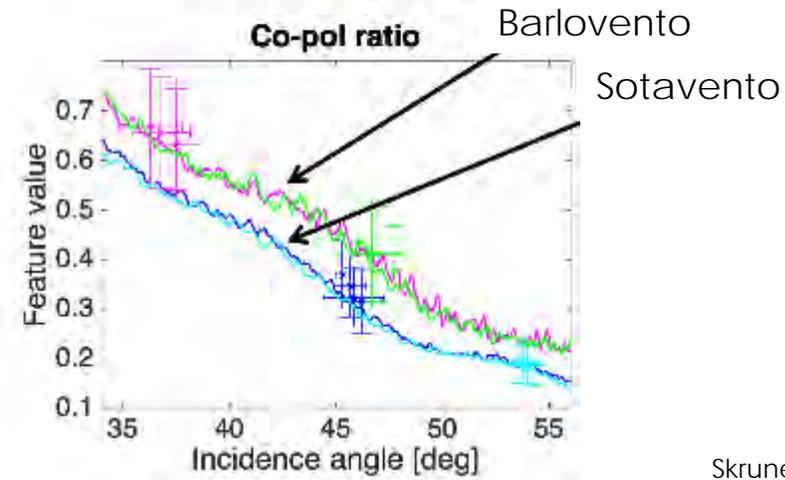
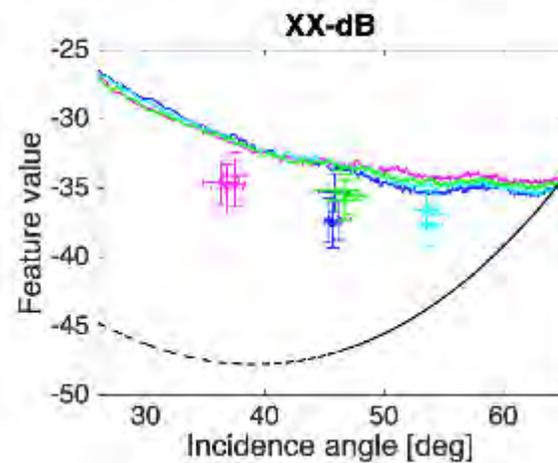
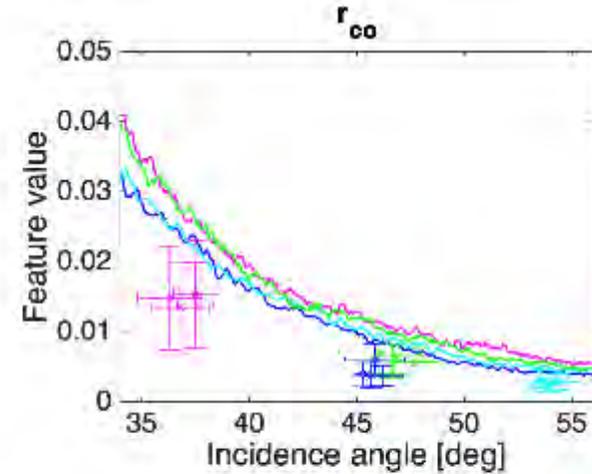
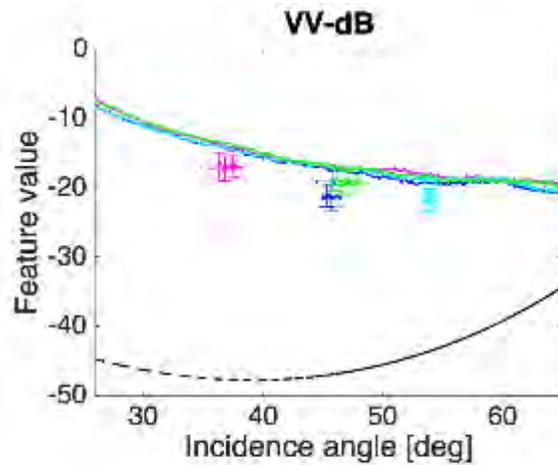
Ángulo de Incidencia

- La retrodispersión de la señal de radar se reduce con un mayor ángulo de incidencia.
- Las manchas de petróleo son superficies de poca dispersión.
 - Relación señal-ruido



Ángulo de Incidencia

- Los Parámetros Cambian con el Ángulo de Incidencia.



Skrunes et al. (2018)



Muchos Factores Afectan las Imágenes SAR

- **Surface parameters**

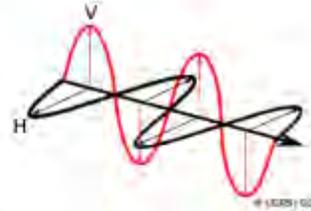
- Roughness
- Dielectric properties



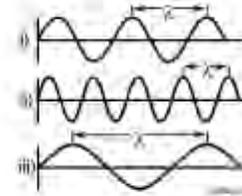
- **Wind conditions**
- **Oil slick properties**

- **Sensor parameters**

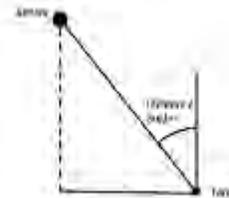
- Polarization



- Frequency



- Incidence angle θ

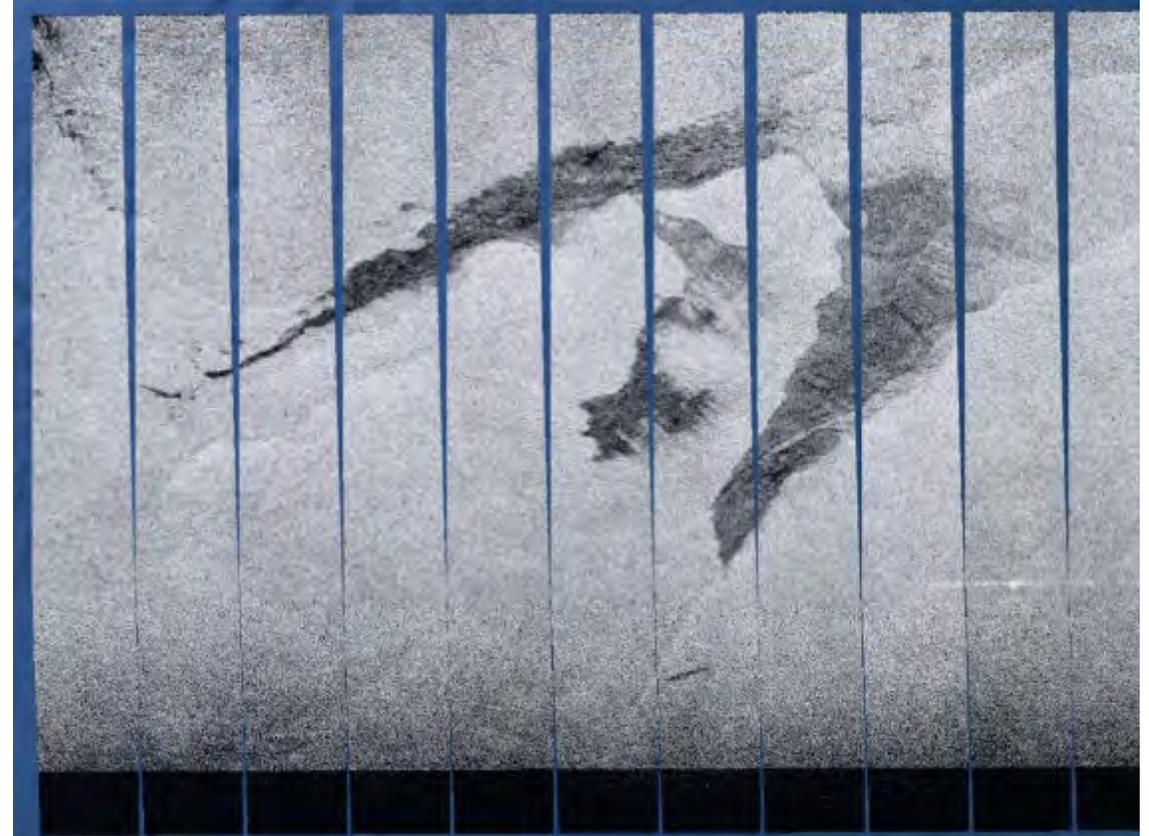


- Resolution,
sensor noise,



Datos de SAR de Polarización Singular

- Tasa de amortiguación menor -> indica petróleo más espeso
- SNR pobre -> no se pueden separar las áreas espesas
- Para identificar manchas más pequeñas -> necesitamos una alta resolución
- UAVSAR ofrece una resolución alta – 7 m después del multi-looking
- Gran rango de ángulo de Incidencia , 22° – 67°
- El barrido tiene 22 km de ancho

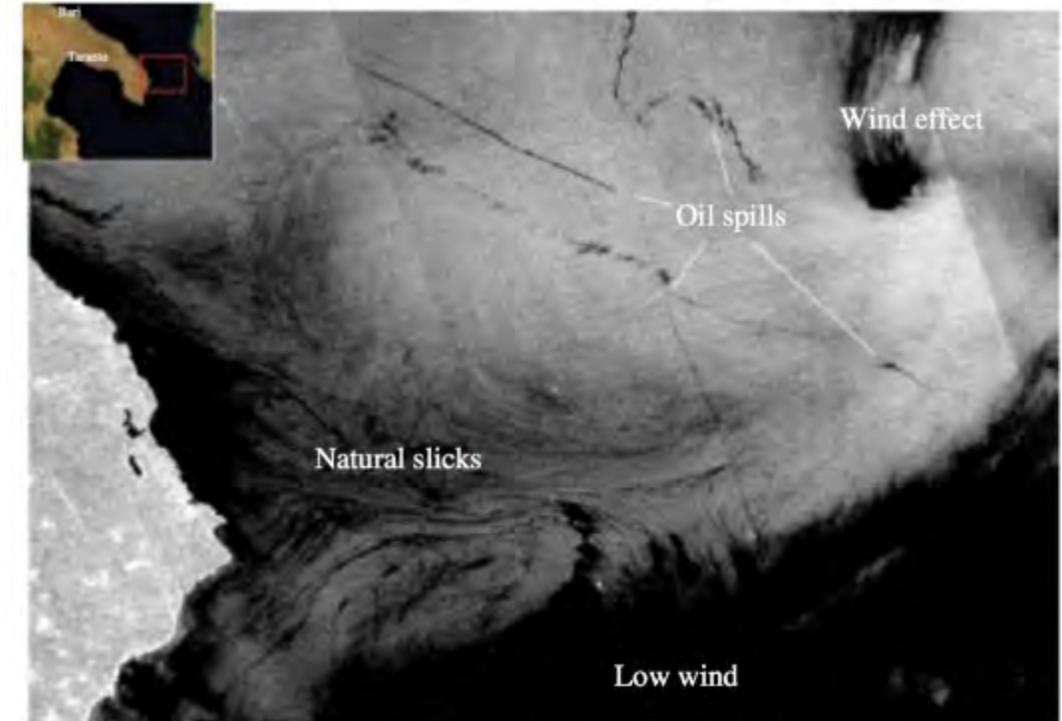


Jones y Holt, 2018



Datos de SAR de Polarización Singular

- La clasificación operativa del petróleo se basa en SAR + información auxiliar.
- **Geometría y Forma**
 - P.ej., superficie, perímetro, ancho, complejidad
- **Características de la Retrodispersión del Punto Oscuro y sus Alrededores**
 - Media, gradientes, contrastes
- **Información Contextual**
 - Proximidad a la orilla, naves, plataformas, oleoductos
 - Condiciones del viento



COSMO-SkyMed Product © ASI—Agenzia Spaziale Italiana (2010). All Rights Reserved.

Figura de Topouzelis et al. (2015).



Trayectoria del Movimiento

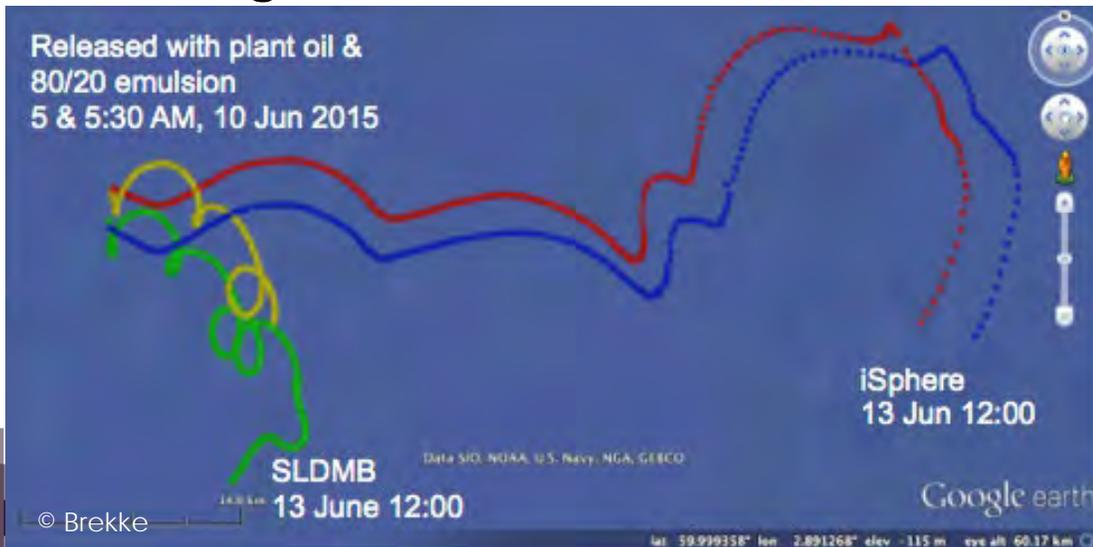
- Una vez que se ha detectado el petróleo en aguas abiertas -> ¿adónde irá?
 - Modelado del comportamiento, transporte y destino del petróleo iSphere
 - Utilice series de tiempo para seguir la trayectoria
 - Ejercicio anual de aceite sobre agua en Noruega en 2015 – NORSE2015
- Podemos obtener la trayectoria usando boyas de deriva.
 - 2 boyas “iSphere” (sujetas a la deriva directa del viento) →
 - 2 boyas marcadoras de referencia de localización automática (sumergidas - movimiento actual)



Foto: Malin Johansson



Foto: Øyvind BreivikF



Trayectoria del Movimiento

- La investigación sobre la detección de diferentes tipos de aceite y poder distinguir los aceites/petróleo es muy importante.
- Las boyas de deriva se liberaron en una mancha de aceite vegetal y una emulsión (E80) para proporcionar la posición y la temperatura de la superficie del mar en intervalos de 10 minutos.
- Las manchas fueron monitoreadas con UAVSAR durante 8 horas después de la liberación.
- 22 escenas SAR quad-pol en banda-L.

Parameter	Value
Frecuencia	L-Band 1217.5 to 1297.5 MHz (23.8 cm wavelength)
Resolution	1.7 m Slant Range, 1.0 m Azimuth
Operational Altitude	12.5 km
Swatch Width	22 km
Polarization	Quad-Polarization (HH, HV, VH, VV)
Noise Floor	-47 dB average

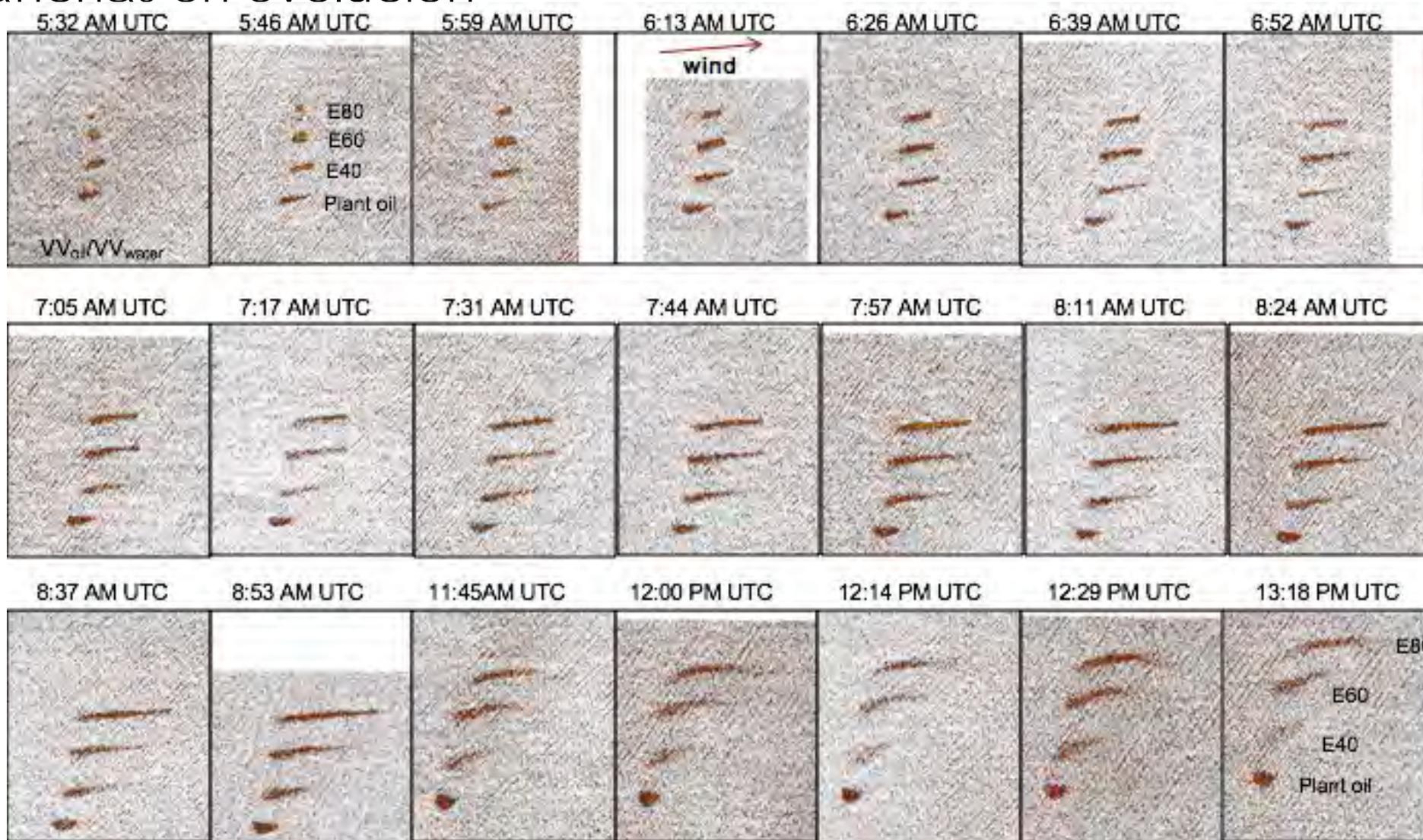


iSphere



Trayectoria del Movimiento

- Serie temporal de UAVSAR utilizada para obtener posición y tamaño de manchas en evolución



El aceite vegetal y el E40 fueron difíciles de detectar después de 4h.



Trayectoria del Movimiento

Hay modelos para pronosticar la trayectoria del movimiento de derrames de petróleo -- Modelo OpenOil Drift de Met Norway

- Aquí se han afinado para encajar con mediciones de UAVSAR
- El petróleo es representado por partículas (sembradas dentro de los contornos de UAVSAR)
- Se usa el movimiento observado por las boyas (drifters)

Movimiento Horizontal:

- Corriente ambiente (Dos recorridos: Drifters SLDMB o Modelo)
- Desviación de Stokes inducida por las olas
- Resistencia al viento (~2% del Viento en la Superficie)

Para mayor información, ver
Jones et al, 2016: JGR-Oceans

Movimiento Vertical:

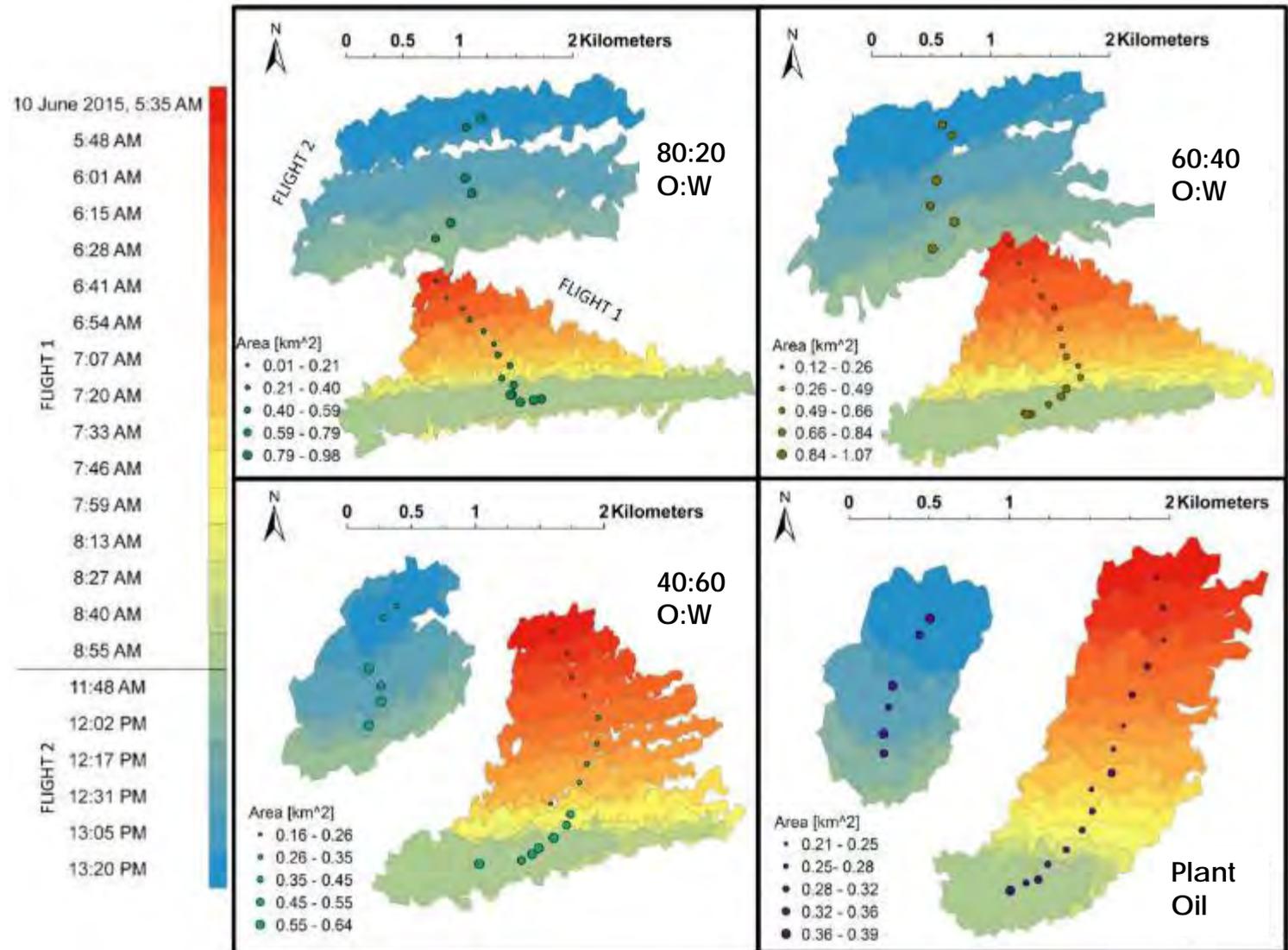
- Arrastre de elementos superficiales del petróleo por olas que rompen
- Emergen partículas sumergidas debido a su flotabilidad



Trayectoria del Movimiento

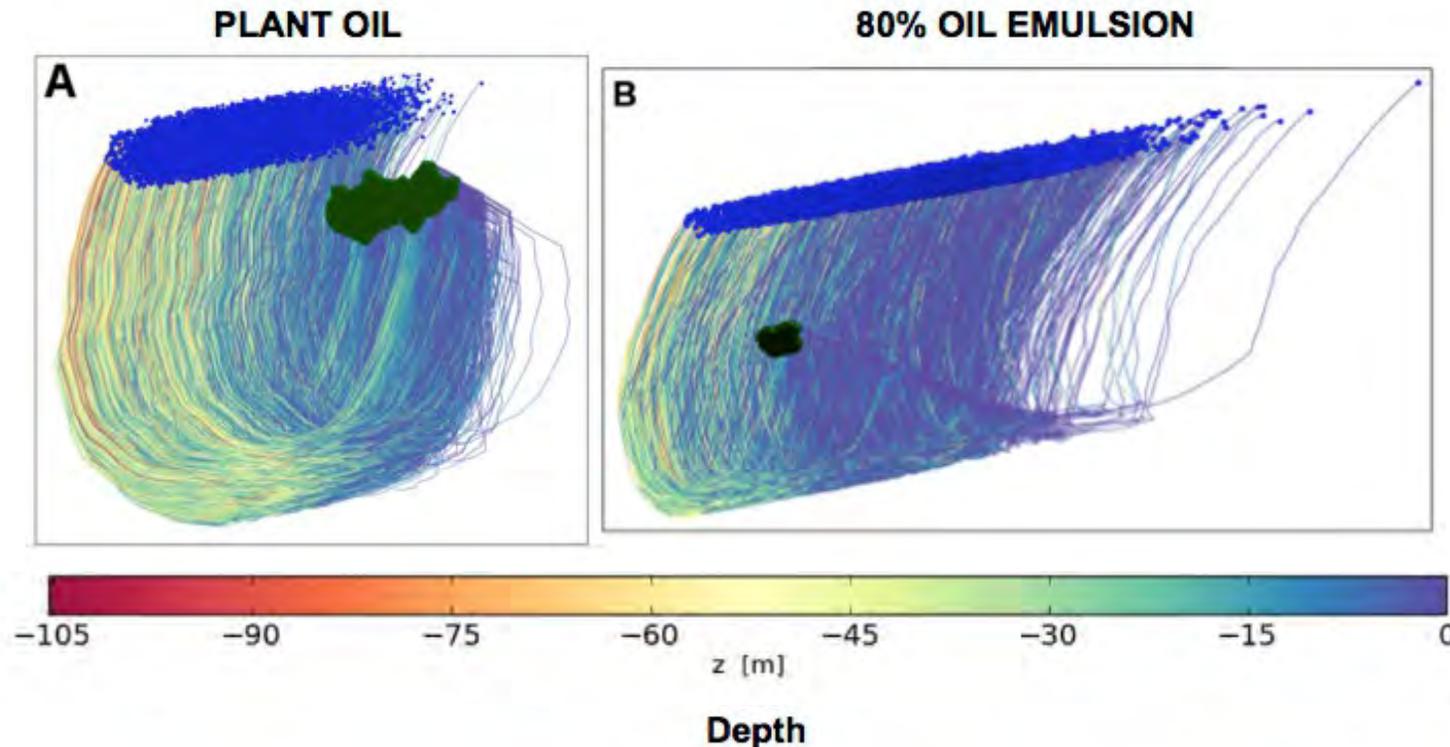
Jones et al, 2016

- Posición relativa, extensión y dispersión en las 8 h siguientes a la liberación
- Espesor del derrame de petróleo de 0.5 a 0.8 μ



Trayectoria del Movimiento

- Las partículas ubicadas cerca (muy por debajo) de la superficie se desplazan más rápido hacia el este (hacia el oeste)
- La mayor parte del aceite vegetal debajo de la superficie estaba protegido del movimiento de Stokes hacia el este y del viento en la superficie.
- Trayectoria dirigida principalmente por corrientes y de acuerdo con las observaciones de UAVSAR.



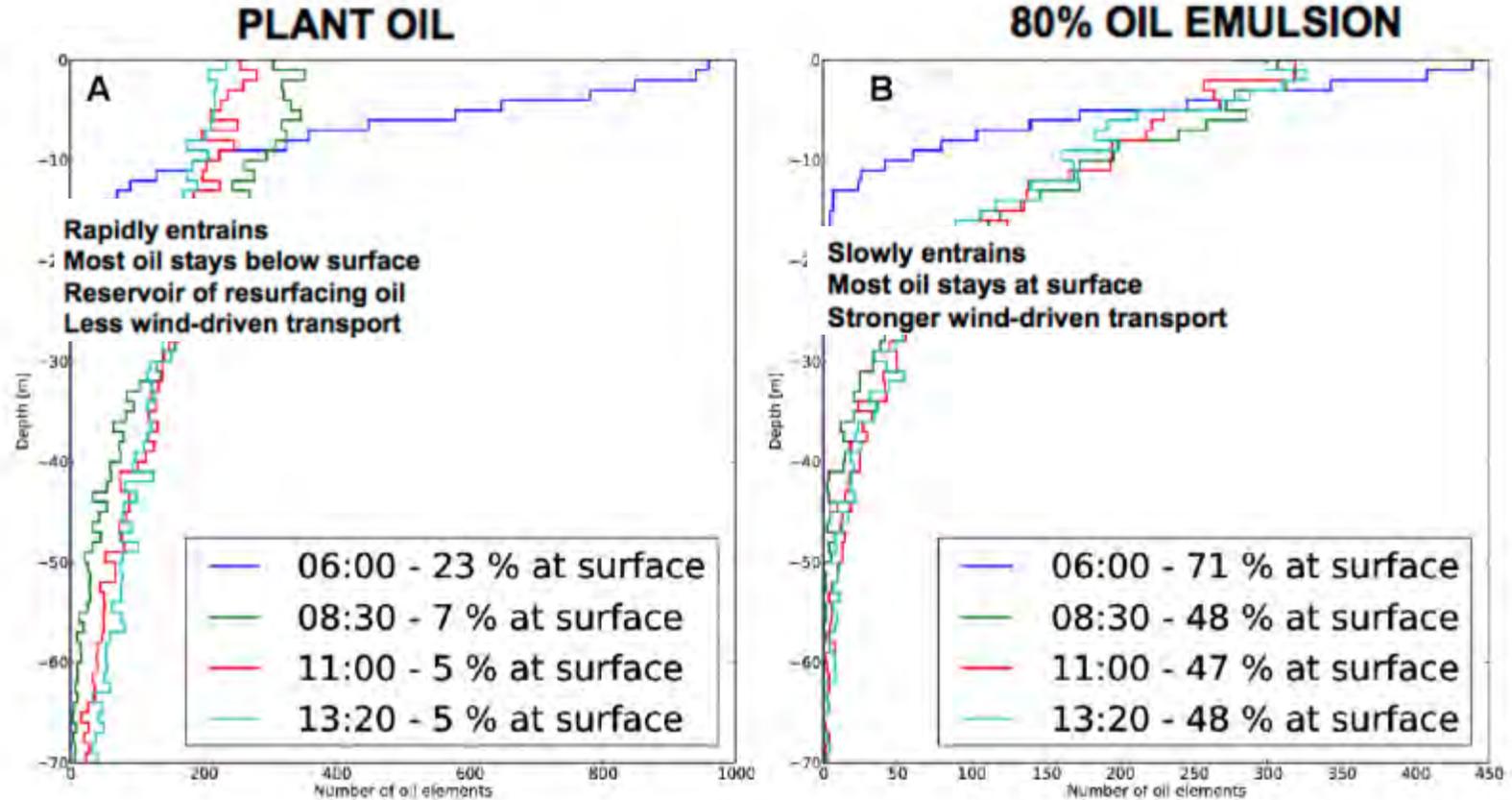
Jones et al, 2016



Trayectoria del Movimiento

- Se encontraron diferencias en los perfiles de profundidad, lo que indica un potencial de discriminación sutil basado en la trayectoria.

Simulation Start Time: 05:48



Jones et al, 2016



Trayectoria del Movimiento

- ¿Por qué realizamos experimentos de prueba?
 - Son controlados para que se conozcan las condiciones y las cantidades
 - Se transfiere el conocimiento a áreas desconocidas
- Filtraciones naturales de gas y aceite mineral a lo largo de la plataforma del mar de Barents
- Observaciones satelitales repetidas -> manchas de petróleo extensas y delgadas en la superficie del océano
- Se desconocen las limitaciones de la detección de manchas delgadas en las imágenes de satélites al igual que los patrones de movimiento de las manchas



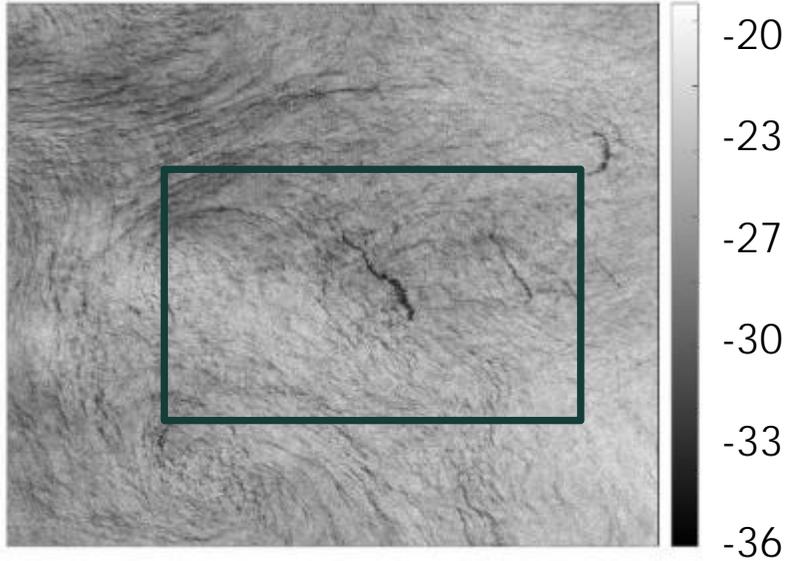
Foto: Marie Stetzler



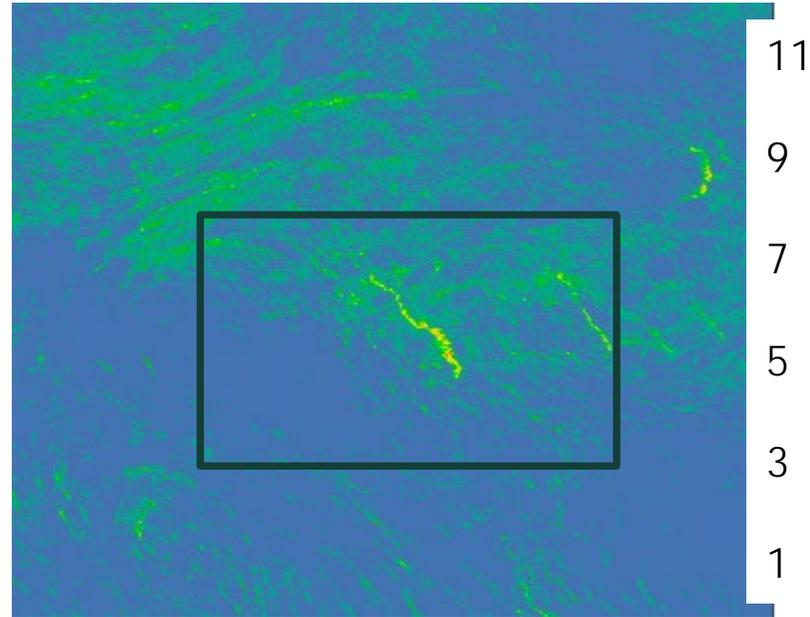
Trayectoria del Movimiento



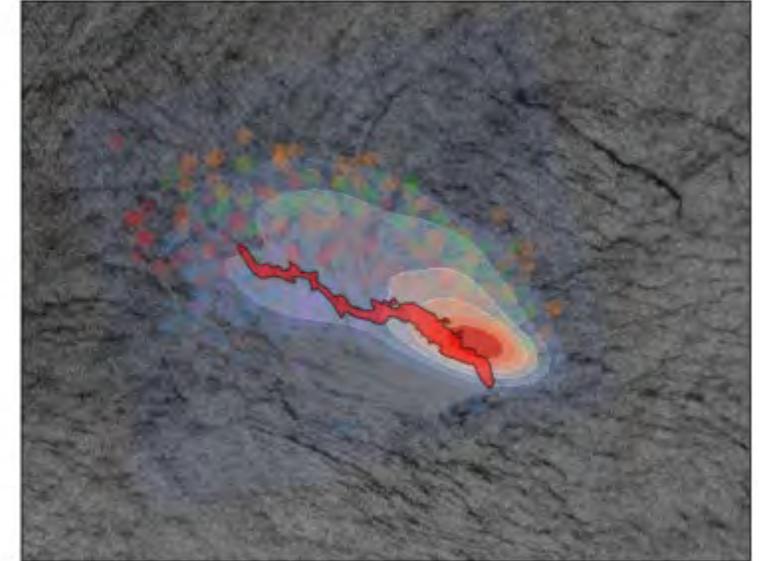
Retrodispersión



Tasa de Amortiguamiento



Modelación de Movimiento



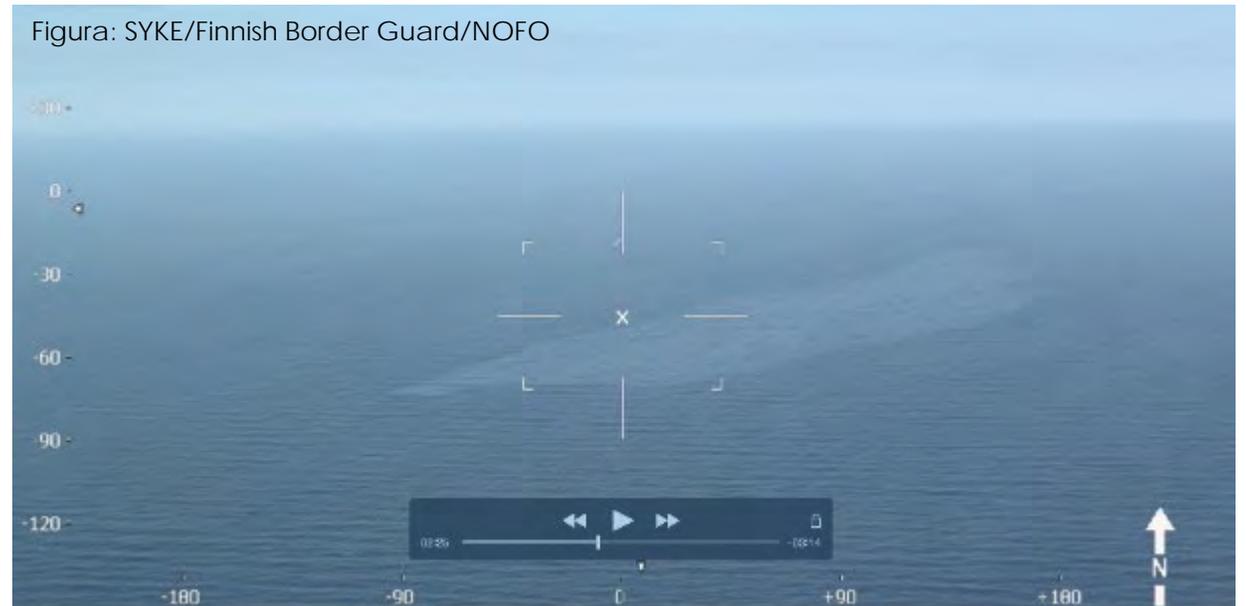
Datos y Productos de RADARSAT-2© MDA Ltd. 2021 Derechos Reservados

- Estimación del movimiento del petróleo para una filtración
- El shapefile de la tasa de amortiguamiento se ve como el área sólida de color rojo oscuro.
- Se utilizan diferentes insumos en el modelo para estimar el patrón de movimiento



¿Por qué es valioso un experimento de prueba para la investigación del petróleo?

- Tipos de datos no utilizados operativamente --> falta de datos
 - Es esencial saber la hora y la ubicación para poder planificar la adquisición.
- Acceso a datos *in situ*
 - Tipo de aceite/petróleo y propiedades
 - Condiciones ambientales
- Teledetección
 - Desde el espacio
 - Aérea



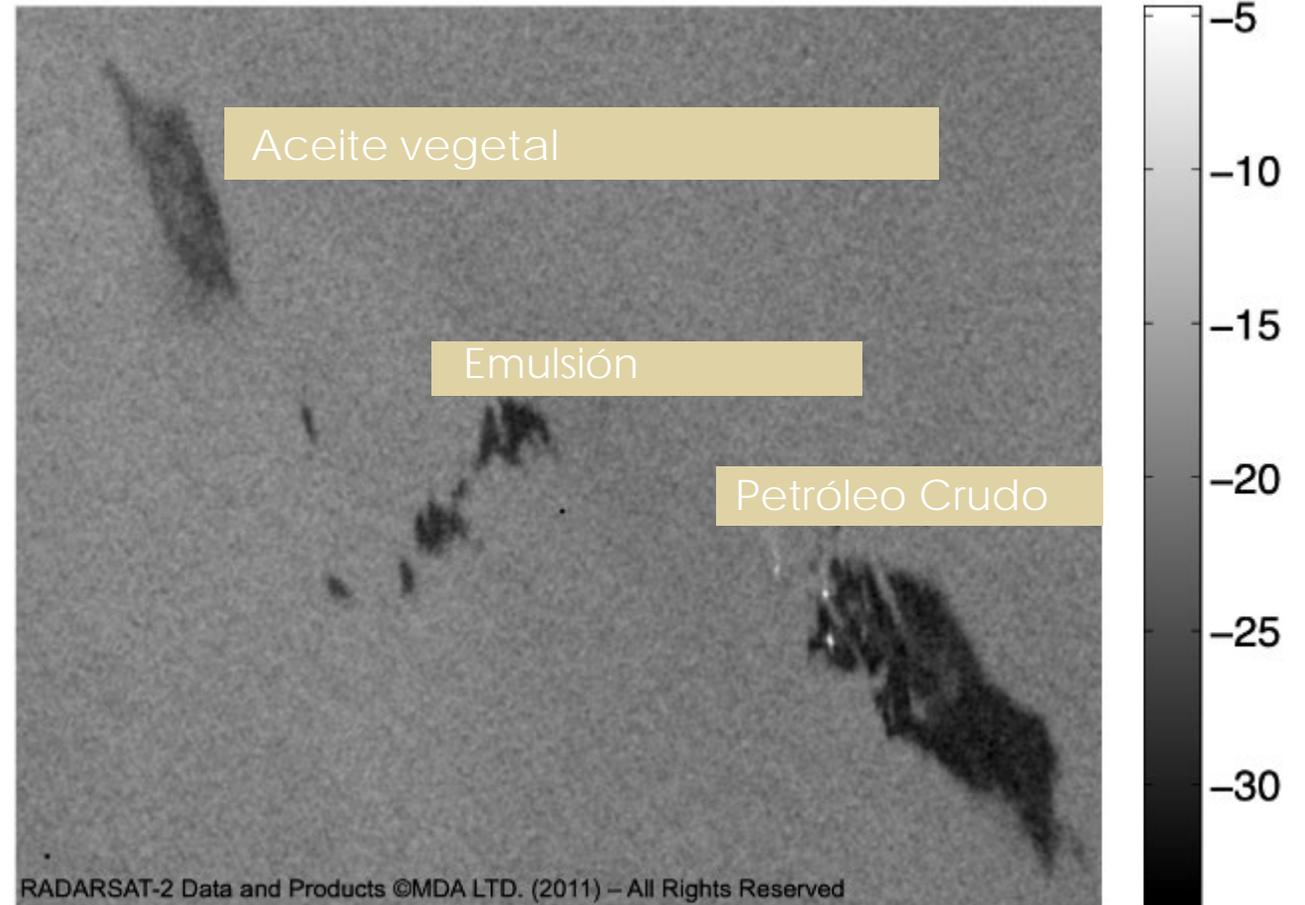
Podemos determinar las características SAR cuando sabemos lo que ocurre *in situ*.



Características del Petróleo

Los ejercicios de petróleo sobre el agua en el Mar del Norte son oportunidades únicas para la recopilación de datos.

- La investigación para detectar diferentes tipos de aceite y poder distinguirlos es muy importante. Esta imagen y las detecciones se tomaron en el ejercicio anual de petróleo sobre agua (Oil on Water) en Noruega en 2011.
- Estas imágenes suelen ser imágenes totalmente polarimétricas o imágenes polarimétricas duales (HH+VV).
- Usando datos polarimétricos, podemos derivar más información.
 - Se usan para separar diferentes tipos de aceite/petróleo



Características del Petróleo

- El uso de la polarimetría para la caracterización de puntos oscuros

Scattering matrix:
$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{VH} \\ S_{HV} & S_{VV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |S_{HH}|e^{j\phi_{HH}} & |S_{VH}|e^{j\phi_{VH}} \\ |S_{HV}|e^{j\phi_{HV}} & |S_{VV}|e^{j\phi_{VV}} \end{bmatrix}$$

Covariance matrix:

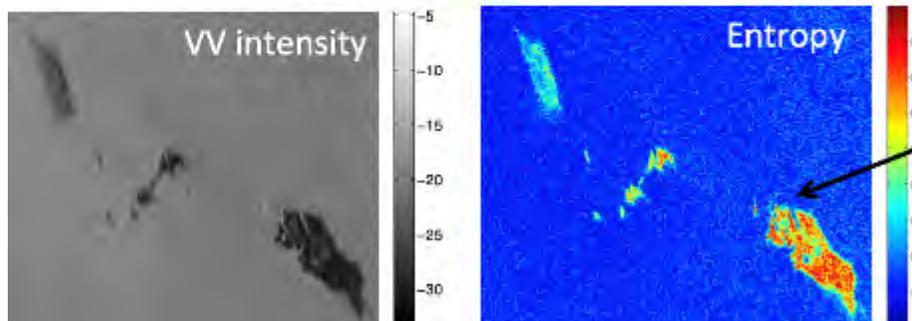
$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \langle |S_{HH}|^2 \rangle & \sqrt{2} \langle S_{HH} S_{VH}^* \rangle & \langle S_{HH} S_{VV}^* \rangle \\ \sqrt{2} \langle S_{VH} S_{HH}^* \rangle & 2 \langle |S_{VH}|^2 \rangle & \sqrt{2} \langle S_{VH} S_{VV}^* \rangle \\ \langle S_{VV} S_{HH}^* \rangle & \sqrt{2} \langle S_{VV} S_{VH}^* \rangle & \langle |S_{VV}|^2 \rangle \end{bmatrix}$$

Coherency matrix:

$$\mathbf{T} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \langle |S_{HH} + S_{VV}|^2 \rangle & \langle (S_{HH} + S_{VV})(S_{HH} - S_{VV})^* \rangle & 2 \langle (S_{HH} + S_{VV}) S_{VH}^* \rangle \\ \langle (S_{HH} - S_{VV})(S_{HH} + S_{VV})^* \rangle & \langle |S_{HH} - S_{VV}|^2 \rangle & 2 \langle (S_{HH} - S_{VV}) S_{VH}^* \rangle \\ 2 \langle S_{VH}(S_{HH} + S_{VV})^* \rangle & 2 \langle S_{VH}(S_{HH} - S_{VV})^* \rangle & 4 \langle |S_{VH}|^2 \rangle \end{bmatrix}$$

Decompositions,
polarimetric features

Skrunes et al, 2014



Interpreted as a change in scattering mechanism between clean sea and oil.

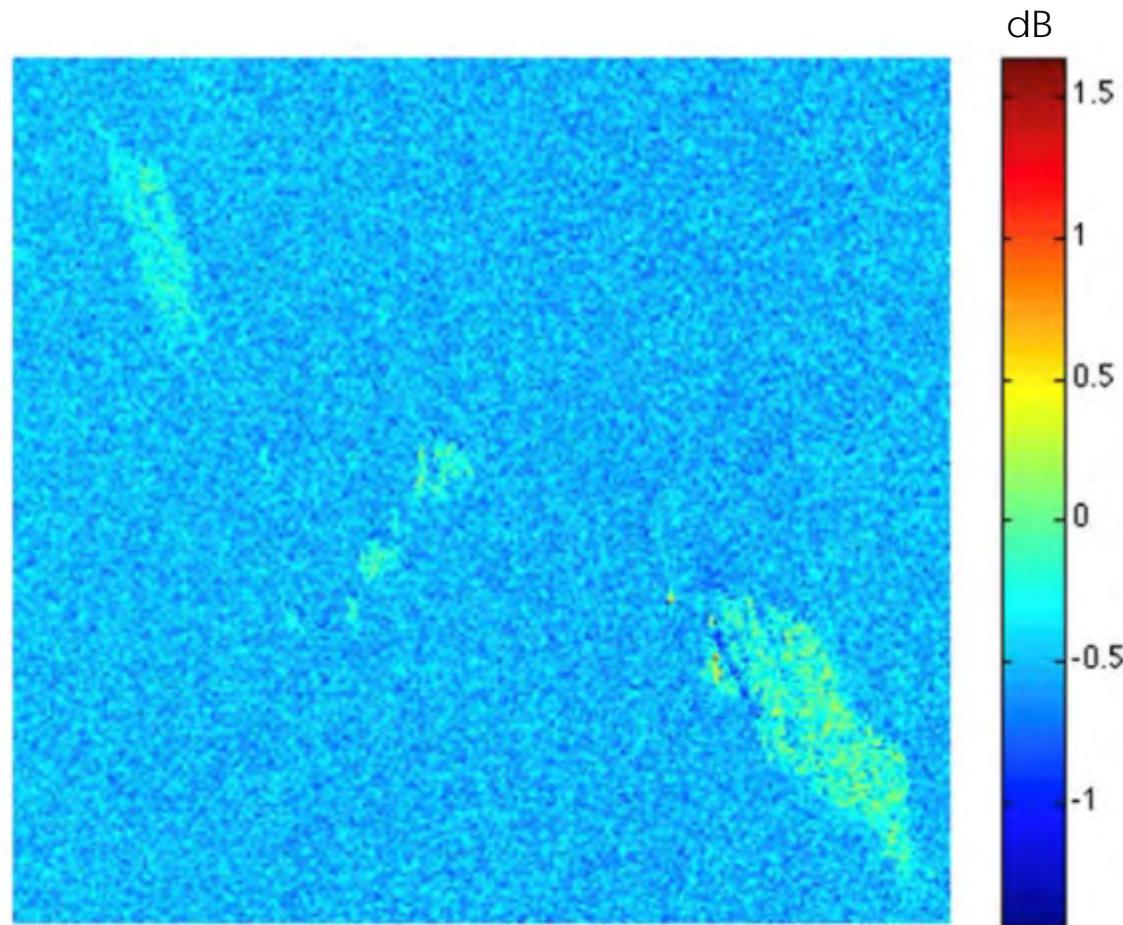


Características del Petróleo

- Relación de potencia de copolarización:

$$\gamma_{CO} = \frac{\langle |S_{HH}|^2 \rangle}{\langle |S_{VV}|^2 \rangle}$$

- Modelo Bragg oblicuo:
 - La rugosidad no depende de la polarización y se cancela
- -> La relación de potencia de copolarización depende solo del ángulo de incidencia, constante dieléctrica y ángulos de oblicuidad
- -> Podría ser útil para estimar el contenido hídrico de una emulsión (Minchew et al. 2012)



Skrunes et al, 2014

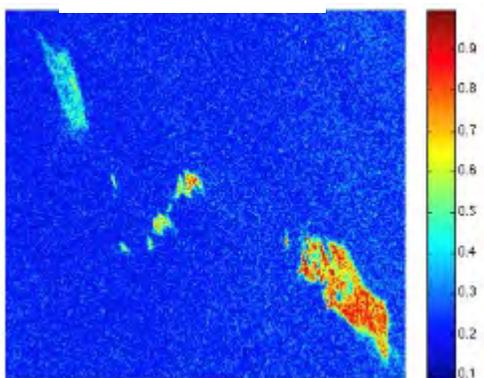


Características del Petróleo

Se han propuesto diferentes parámetros derivados de múltiples polarizaciones para la caracterización de derrames de petróleo.

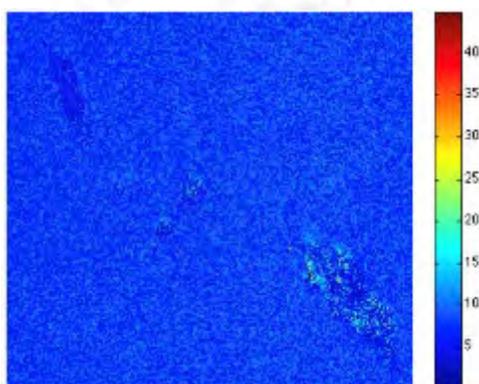
Entropía

$$H = - \sum_{i=1}^d p_i \log_d p_i$$



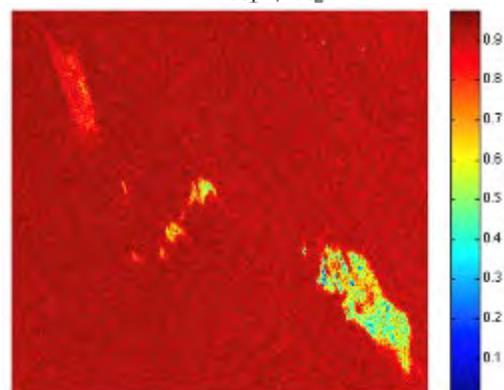
Ángulo Alfa

$$\alpha_1' = \cos^{-1} (|\mathbf{e}_1(1)|)$$



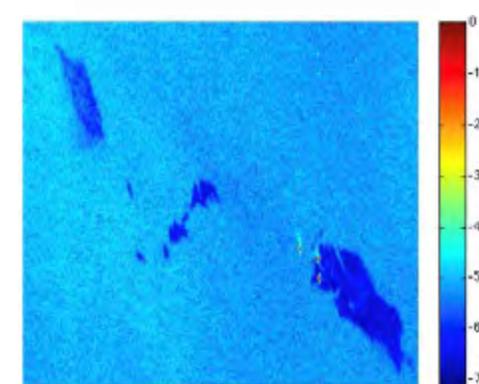
Anisotropía

$$A' = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$$



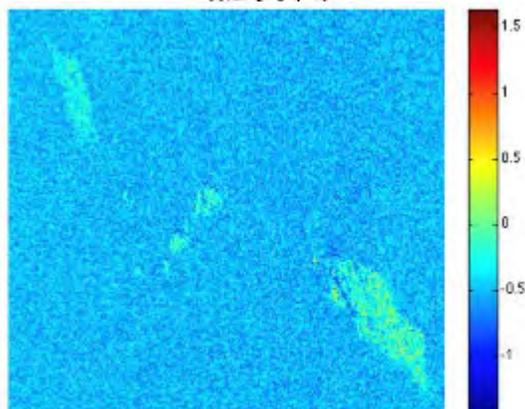
Intensidad Geométrica

$$\mu = (\det(\mathbf{T}))^{1/d}$$



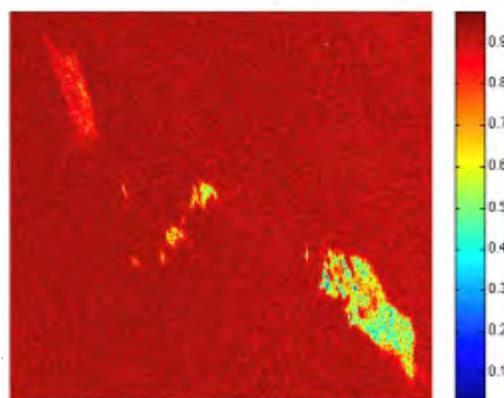
Rel. Potencia Copolarización

$$\gamma_{CO} = \frac{\langle |S_{HH}|^2 \rangle}{\langle |S_{VV}|^2 \rangle}$$



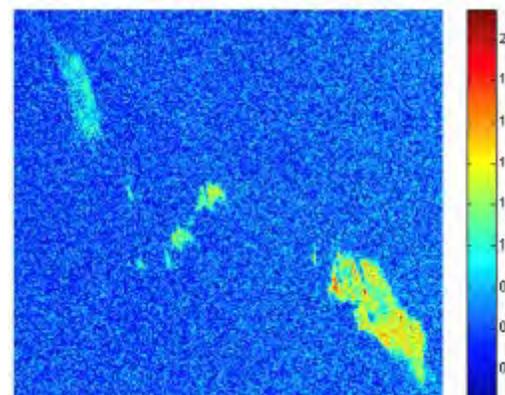
Magnitud de Correlación

$$\rho_{CO} = \frac{\langle S_{HH} S_{VV}^* \rangle}{\sqrt{\langle |S_{HH}|^2 \rangle \langle |S_{VV}|^2 \rangle}}$$



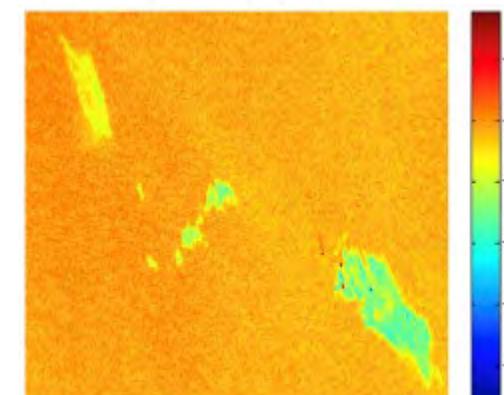
Std. de Fase Copolarizada

$$\sigma_{\phi CO} = \sqrt{\langle (\phi_{HH} - \phi_{VV})^2 \rangle - \langle \phi_{HH} - \phi_{VV} \rangle^2}$$



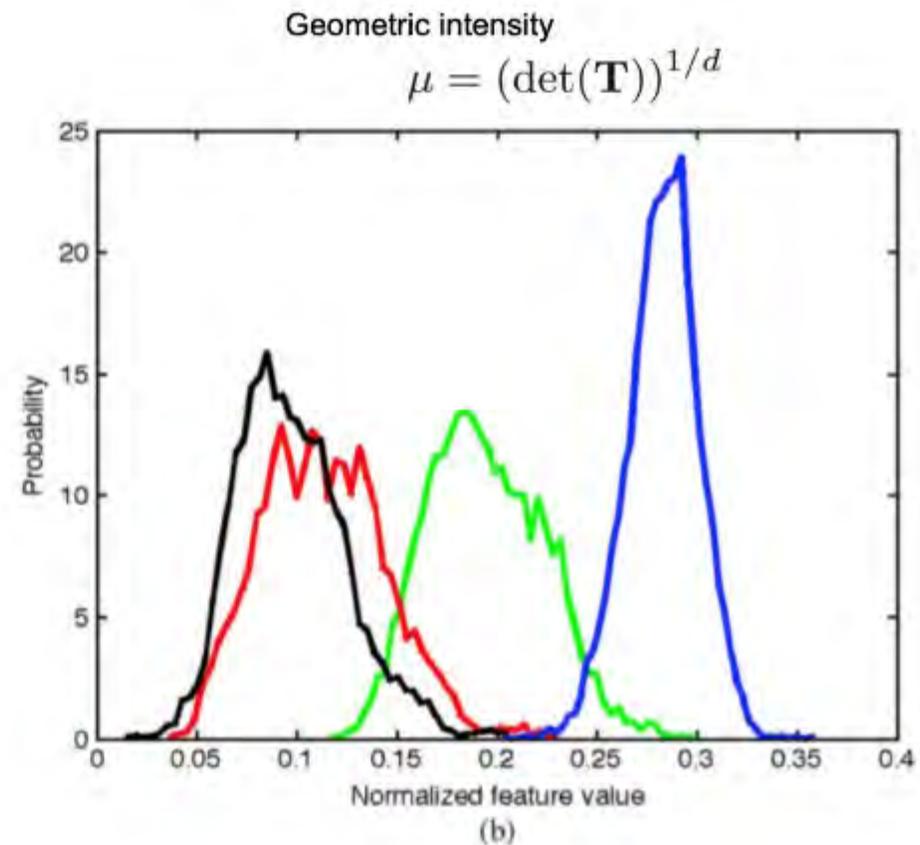
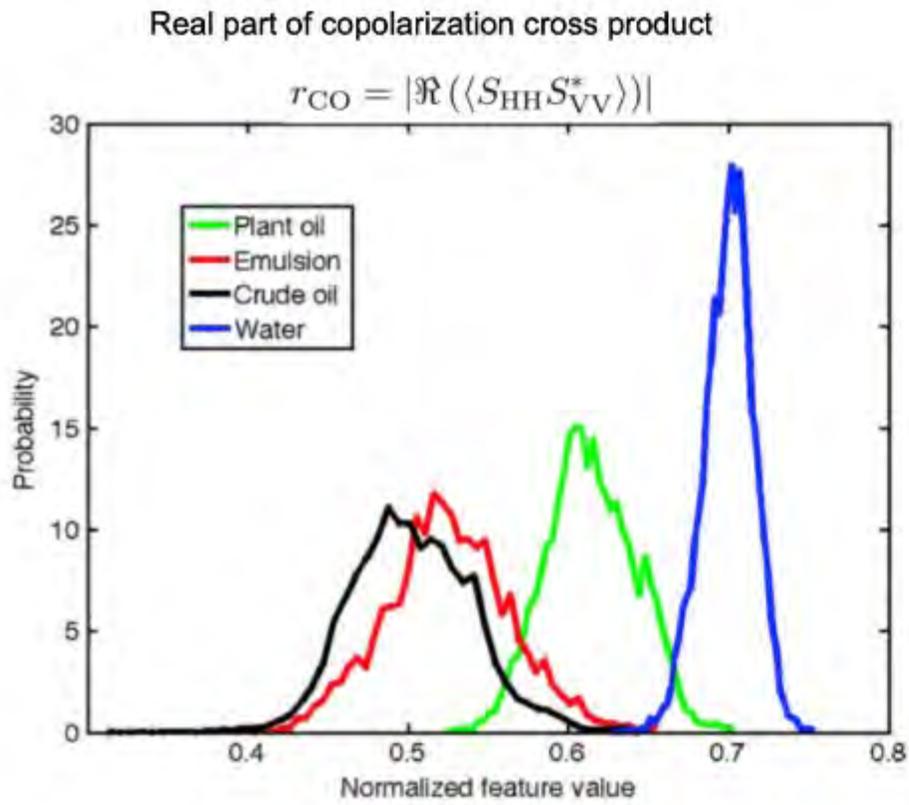
Parte Real del Producto Cruzado Co-Pol.

$$r_{CO} = |\Re(\langle S_{HH} S_{VV}^* \rangle)|$$



Características del Petróleo

- Los histogramas muestran una separación prometedora entre las diferentes clases

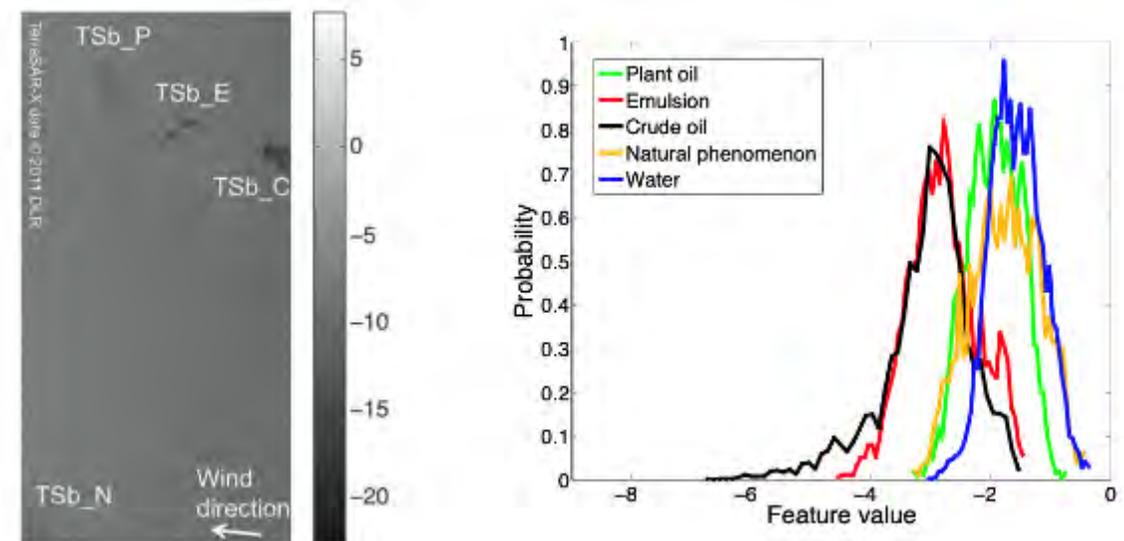
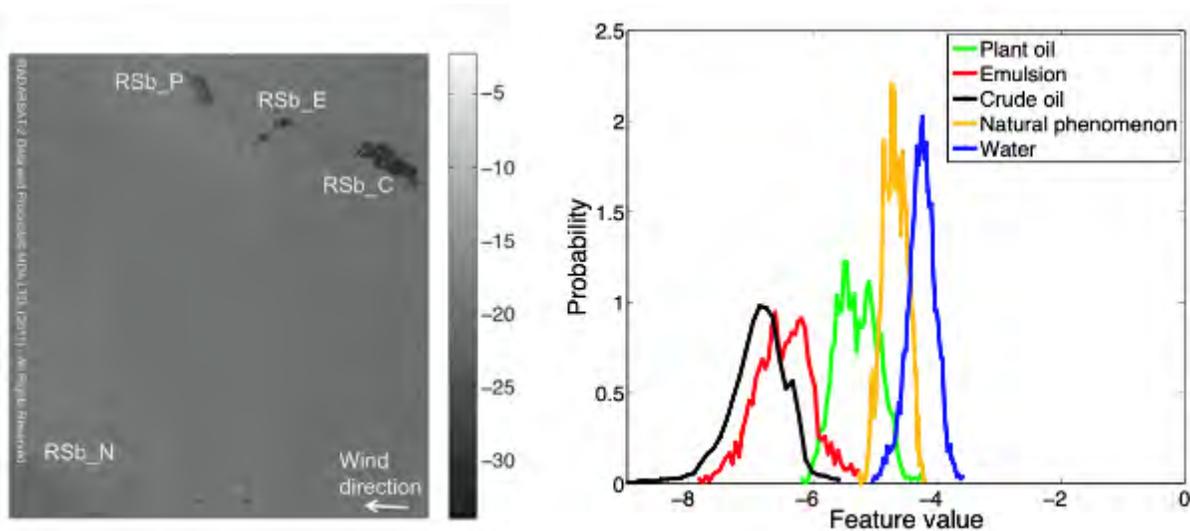


Características del Petróleo

- Los parámetros derivados de múltiples polarizaciones mostraron mejores contrastes y discriminación de regiones en RS-2 que en TS-X

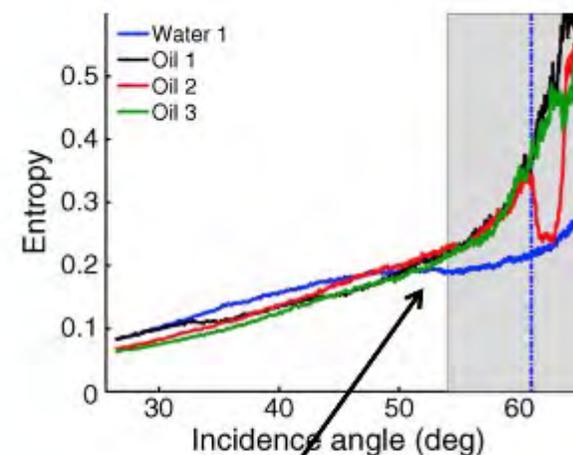
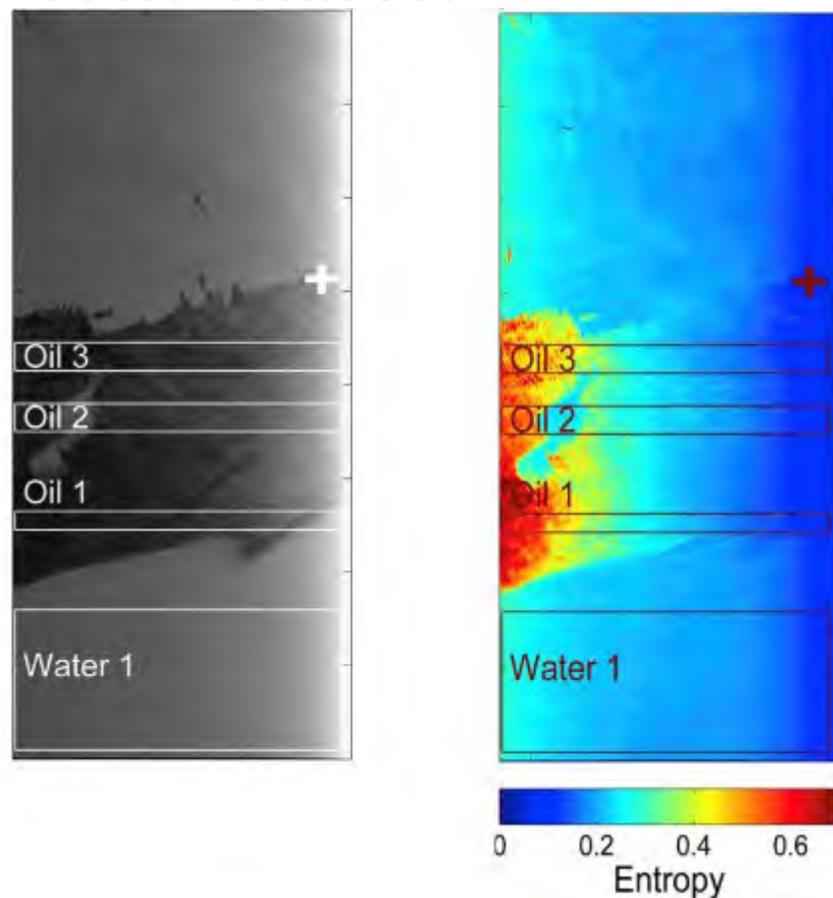
Radarsat-2 17:27 (banda-C) 35°

TerraSAR-X 17:11 (banda-X) 21°



Características del Petróleo

- Las características multipolarimétricas se pueden relacionar con las propiedades de la superficie y la retrodispersión.
- La proximidad al ruido de fondo puede afectar las características polarimétricas y la interpretación de los resultados.



Increase in entropy at high incidence angle as the signal approaches the noise floor.



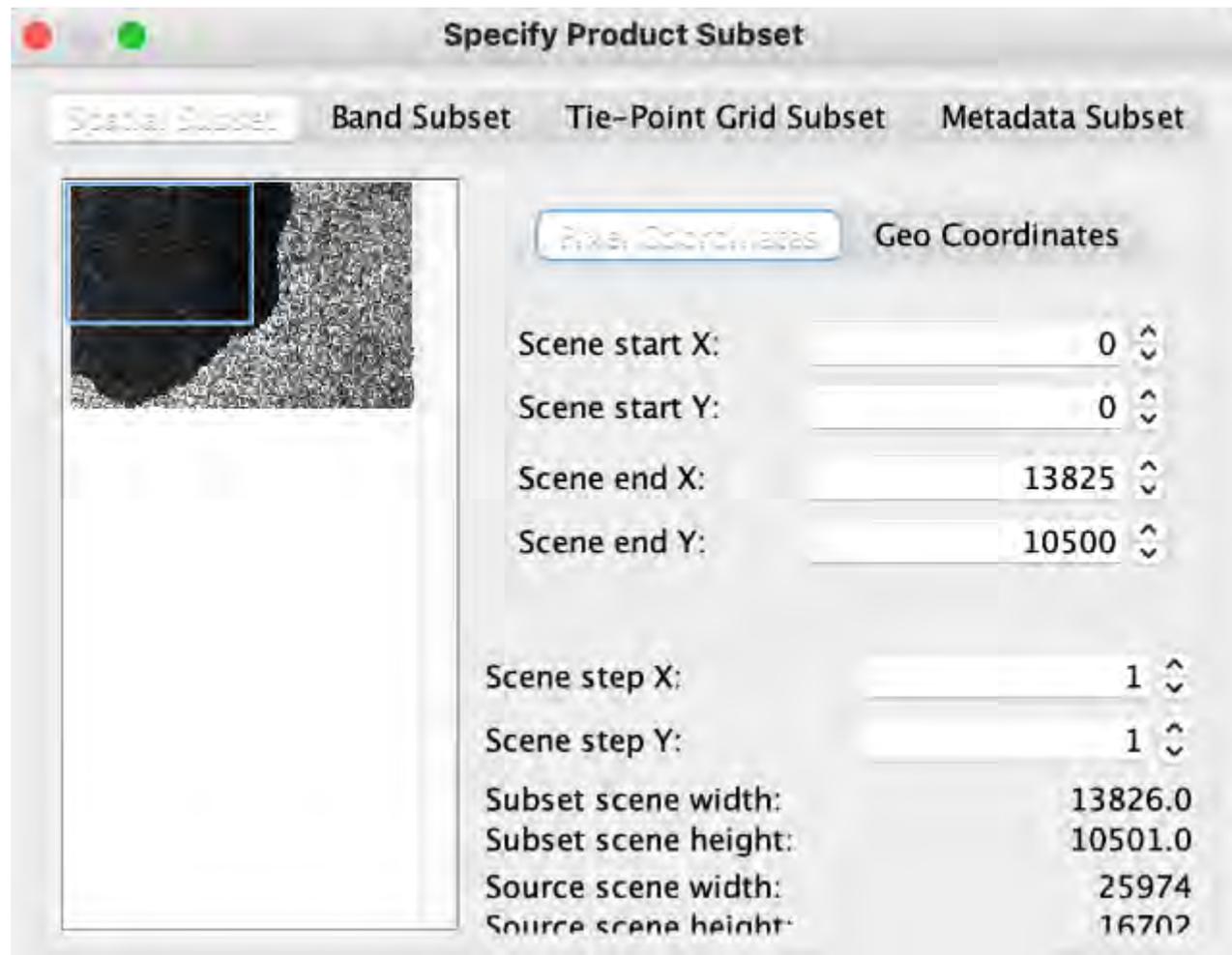
Resumen de la Presentación

- El petróleo amortigua las ondas capilares -> áreas de baja retrodispersión en imágenes SAR.
- Las características específicas del sensor, como el ángulo de incidencia y la relación señal-ruido, afectan las capacidades de detección y monitoreo.
- El SAR polarimétrico simple y doble se puede usar para detectar y monitorear manchas de petróleo.
 - Derive la tasa de amortiguamiento
 - Identifique áreas de diferente espesor de petróleo
 - Identifique áreas de manchas de petróleo para iniciar el modelado de movimiento del petróleo
 - Las series temporales de manchas de petróleo de satélites o campañas aéreas son importantes para los procedimientos de recuperación.
- Las imágenes de polarimetría cuádruple (quad-pol) se pueden utilizar para derivar las características de la mancha de petróleo.



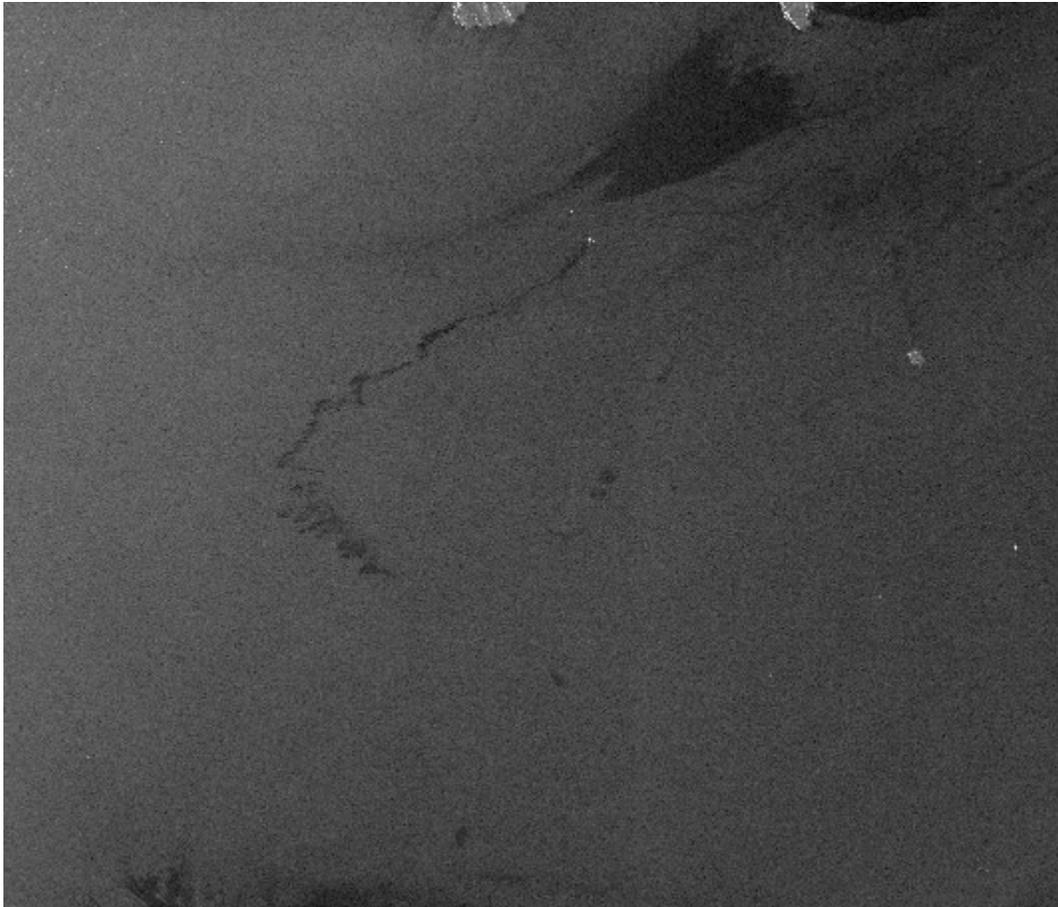
Detecte Su Propio Derrame de Petróleo

- Identifique la mancha de petróleo dentro de esta imagen:
- S1A_IW_GRDH_1SDV_20181009T171427_20181009T171452_024062_02A131_E887.SAFE
- Abra el archivo en SNAP
- Defina la región de interés para crear un subconjunto (Subset) que no incluya las áreas terrestres (reduce el tiempo de procesamiento):
 - P.ej. Raster -> Subset ->



Detecte Su Propio Derrame de Petróleo

- Haga clic en Bands -> Intensity_VV



- Ahora puede filtrar el speckle.
- Radar -> Speckle filtering



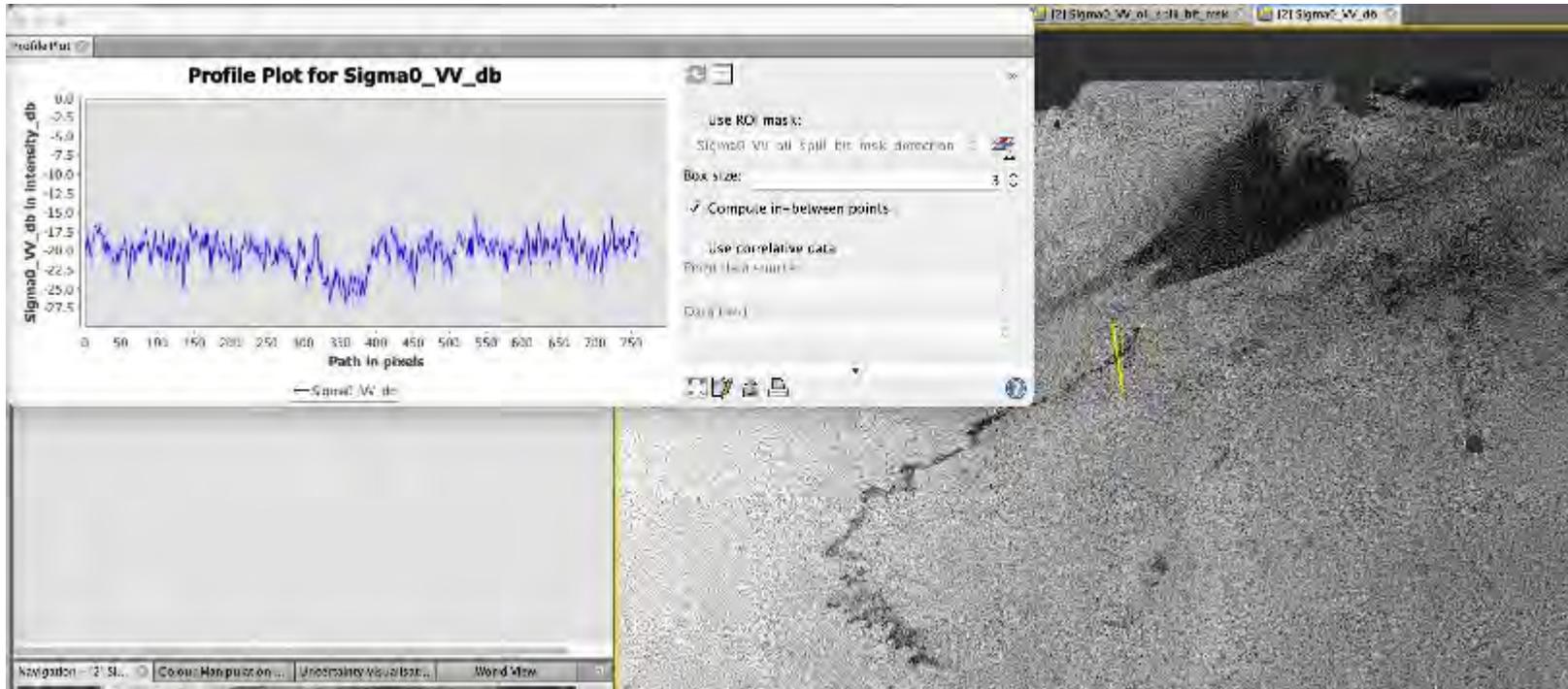
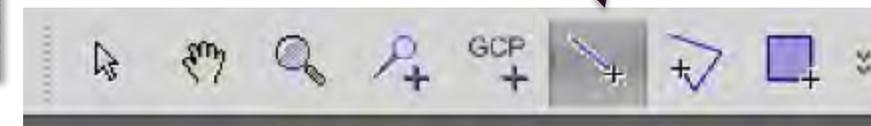
Detecte Su Propio Derrame de Petróleo

- Convierta los valores de intensidad a dB

- Cree líneas para ver el cambio en valores de intensidad de retrodispersión

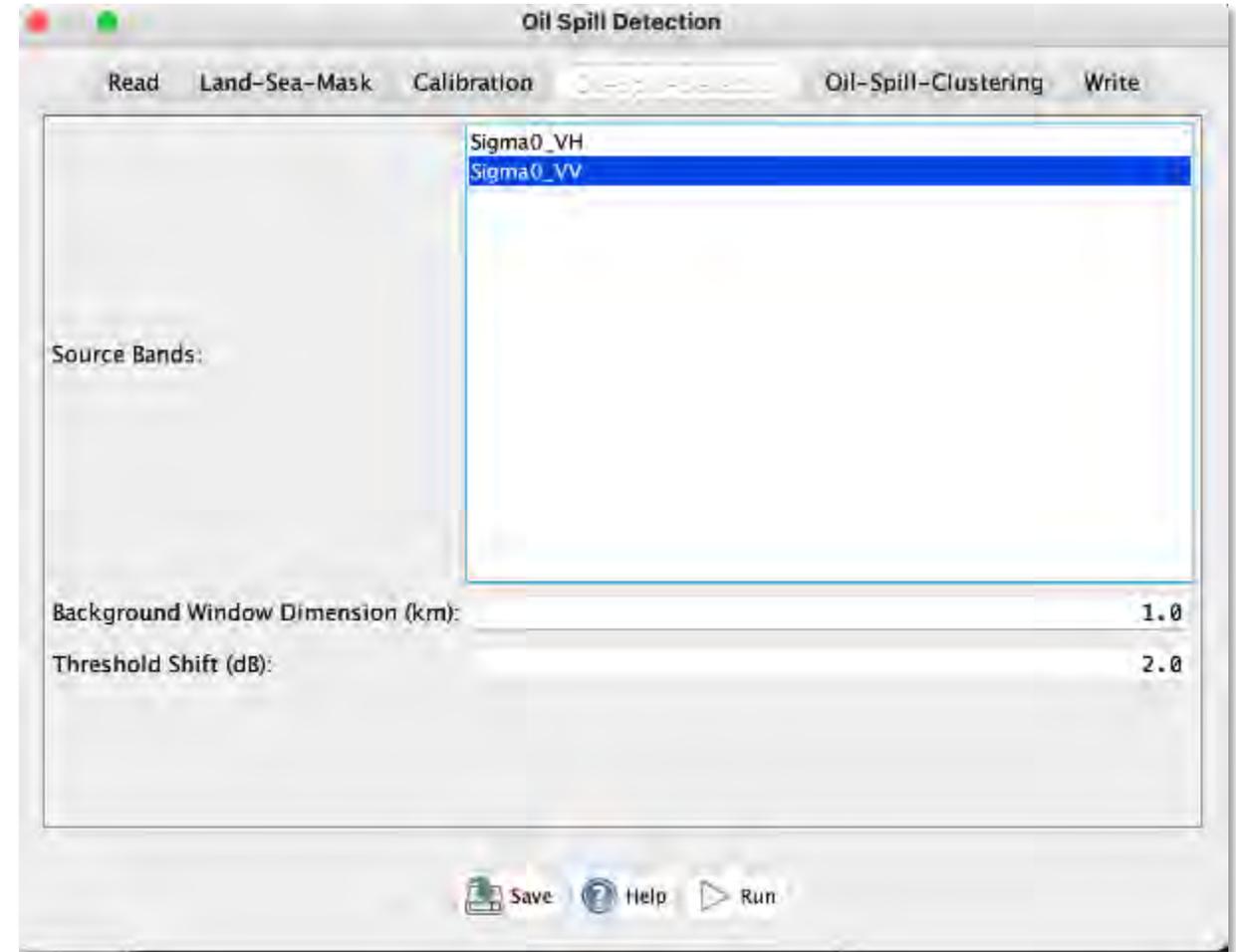
- Analysis -> Profile plot

- Haga una línea usando



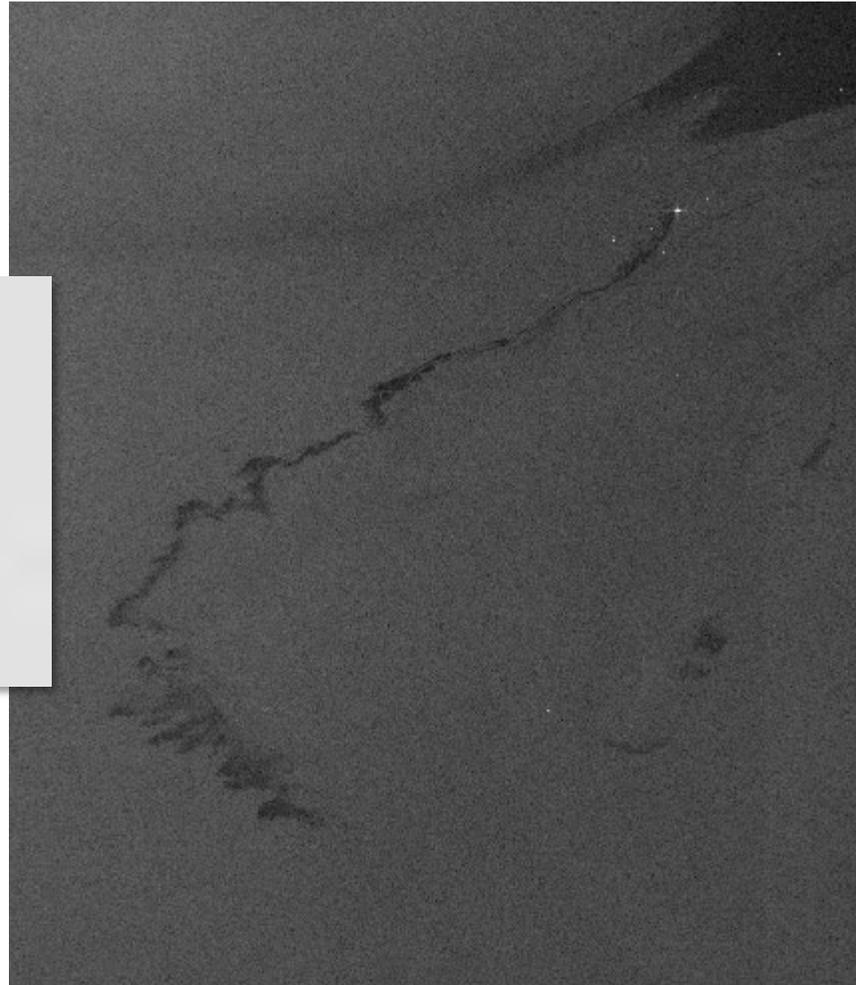
Detecte Su Propio Derrame de Petróleo

- Ahora ejecutemos la detección automática de derrames de petróleo en SNAP.
- Radar -> SAR Applications -> Ocean Applications -> Oil Spill Detection
- Configure las dimensiones de la ventanilla y el cambio de umbral en "Background Window Dimension" y "Threshold Shift"
- Para "Threshold" (umbral) podemos usar los valores de la línea que acabamos de dibujar.

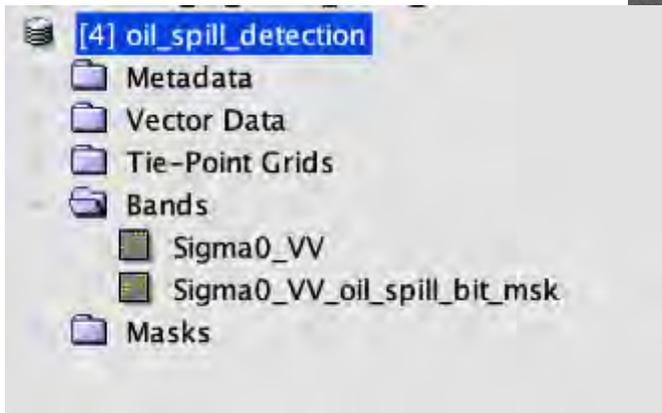


Detecte Su Propio Derrame de Petróleo

Sigma0 VV



Sigma0_VV_oil_spill_bit_msk



Detecte Su Propio Derrame de Petróleo

- Una vez que tenga la máscara, ahora puede:
 - Empezar a calcular las estadísticas del derrame de petróleo
 - Derivar la tasa de amortiguación



Referencias

- Brekke, C., Espeseth, M. M., Dagestad, K.-F., Röhrs, J., Hole, L. R., y Reigber, A. (2021). Integrated analysis of multisensor datasets and oil drift simulations—a free-floating oil experiment in the open ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126, e2020JC016499. <https://doi.org/10.1029/2020JC016499>
- Brekke, C. y Jones, C.E. (2020). SAR oil spill imaging, interpretation and information retrieval techniques, in: G. Di Martino and A. Iodice, “Maritime Surveillance with Synthetic Aperture Radar”, IET The Institution of Engineering and Technology
- Espedahl, H.A., Johannessen, O.M, Johannessen, J.A., Dano, E.B., Lyzenga, D. Knulst, J.C., (1998), COASTWATCH'95: ERS 1/2 SAR detection of natural film on the ocean surface, *JGR: Atmosphere*, 1032(C11): 24969-24982, DOI: [10.1029/98JC01660](https://doi.org/10.1029/98JC01660)
- Jones, C. E., K.-F. Dagestad, Ø. Breivik, B. Holt, J. Röhrs, K. H. Christensen, M. Espeseth, C. Brekke, y S. Skrunes (2016), Measurement and modeling of oil slick transport, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 7759–7775, doi:10.1002/2016JC012113.
- Jones C.E., y Holt, B. (2018). Experimental L-Band Airborne SAR for Oil Spill Response at Sea and in Coastal Waters, *Sensors*, 18(2), DOI: [10.3390/s18020641](https://doi.org/10.3390/s18020641)
- Leifer, I., et al. (2012), State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill, *Remote Sens. Environ.*, 124, 185–209, doi:10.1016/j.rse.2012.03.024.



Referencias

- Migliaccio y Nunziata (2014). On the exploitation of polarimetric SAR data to map damping properties of the Deepwater horizon oil spill, *Int. J. Remote. Sens.* 35(10): 3499-3519
- Minchew, B., C. E. Jones, y B. Holt (2012), Polarimetric analysis of backscatter from the Deepwater Horizon oil spill using L-band synthetic Aperture radar, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 50(10), 3812–3830, doi:10.1109/TGRS.2012.2185804.
- Skrunes, S., C. Brekke, y T. Eltoft (2014), Characterization of marine surface slicks by Radarsat-2 multipolarization features, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 52(9), 5302–5319, doi:10.1109/TGRS.2013.2287916.
- Skrunes, S., C. Brekke, C. E. Jones, y B. Holt (2016), A multisensor comparison of experimental oil spills in polarimetric SAR, *IEEE J. Selec. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, doi:10.1109/JSTARS.2016.2565063.
- Skrunes, S., Brekke, C., Jones, C.E., Espeseth, M.M. y Holdt B (2018) Effect of Wind Direction and Ángulo de Incidencia on Polarimetric SAR Observations of Slicked and Unslicked Sea Surfaces. *Remote Sensing of Environment*; 213: 73 – 91. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.001>
- Topouzelis, K., Tarchi, D., Vespe, M., Posada, M., Muellenhoff, O., Ferraro, G., (2015). Detection, Tracking, and Remote Sensing: Satellites and Image Processing (Spaceborne Detección de Derrames de Petróleo), *Handbook of Oil Spill Science and Technology*



Reconocimientos

- Gracias a Cathleen Jones (NASA/JPL), Camilla Brekke (UiT), Martine Espeseth (UiT/KSAT) y Stine Skrunes (UiT) que contribuyeron diapositivas.
- NOFO – La Asociación Noruega de Mares Limpios para Empresas Operativas (Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies)
 - Por dejarnos participar en los ejercicios "Oil on Water" durante años.
- A todos los que han participado en trabajos de campo en derrames de petróleo.
- Kongsberg Satellite Services (KSAT)



¿Preguntas?

- Por favor escriban sus preguntas en el cuadro de preguntas y respuestas. Las responderemos en el orden en que fueron recibidas.
- Publicaremos las preguntas y respuestas en la pagina de esta capacitación después que termine esta sesión.



<https://earthobservatory.nasa.gov/images/6034/pothole-lakes-in-siberia>



Contacto

- Instructora:
 - Malin Johansson: malin.johansson@uit.no
- Pagina de la Capacitación:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-disaster-assessment-using-synthetic-aperture-radar>
- Pagina de ARSET:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/arset>
- Twitter: [@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)





¡Gracias!

