

Observaciones al proyecto

PNIPA-PES-SIA-2022-00266

**“Sistema Robótico de Identificación, Contención y
Retiro de Hidrocarburos en el Mar Peruano”**

**Dra. Rocío de la Torre S.
Cd. Mx. diciembre de 2022**

CONTENIDO

ANTECEDENTES	3
IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL	5
IMPACTO AMBIENTAL	6
RESPUESTA ANTE LA EMERGENCIA	8
Contención	10
Recuperación	13
Almacenamiento y transporte	15
REMEDIACIÓN DEL SITIO	16
SUSTENTABILIDAD	16
OBSERVACIONES AL PROYECTO	21
Metodología sugerida para evaluar la evolución del crudo	24
Plan de monitoreo Ambiental	26

Antecedentes

El pasado 15 de enero de 2022, en la costa del distrito de Ventanilla en la provincia constitucional del Callao, Perú; ocurrió un derrame de crudo (SPDA Actualidad Ambiental, 2022). De acuerdo con un análisis de la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), éste ha sido considerado uno de los desastres ambientales más graves en la historia de Perú. El derrame fue atribuido a las olas provocadas por la erupción de un volcán submarino cerca de Tonga.

Más de 11,000 barriles se derramaron en el mar (Sierra Praeli, 2022), durante las operaciones de descarga del Buque Tanque Mare Doricum, en las instalaciones de la Terminal Multiboyas N° 2, de la refinería La Pampilla S.A.A., (propiedad de la petrolera Repsol), la refinería de petróleo más grande de Perú, ubicada a unos 30 kilómetros (19 millas) al norte de Lima.

Por otro lado, el 25 de enero, el Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin) confirmó un segundo derrame (Gestión, 2022), esta vez se trató de 8 barriles adicionales en la misma estación de la refinería.

El primer derrame equivalía aproximadamente a unas 1.100 toneladas, aproximadamente 400 toneladas más que los estándares internacionales (700 toneladas) consideradas por la International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) como umbral para clasificarlo como un derrame importante que pondría a prueba las capacidades de respuesta nacional en la mayoría de los países (ITOPF, 2022).

Las corrientes esparcieron el petróleo desde el sitio original del derrame más de 50 kilómetros de distancia por tierra, a unas 27 millas náuticas en el océano. El área afectada por el derrame de petróleo alcanzó aproximadamente 1.8 km² de suelo y 7 km²



de mar, de acuerdo con información del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Adicionalmente, se cuantificaron aproximadamente 512 hectáreas de área natural protegida afectadas por el derrame. Concretamente, en las Islas Grupo de Pescadores que forman parte de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras y, en la Zona Reservada de Ancón, que abarca la bahía de Ancón hasta la zona de inicio del Serpentin de Pasamayo; las cuales constituyen áreas naturales protegidas del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sinanpe), (Pulido Capurro, Arana Bustamante, Olivera Carhuaz, & Riveros, 2022).

Fuente: <https://larepublica.pe/sociedad/2022/01/25/derrame-de-repsol-satelite-perusat-1-capta-dimension-del-desastre-del-petroleo-de-la-empresa-osinergmin-oefa/>

Impacto Económico y Social

Un derrame de petróleo puede ocasionar desde un severo impacto biológico, que se aprecia en el océano y la biodiversidad, hasta un impacto socioeconómico relacionado con las actividades pesqueras y de turismo. Fue una catástrofe para uno de los ecosistemas marinos más ricos del mundo, y para al menos 2,000 pescadores costeros que dependen de él. De acuerdo con información reportada por la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (Digesa), resultaron afectadas 24 playas (desde Ventanilla hasta Chancay) y, por tanto, no eran aptas para recibir visitantes.

El derrame del 15 de enero de 2022, ocurrió justo en pleno verano del hemisferio sur, durante la temporada alta cuando tradicionalmente se vende la mayor cantidad de pescado. El derrame también afectó a los recursos hidrobiológicos y la economía relacionada a su extracción. Por ejemplo, solo en la bahía de Ancón, según cálculos de la organización The Nature Conservancy (TNC), trabajan alrededor de mil pescadores, que extraen mariscos y peces, otros que trabajan en el procesamiento y comercialización de productos marinos. Se trata de una cadena de producción y sostenibilidad que vio paralizadas sus actividades económicas.

Además de las personas vinculadas con la industria pesquera, también se quedaron sin ingresos las personas que se desempeñan en oficios vinculados a las playas: desde dueños y empleados de restaurantes, hasta personas que alquilan sombrillas y quienes venden comida y refrescos a lo largo de la orilla.

Por otro lado, tanto pescadores como extractores de mariscos han tenido la incertidumbre de no saber las condiciones en las que encontrarán a los recursos marinos. El derrame les ha dejado la imposibilidad de extraer estos recursos; ocasionando un grave impacto negativo en los eslabones que conforman la cadena de producción.

Impacto Ambiental

El impacto ambiental del petróleo en el océano es muy grave ya que, debido a que no se mezcla con el agua, se esparce rápidamente por la superficie, dañando inicialmente a todos los organismos en la superficie y en las costas del océano.

El rastro más evidente en un derrame es el que deja el petróleo en la superficie del mar. Cuando el petróleo se encuentra en el agua, este empieza a emulsificarse y diluirse, ingresa a las redes tróficas y puede entonces iniciar procesos de bioacumulación (Shiu & al, 1990). Otra parte de este petróleo es dirigido hacia la atmósfera en forma de gases (por medio de la evaporación y fotooxidación), mientras que fracciones remanentes pueden adherirse a compuestos orgánicos presentes en la columna de agua y se precipitan hacia el fondo del mar en forma de gránulos (Keramea, 2021)

Estos gránulos de petróleo podrían afectar a los organismos del fondo marino produciendo una gran mortandad a causa de la alteración biogeoquímica generada.

La disrupción de los procesos naturales en la columna de agua y los sedimentos podría causar también la intensificación de la acidificación del océano como consecuencia de la liberación de dióxido de carbono, durante la descomposición de la materia orgánica muerta (Little, 2021).

En la bahía de Ancón era posible apreciar enormes manchas de petróleo en la superficie del océano y pájaros muertos flotando en el agua. Diversas especies muertas por asfixia directa o por contacto con el crudo a través de sus tejidos o membranas (AFP, 2022). Ya abierto el muelle, los pescadores extrajeron pescados o mariscos visiblemente contaminados.

Los derrames marinos de petróleo tienen tres efectos devastadores. El primero es directo sobre las aves marinas y mamíferos acuáticos como delfines, focas y nutrias, que necesitan salir a la superficie para respirar aire, y sobre los peces que habitan en la superficie, entre ellos el pejerrey argentino (*Odontesthes bonariensis*) y el pez lisa.

El plancton también es una parte crucial de estos ecosistemas. Estos microorganismos no sólo son alimento para muchas especies, sino que también es donde se encuentran los huevos y larvas de casi todos los peces e invertebrados (mariscos) que viven en la costa.

El segundo impacto es sobre playas arenosas o rocosas, que forman parte de la zona intermareal. Una enorme cantidad de organismos viven en las playas y no pueden escapar del petróleo. Estos incluyen cangrejos de arena del Pacífico (*Emerita analoga*), moluscos llamados palabritas (*Donax peruvianus*), almejas, cangrejos fantasma pintados, estrellas de mar, erizos de mar, anémonas de mar, mejillones y muchas especies de caracoles y cangrejos. También hay nidos de pájaros y madrigueras de nutrias en zonas rocosas (Pulido, 2022).

El tercer nivel de impacto está en el fondo del océano. El petróleo, que inicialmente no se mezcla con el agua y flota en la superficie; captura mucho plancton y granos de arena llegando a depositarse en el fondo del océano y creando un entorno tóxico que puede matar las larvas de peces y de otros animales marinos. Las toxinas podrían matar a los vegetales que fijan los sedimentos y les impiden dispersarse en el océano.

El petróleo que se vuelve más pesado se hunde como gotas pegajosas que se adhieren a las rocas y los organismos en el fondo del océano, además de las branquias de los peces. Al descomponerse el petróleo o asentarse en el fondo marino, donde peces como la lisa o la pintadilla obtienen su alimento, o si el petróleo se acumula en carroñeros como cangrejos, caracoles, pulpos y otros invertebrados, harán que estos recursos no sean aptos para el consumo humano directo.

Sin embargo, hay efectos que son mucho más difíciles de medir y complejos de manejar; ya que en el agua se genera básicamente una reacción en cadena. Aun cuando la mancha de crudo ya no sea perceptible, los recursos hídricos van a seguir conteniendo residuos de metales pesados, generando un problema de bioacumulación y

biomagnificación. Las algas u otros organismos pueden comenzar a concentrar metales pesados en cantidades mínimas. Si estas son ingeridas por consumidores secundarios como peces, entre ambos concentrarán estos metales en cantidades mayores (bioacumulación).

El efecto a largo plazo sobre el ecosistema es muy difícil de calcular. Si bien el petróleo es menos visible, el impacto tóxico persiste. La experiencia muestra que los incendios controlados del crudo en el mar podrían ser la mejor solución ante derrames de amplia extensión.

Respuesta ante la emergencia

Cuando se produce cualquier siniestro o emergencia ambiental, se deben adoptar acciones de primera respuesta, como contener, confinar y recuperar el contaminante para minimizar los impactos negativos ocasionados y otras acciones indicadas en el Plan de Contingencia del Estudio de Impacto Ambiental o Instrumento de Gestión Ambiental Complementario aprobado, además de avisar a las autoridades de la emergencia ambiental generada en las condiciones exactas y dimensionando el real impacto.

En el Plan de Contingencia deben establecerse las acciones de respuesta inmediata frente a situaciones de emergencia. Este plan ayuda a gestionar y disminuir los riesgos, previendo para ello y entre otros temas un adecuado entrenamiento del personal, disponiendo protocolos *a priori*; es decir, se debe tener claridad absoluta de cómo responder frente a la emergencia más previsible en el marco de las operaciones por realizar (ITOPF, 2011)

Ante una catástrofe, se requiere una acción rápida. Por esta razón, la mayoría de las empresas petroleras, autoridades portuarias, marinas, industrias y otras empresas que operan en los puertos y en la costa prefieren tomar medidas preventivas, en lugar de

esperar a que ocurra el accidente. Hay diversas soluciones dependiendo de la ubicación, el tipo y el tamaño del derrame.

A continuación, se describen las acciones de respuesta:

- a) Identificar las zonas afectadas por el desplazamiento del hidrocarburo derramado.
- b) Asegurar el área, realizar la contención (elección de barreras de contención de petróleo).
- c) Recuperar el hidrocarburo sobrenadante en el agua de mar. Recuperación mecánica del vertido, mediante desnatadores (skimmers).
- d) Realizar la segregación, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos sólidos y líquidos peligrosos y no peligrosos generados como consecuencia de las actividades de la limpieza de las áreas afectadas.
- e) Almacenamiento temporal, utilizando vejigas remolcables o tanques de almacenamiento en puerto.
- f) Almacenamiento final o eliminación del aceite recuperado
- g) Limpieza completa del área afectada, usando una variedad de medios manuales y/o químicos, algunos de los cuales pueden o no estar permitidos por la legislación local.
- h) Realizar las acciones de limpieza del área de suelo afectada por el derrame de petróleo crudo en la zona de playa. La arena aceitosa presente en las playas se retira mediante palas, que luego se transporta en camiones a vertederos de desechos tóxicos.
- i) Se debe mantener un monitoreo en toda la zona, para las acciones más urgentes frente al derrame, pero también para cuando este se haya diluido.

Mientras más demore la limpieza, más compleja será la reparación del daño ambiental y los impactos en el mar y en la fauna marina; así como en el suelo serán mayores e irreversibles.

Ante la emergencia debe realizarse un primer reporte preliminar, el cual se debe realizar de forma inmediata hasta dentro de las doce horas de ocurrido el evento; y el segundo, un reporte final, se debe realizar dentro de los diez días hábiles de ocurrida la emergencia ambiental, el cual debe contener una descripción detallada del hecho, las consecuencias de la emergencia ambiental (incluyendo afectación a la salud de las personas), las acciones realizadas por la empresa responsable, las acciones correctivas a adoptar para subsanar y/o evitar el evento descrito y sus consecuencias, entre otros.

Se debe diferenciar acciones de remediación de las medidas de contención.

Contención

En función del entorno se pueden utilizar cualquiera de los siguientes dos tipos de barreras:

- a) Barreras planas de contención de flotación.
- b) Barreras cilíndricas de contención de flotación (los flotadores pueden estar rellenos de espuma o ser inflables).

Características de la barrera de contención

Se deben tener en cuenta tres factores al elegir una barrera de contención: flotabilidad, respuesta de balanceo y respuesta de tirón. La flotabilidad depende directamente del volumen de la barra. En caso de mares agitados hay que considerar que sea adecuada la distancia entre la línea de flotación y la superficie (francobordo). Por otro lado, si el ángulo de balanceo es elevado se reducirá el francobordo efectivo y el calado, reduciendo entonces las propiedades de contención de la barrera. La rotación de la barrera va desde el reposo debido a las fuerzas de las olas, el viento o las corrientes; hasta un movimiento considerable. Finalmente, la barrera puede reaccionar al movimiento vertical de la superficie del agua y es proporcional al área lateral de la barrera en la línea de flotación. Si la barrera tiene una mala respuesta al oleaje puede quedar

sumergida por una ola; mientras que una barrera con buena respuesta al oleaje flotará por encima de la ola.

Según el tamaño y la ubicación del derrame, se pueden usar barreras de flotación sólidas cilíndricas y barreras de flotación sólidas planas. Es posible además que se requiera contar con instalaciones permanentes de contención de hidrocarburos para asegurar la protección a largo plazo contra derrames de petróleo, como en puertos con frecuentes operaciones de carga/descarga de petróleo, centrales eléctricas, plantas desalinizadoras, astilleros y puertos deportivos. En este caso, existen diseños con flotadores rígidos montados externamente sobre una tela flexible y resistente de la barrera, siendo adecuadas para dejarlas en el agua durante largos períodos de tiempo, y solo es necesaria una limpieza intermitente, según sea necesario.

Las barreras de flotación sólidas planas; presentan flotadores rectangulares compactos, estas barreras flotantes planas se utilizan para contener derrames de petróleo en puertos, muelles y aguas protegidas. Sus flotadores rectangulares compactos significan que estas barreras brindan una protección eficaz contra derrames y ocupan poco espacio cuando se almacenan. Además, siempre están listos para su uso inmediato, ya sea a mano o con un carrete de pluma hidráulica, y su diseño plano facilita la limpieza y el almacenamiento. Las barreras de flotación planas tienen una flotabilidad relativamente baja debido a su bajo volumen, tienen una mala respuesta de balanceo a las fuerzas de las olas, el viento o las corrientes y una mala respuesta al tirón debido a su área de nivel de agua bajo. Sin embargo, su diseño plano significa que son compactos y se pueden guardar en enrolladores, lo que los hace fáciles de usar.

Las barreras cilíndricas de flotación tienen una alta flotabilidad y mantienen la altura de francobordo en mares agitados. El balanceo se mantiene al mínimo porque la falda se mueve independientemente de los flotadores y la cadena inferior lastra. El área grande del plano de agua brinda una buena respuesta al movimiento y buenas características de seguimiento de olas.

Las versiones de flotación rellenas de espuma se pueden desplegar inmediatamente, pero son voluminosas para almacenar, mientras que las versiones de flotación inflables son autoinflables o requieren compresores para inflarse y desplegarse.

Las grandes barreras autoinflables y barreras inflables de contención se despliegan y recuperan mediante carretes hidráulicos. La flotabilidad de la barrera la proporcionan dos circuitos espirales inflables de alta presión independientes que forman las cámaras de francobordo de la barrera y está respaldada por otros dos circuitos independientes de baja presión.

Las barreras de contención inflables son la primera opción para la recuperación estacionaria o en movimiento de mareas negras en aguas expuestas y en alta mar, gracias a sus flotadores inflables que proporcionan una excelente flotabilidad y características de seguimiento de olas.

Cuando está desinflada, la barrera ocupa un espacio mínimo en el carrete y es extremadamente fácil de limpiar y mantener. En función de la magnitud del derrame se puede requerir el despliegue inmediato de barreras para contención de derrames de petróleo; en este caso las barreras de contención de petróleo autoinflables son la mejor opción cuando los requisitos clave son la velocidad de despliegue con poco personal, combinado con la alta flotabilidad y las características de seguimiento de olas típicas de una barrera inflable.

También existen sistemas de barrido lateral inflable para una sola embarcación; la cual es una excelente alternativa para la recuperación mecánica de manchas de petróleo en el agua después de un derrame. El sistema de barrido lateral se compone de varias secciones cortas de barreras inflables de contención de hidrocarburos con una cadena de lastre que se configuran en forma de U y se fijan a un brazo que sale perpendicularmente de una embarcación y descansa sobre un flotador en el extremo

exterior. El sistema de barrido lateral se usa con la embarcación en movimiento, por lo que es ideal para recoger el aceite derramado en un área grande.

Si el derrame afecta una playa, se deben usar barreras de sellado de playas para contener el petróleo en el área intermareal.

Como puede verse, la naturaleza del derrame tiene menos importancia que el lugar donde se produce. Entonces, dependiendo de las condiciones en el lugar del derrame, se debe contar con la información necesaria para poder definir el tipo de barrera de contención más adecuado para usar.

Recuperación

Recuperación mecánica

Los skimmers recuperan los hidrocarburos que flotan en la superficie del mar a través de un módulo giratorio que están fabricados con materiales oleófilos e hidrofóbicos, lo que significa que pueden recuperar hidrocarburos con un contenido de agua muy bajo (menos del 2% como mínimo). Los skimmers se puede utilizar con módulos de recuperación diferentes, hechos de cepillos, discos o tambor liso, para cubrir una amplia gama de viscosidades de petróleo. Los skimmers están hechos de aluminio de grado marino para resistir las condiciones marítimas y cuentan con bombas de transferencia de aceite a bordo, lo que maximiza la cabeza de entrega de la bomba.

Por otro lado, los sistemas de recuperación dinámica tipo barrido o Sweeper; constan de un diseño en espiga de múltiples brazos, desplegado desde un solo buque. Una de las muchas ventajas de este sistema es que simultáneamente pueden contener y recuperar el aceite. Es una solución simple y fácil de usar para la recuperación mecánica de manchas de petróleo en el agua después de un derrame. Puede haber configuraciones de sistema de barrido lateral que se componen de varias secciones cortas de barreras

inflables de contención de hidrocarburos con una cadena de lastre que se configuran en forma de U y se fijan a un brazo que sale perpendicularmente de una embarcación y descansa sobre un flotador en el extremo exterior. El sistema de barrido lateral se usa con la embarcación en movimiento, por lo que es ideal para recoger el aceite derramado en un área grande. El petróleo recuperado se bombea a tanques flotantes que luego se remolcan al puerto donde se puede almacenar el petróleo en espera de su tratamiento final.

Recuperación fisicoquímica

Se pueden usar barreras adsorbentes para contener y absorber el derrame de petróleo, que luego se envían para el procesamiento de residuos: un lado de la barrera está expuesto al derrame para absorberlo, mientras que el reverso presenta un faldón con una cadena de lastre para contener el petróleo, lo que convierte a este producto en una excelente solución para una multitud de casos diferentes que involucran derrames de petróleo de diferentes tamaños. Las barreras adsorbentes con faldón tienen fuertes conectores de metal para formar una barrera de la longitud deseada, así como una solapa de velcro superpuesta en cada extremo para sellar el espacio entre las barreras.

Los derrames de petróleo a pequeña escala en el mar se pueden recuperar utilizando adsorbentes de petróleo. Existen diversas composiciones de adsorbentes para uso a bordo de barcos o en puertos. Estos sistemas de limpieza brindan una solución completa a los derrames accidentales de aceite o combustible en el agua. Los adsorbentes para derrames marinos normalmente contienen barreras adsorbentes, almohadas, tapetes y rollos, todos hechos de material absorbente oleofílico e hidrofóbico. Sin embargo, este tipo de adsorbentes sólo se utilizan para derrames de entre 4 a 12 barriles de petróleo respectivamente.

Por otro lado, las técnicas de recuperación de derrames de petróleo en costas y playas implican una serie de operaciones diferentes, ya que la marea negra afecta a dos entornos naturales diferentes: el mar mismo y la costa, que a menudo incluye playas.

Almacenamiento y transporte

El siguiente paso después de la recuperación de derrames de petróleo es transferir el petróleo a tanques en tierra mediante vejigas o tanques flexibles. Cuando están vacíos, estos tanques ocupan muy poco espacio, pero una vez desplegados en el agua brindan una gran capacidad de almacenamiento. Los tanques flotantes varían en tamaños desde 5 m³ hasta 1000 m³ de capacidad y ofrecen posibilidades únicas para almacenar y transportar petróleo recuperado desde ubicaciones remotas. Finalmente, el petróleo puede almacenarse temporalmente.

Estos tanques livianos deben estar hechos de poliéster recubierto de PVC y normalmente varían en tamaños de 2, 6 y 10 m³ de capacidad de almacenamiento. Son fáciles de transportar a mano y no requieren ningún montaje, ya que no tienen una estructura rígida. Sin embargo; si el derrame se encuentra a varios km de la costa, es posible que se necesiten vejigas flotantes para transportar el petróleo a tierra.

La preparación para derrames de petróleo es vital tanto en pequeñas marinas como en grandes puertos con una alta densidad de tráfico de grandes embarcaciones.

Ante los inevitables vertidos que se producen en los puertos y dársenas, ya sea de crudo o de combustibles ligeros, los equipos utilizados dependerán del volumen y se pueden resumir en los siguientes: en condiciones adversas, se puede requerir el mismo equipo que se usa para un derrame costero, pero por lo demás, en las condiciones relativamente tranquilas de un puerto, se pueden usar barreras de contención de flotación sólida de tamaño mediano. Para recuperar hidrocarburos del agua en puertos y bahías, se pueden utilizar skimmers más pequeños. En lo que respecta al almacenamiento temporal, se

utilizan tanques en tierra, para almacenar el aceite recuperado antes de enviarlo a tratamiento de residuos.

Y para el petróleo y el combustible derramado en los puertos, también se pueden emplear una amplia gama de adsorbentes de petróleo, incluidas barreras adsorbentes con faldones, que se utilizan ampliamente en puertos deportivos, así como otros tipos de barreras de contención.

Remediación del sitio

Inmediato a la contención y recuperación se realizan labores de “remediación” del litoral costero y limpieza de playas, mediante el despliegue de barreras de contención que cubren todas las zonas afectadas. En un primer acercamiento se debe identificar la extensión de propagación del derrame; así como su efecto en la vida silvestre. En esta identificación se pueden utilizar todos o algunos de los siguientes métodos:

- 1) Recolección de muestras de agua.
- 2) Uso de drones para rastrear los movimientos del petróleo y documentar el daño a los ecosistemas afectados.
- 3) Implementación de estudios exploratorios de cinética microbiana en respuesta al derrame.
- 4) Identificación de la alteración de las redes alimentarias.

Sustentabilidad

El petróleo derramado en el océano generó lo que se conoce como mareas negras, el cual es altamente peligroso porque la emulsión provocada por la acción de las olas es muy resistente. Si no se trata con rapidez, pronto puede llegar a costas y playas, multiplicando así los efectos de la catástrofe.

El tiempo que tarda un ecosistema en recuperarse de un derrame de petróleo depende de su tamaño. Los efectos de un derrame pequeño pueden tardar 15 años en desaparecer por completo, mientras que para un derrame más grande esto puede tardar mucho más. El daño que puede causar un derrame de petróleo es a menudo el colapso y muerte inmediata de una amplia gama de especies marinas, así como la contaminación del agua que puede durar años, impidiendo la reproducción y la recuperación del ecosistema.

Los desastres, independientemente de su origen, pueden causar graves daños a las personas, las comunidades, las economías, las cadenas de suministro y el medio ambiente.

En caso de un derrame de hidrocarburos, se requiere una respuesta oportuna y eficaz para hacer frente a los impactos inmediatos y reducir las consecuencias para el medio ambiente y a largo plazo.

El evento ocurrido en Ventanilla se considera como un desastre, ya que se generó a causa de un desequilibrio entre los efectos de un evento peligroso y la capacidad de respuesta de la entidad responsable. En este desequilibrio operan dos procesos que exacerban o disminuyen los efectos del desastre, respectivamente.

Por un lado, los efectos de desastre del evento peligroso pueden extenderse sin concebir límites al multiplicarse con la vulnerabilidad de la población. Al respecto, opera la siguiente regla: cuanto más vulnerable es una población al evento peligroso, mayor es el desastre.

Por otro lado, los efectos de desastre del evento peligroso también pueden disminuir sin concebir límites cuando a la capacidad de respuesta del grupo social o sociedad se suma la resiliencia de su población. En este caso, opera la siguiente regla: cuanto más resistente es una población, menor es el desastre

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos aplicarlo al evento de derrame de petróleo ocurrido el 15 de enero de 2022, en Ventanilla de la siguiente forma:

- Evento peligroso: derrame de aproximadamente 11, 000 barriles de crudo en el océano de Ventanilla, en Callao, Perú. El derrame se extendió a las playas del norte. 15,845 hectáreas afectadas en la costa: Ventanilla, Pachacútec, Santa Rosa, Ancón, Chancay, Huaral. (Informe de la Defensoría del Pueblo, abril de 2022, citando informe del Órgano de Control).
- Impacto ambiental: contaminación de las playas, sus fondos marinos, espacios naturales protegidos en islas. Muerte de miles de ejemplares marinos.
- Impacto a la salud: afectación en la salud de la población que consume pescado contaminado.
- Impacto económico:
 - Población local dependiente de actividades marinas y/o recreativas. Con planes limitados de prevención o sustitución de actividades.
 - Pescadores y círculo económico afectados.
 - Personas que trabajan en actividades recreativas, afectadas.
- Vulnerabilidad:
 - Flora y fauna marina desprotegida; con limitados planes de prevención o control y remediación.
 - Equipo especial limitado que protege la costa del petróleo.
- Capacidad de respuesta:
 - Naviera: planes de contingencia limitados para el control del derrame y sus efectos.
 - Compañía petrolera: planes de contingencia limitados para controlar el derrame y su expansión.

El desastre ocurrió, dada la superioridad del evento peligroso, derrame de petróleo, respecto a la capacidad de respuesta de la empresa, las autoridades y la población.

Es un desastre ambiental inicialmente, pero como afecta proporcionalmente a la población costera, se convierte en un desastre común que integra el medio ambiente. El desastre pudo haberse extendido con la vulnerabilidad de su población; ya que no está preparado para enfrentar el peligro del derrame de petróleo. El impacto en la salud es un referente en esta situación.

La capacidad de respuesta de la empresa de transporte marítimo, la petrolera y los organismos del Estado es limitada ante el peligroso evento.

Si bien existe una alta resiliencia en la población, ya que no ha sido afectada instantáneamente, salvo contadas excepciones, dicho valor puede perderse si el evento peligroso continúa.

En un entorno mundial, donde la sustentabilidad cobra cada vez más fuerza y relevancia es fundamental contar con procedimientos que garanticen el menor impacto ambiental y social de las diversas actividades productivas. En este caso particular, cabe resaltar que cualquier acción de contingencia que se haya implementado no ha sido efectiva ya que ha habido una expansión acelerada del hidrocarburo. Medidas como el uso de dispersantes, para descomponer la mancha de crudo en pequeños fragmentos, antes de que llegue a la costa, podrían contaminar las especies que viven en el ecosistema marino y provocar cáncer y mutaciones genéticas.

Como se mencionó inicialmente, un derrame petrolero tiene un grave impacto ambiental en diferentes áreas como son: el turismo, la pesca, el medio ambiente en general y la seguridad nacional. El riesgo es persistente debido a devastadores derrames de petróleo, ocasionando una mayor contaminación del agua, suelo y aire; contribuyendo entonces al cambio climático.

Esta situación requiere la adopción de un monitoreo permanente durante al menos los próximos cinco años; ya que lamentablemente, es imposible recuperar todo el petróleo después de un derrame; al menos el 30% permanecerá en el océano.

Ante la situación ocurrida en Ventanilla, se puede considerar como un desastre que no sólo debe contenerse y remediarse; sino también hace una llamada a la implementación de procedimientos adecuados de monitoreo y prevención.

Como se puede ver, en cada uno de los elementos de lo que constituye un desastre requiere datos, o mucha información. El contar con la información precisa contribuirá a generar proyecciones y medidas de prevención. Es urgente continuar realizando acciones permanentes para remediar las áreas afectadas aún pendientes en la costa, como los fondos marinos. Esto último reduciría el peligro y se superaría el desastre.

Observaciones al Proyecto

A partir de los antecedentes y descripción de los requisitos que deben considerarse dentro de un proyecto con el objetivo de identificar, contener y retirar los hidrocarburos presentes a consecuencia de un derrame, se realizan las siguientes observaciones y recomendaciones al proyecto evaluado.

1. Las regiones donde se realizan actividades de extracción, transporte y almacenamiento de hidrocarburos, deben contar con métodos de evaluación de riesgos, monitoreo y respuesta acordes a sus características específicas.
2. Se requiere contar con sistemas de identificación, contención y retiro de derrames como parte integral de los planes de contingencia de estas regiones y empresas o entidades responsables.
3. Los métodos tradicionales de limpieza manual y con embarcaciones pequeñas no han sido suficientes para contener y revertir el desastre.
4. Los métodos mecánicos (skimmers) no son suficientes ni adecuados cuando se trata de derrames que abarcan grandes extensiones.
5. Los adsorbentes químicos pueden provocar toxicidad en la biota de la región impactada.
6. Los derrames de hidrocarburos en agua y suelo generan un considerable impacto ambiental negativo, con los inherentes costos y pérdidas de recursos.
7. Los hidrocarburos después de ser contenidos y recuperados son normalmente dispuestos para un siguiente tratamiento, el cual en la mayoría de los casos consiste únicamente en el almacenamiento en contenedores diseñados para este fin.

Ante lo anterior, se considera que el presente proyecto SI puede constituir una posible solución a las anteriores debilidades y amenazas presentes en el sistema interés de aplicación. Sin embargo, se hacen las siguientes recomendaciones:

Como parte del hito 1 del proyecto PNIPA-PES-SIA-2022-00266. “Sistema Robótico de Identificación, Contención y Retiro de Hidrocarburos en el Mar Peruano”. En el documento IT002, se propone el drone Matrice 300 RTK, el cual representa múltiples ventajas mencionadas en dicho documento. Considero entonces, que el uso de drones en las inspecciones de derrames de hidrocarburos ofrece más ventajas que las mencionadas hasta ahora, como el ahorro de tiempo, la alta eficiencia y precisión, la baja complejidad, la calidad de los datos y la más importante en esta industria: la seguridad.

La inspección con drones no requiere la intervención humana y elimina todos los riesgos asociados a ella. Teniendo en cuenta todo lo anterior, la tecnología de los drones ofrece una identificación rápida y sencilla con una precisión insuperable y una salida de datos de alta calidad, siendo realmente una opción viable. Sin embargo, como en cualquier programa de monitorización se sugiere lo siguiente. Constatar el alcance y concentración de contaminantes en el medio ambiente, en este caso en el mar, con el transcurso del tiempo. Por lo que se sugieren los siguientes métodos complementarios para la etapa de monitorización:

1. Comparación de datos anteriores y posteriores al derrame.
2. Comparación de datos de áreas contaminadas y de sitios de referencia sin contaminar.
3. Monitorización de cambios durante un periodo de tiempo.

Es importante conocer el comportamiento y efectos de los hidrocarburos derramados y las posibles vías por las que los recursos podrían estar expuestos a los hidrocarburos. Algunas de las variables de interés son: cantidad y tipo de los hidrocarburos derramados, respuesta a la meteorización de los hidrocarburos (esparcimiento, disolución, etc.), características físicas del área afectada, naturaleza y ubicación de recursos sensibles, medios disponibles para el muestreo y análisis, condiciones físicas que pudieran limitar el muestreo (acceso o clima).

Otro aspecto muy importante para considerar es que los hidrocarburos derramados en el mar tienden a cambiar su apariencia con el tiempo debido a procesos de intemperización. La mayoría de los hidrocarburos se esparcen rápidamente sobre amplias áreas de la superficie del mar. aunque inicialmente el petróleo puede formar una mancha continua, ésta generalmente se rompe en fragmentos y hileras debido a las corrientes de circulación y la turbulencia.

A medida que el petróleo se esparce y el espesor se reduce, su apariencia cambia de la coloración negra o marrón oscura de las manchas gruesas de petróleo a un brillo iridiscente y plateado en los bordes de la mancha.

Los brillos consisten en películas muy finas de aceite y, aunque estas áreas pueden estar muy extendidas, representan una cantidad insignificante de aceite. Por el contrario, algunos petróleos crudos son excepcionalmente viscosos y tienden a no esparcirse apreciablemente, sino que permanecen en parches coherentes rodeados de poco o ningún brillo. Una característica común de los derrames de petróleo crudo, es la rápida formación de emulsiones de agua en petróleo que a menudo se caracterizan por un color marrón/naranja y una mancha cohesiva.

Por otro lado, desde el aire es difícil distinguir entre el petróleo y una variedad de otros fenómenos comúnmente confundidos con el petróleo. Los fenómenos que con mayor frecuencia conducen a informes erróneos de derrames de petróleo incluyen: sombras de nubes, ondas, diferencias en el color de dos masas de agua adyacentes, sedimentos suspendidos, materia orgánica flotante o suspendida, algas marinas flotantes, floraciones de algas/plancton, pastos marinos y parches de coral en aguas poco profundas y vertidos industriales y de aguas residuales.

En esquemas convencionales se cuenta con personal especializados que realiza las operaciones de monitoreo desde aviones y son expertos en identificar estas variaciones.

Por lo tanto, en proyectos como el presente donde se pretende hacer uso de la tecnología como lo son el uso de drones y cámaras, es importante que se consideren los aspectos mencionados que pudieran dar lugar a errores en la identificación de la extensión del derrame de crudo.

El alcance geográfico de la contaminación permitirá delinear el área de monitoreo, aunque es posible que estos límites tengan que redefinirse si se produce una liberación continua de hidrocarburos, cuando la nueva movilización de los hidrocarburos varados represente un factor, o si los resultados del muestreo y análisis iniciales indican que el área afectada es diferente a la inicialmente prevista.

La monitorización también será de utilidad al momento de evaluar si las operaciones de limpieza o progreso de la recuperación es la esperada. Si las propiedades de los hidrocarburos y las condiciones ambientales en el momento del derrame indican que cantidades significativas de hidrocarburos pudieran haberse hundido, podrían requerirse reconocimientos bajo el agua para identificar si realmente se ha producido este hecho y para determinar el alcance de cualquier área afectada. Estos reconocimientos podrían realizarse mediante un vehículo teledirigido, sensores acústicos, etc. También podrían utilizarse métodos mecánicos en forma de adsorbentes anclados en posiciones fijas o remolcados a través del fondo marino para detectar la presencia de hidrocarburos sumergidos.

Las recomendaciones anteriores son subsanadas mediante la puesta en marcha del vehículo marino no tripulado descrito en el documento IT001; ya que cuenta con el dron, sistema de detección, barreras de contención, desnatador y tanque de almacenamiento.

Metodología sugerida para evaluar la evolución del crudo

Para evaluar la posible evolución del crudo derramado se puede aplicar el modelo ADIOS de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (ONU, s.f.). Este modelo

no predice lo que ocurrirá, si no como se comportaría la evolución del derrame de mantenerse constante ciertos parámetros específicos, entre los que se encuentran los siguientes:

- Tipo de crudo
 - Nombre
 - Localización
 - Tipo de crudo
 - °API
 - Pour Point
 - Flash Point
 - Densidad
 - Viscosidad
- Emulsificación
 - Posible formación de espuma cuando el 4% del aceite se ha evaporado
- Condiciones del viento y las mareas
 - Velocidad del viento
 - Altura de las olas
- Propiedades del mar
 - Temperatura
 - Salinidad
 - Contenido de sedimentos
 - Corrientes
- Información del derrame
 - Cantidad derramada
 - Fecha del derrame

Para evaluar la cantidad de hidrocarburos que pueden permanecer en la superficie del mar se puede utilizar el Código de Apariencia del Acuerdo de Bonn. Este Código asigna un espesor mínimo y máximo para cada nivel establecido en función de la apariencia del

hidrocarburo, permitiendo calcular un volumen mínimo y un volumen máximo. El volumen mínimo se utiliza para fijar las sanciones en caso de descargas ilegales. Y en cambio, el volumen máximo se emplea para dimensionar los medios de lucha contra la contaminación que hay que movilizar. En este Código la densidad de las manchas de petróleo se califica del 1 al 5, en orden ascendente de magnitud y espesor de estas.

Como una contribución adicional al proyecto, se sugiere identificar el posible uso final que se dará a los hidrocarburos almacenados, ya que, de no hacerlo, se está frente a un problema latente de migración de contaminación.

Plan de monitoreo Ambiental

El presente proyecto sería de gran utilidad en planes de monitoreo ambiental; ya que sería posible identificar de manera más rápida y con menor riesgo:

- La propagación/distribución y tipología de la contaminación (mediante las cámaras y drones), en menor tiempo en comparación con los vuelos tripulados convencionales. Además al implementar modelos de inteligencia artificial y/o redes neuronales, a partir de las identificaciones realizadas, se contaría con información de base para otros posibles desastres.
- Se podría contar con caracterización cartográfica de los hábitats expuestos y de los componentes biológicos.
- Caracterización de los signos evidentes de impacto, las especies afectadas y su extensión.
- Recopilación de datos de referencia (datos pre-derrame o datos recopilados en zonas similares sin presencia de hidrocarburos), para comparar los resultados y evaluar si el área afectada se recupera y para cuándo. Una referencia puede ser considerar el extremo opuesto de la zona del derrame, la cual no fue afectada por el derrame debido a la dirección de las corrientes.

Referencias

- AFP. (2022, Enero 22). From <https://www.swissinfo.ch/spa/sombr%C3%ADo-balance-de-derrame-petrolero-en-per%C3%BA--aves-muertas-y-pescadores-sin-trabajo/47284240>
- Gestión. (2022, Enero 26). *Repsol: Osinergmin confirma nuevo derrame y estima vertido de otros 8 barriles de crudo*. From <https://gestion.pe/>
- ITOPF. (2011). *Planificación de Contingencias para Derrames de Hidrocarburos en el Medio Marino*.
- ITOPF. (2022). *Oil Tanker Spill Statistics 2021*. From <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>
- Keramea, P. e. (2021). Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges. *J. Mar. Sci. Eng.*, 9(2), 181.
- Little, D. S. (2021). A perspective on oil spills: What we should have learned about global warming. *Ocean & Coastal Management*.
- ONU. (n.d.). *Automated Data Inquiry for Oil Spills (ADIOS-NOAA)*. From <https://www.un-spider.org/links-and-resources/data-sources/automated-data-inquiry-oil-spills-adios-noaa>
- Pulido Capurro, V., Arana Bustamante, C., Olivera Carhuaz, E., & Riveros, J. (2022, Ene/abr). The oil spill at Terminal 2 of the La Pampilla Refinery and its effects on the biodiversity of the coasts of the marine littoral, Peru. *Arnaldos*, 29(1).
- Pulido, V. E. (2022). Efectos del derrame de petróleo en la Refinería la Pampilla en las costas del litoral marino, Lima (Perú). *Journal of High Andean Research*, 24(1), 5-8.
- Repsol: Osinergmin confirma nuevo derrame y estima vertido de otros 8 barriles de crudo. (2022, Enero 26). *Gestión*.
- Shiu, W. Y., & al, e. (1990). The water solubility of crude oils and petroleum products. *Oil and Chemical Pollution*, 7(1), 57-84.
- Sierra Praeli, Y. (2022, enero 19). *Derrame de más de 11 mil barriles de petróleo en el mar contamina fauna, playas y áreas protegidas en Perú*. From <https://es.mongabay.com/>

SPDA Actualidad Ambiental. (2022, Enero 19). Derrame de petróleo en Ventanilla: sus impactos ambientales en el mar y especies.