

# AGUAS PROFUNDAS

**Crónica de un desastre anunciado** Gertrudis Uruchurtu

El derrame petrolero más grave de los últimos tiempos provocó daños que aún no se han podido cuantificar.



**El 17 de abril** de 2010 la plataforma petrolera bautizada con el sugestivo nombre de Horizonte de Aguas Profundas (*Deepwater Horizon*) se encontraba en la fase final de su tarea, a 80 kilómetros de la costa sureste de Luisiana, Estados Unidos. Se trataba de una plataforma flotante operada por la compañía British Petroleum que había iniciado sus operaciones en febrero de 2010. Estaba equipada para perforar pozos de 9 100 metros a partir de profundidades de hasta 2400 metros. Una vez terminada la perforación, la plataforma sería retirada para que ocupara su lugar una torre de extracción de petróleo.

A medida que se perfora un pozo, el lodo desalojado se extrae por el tiro de la perforación, el cual se forra con tubos de acero y cemento. Los ingenieros de las empresas responsables discutían la manera de sellar el extremo superior del pozo, pues se esperaba que el petróleo saliera con mucha presión. En la discusión hubo discrepancia en puntos clave.

## AGUAS PROFUNDAS EN MÉXICO

Las ambiciones petroleras de nuestro país son grandes. Los trabajos de exploración llevados a cabo por Petróleos Mexicanos (PEMEX) por más de 70 años han permitido calcular el potencial petrolero de México e identificar, a partir de información geológica y geofísica, las principales cuencas petroleras. Se calcula que bajo aguas profundas mexicanas en el golfo hay 30 000 millones de barriles de crudo. En los últimos cinco años, se han perforado cinco pozos en el Golfo de México con profundidades de entre 500 y 1 000 metros. Ninguno de ellos ha sido desarrollado, por lo que en ninguno hay producción. En marzo de 2009 se inició la perforación del pozo Tamil 1. Sin embargo, Pemex se enfrenta a retos que tiene aún que resolver: capacitar personal en la tecnología especializada para la exploración y explotación, así como obtener financiamiento.

Dependiendo de las condiciones, el costo por perforación está entre 70 y 150 millones de dólares y la renta de plataformas flotantes (hay pocas en el mundo) cuesta 530 000 dólares por día. Un proyecto de perforación tarda entre ocho y 10 años en desarrollarse.

El 20 de abril a las 9:45 p.m., sin ningún aviso de alarma, los trabajadores de la plataforma sintieron un violento estremecimiento seguido de una explosión y un incendio. De 126 personas que se encontraban ahí, 11 desaparecieron y 17 sufrieron quemaduras y traumatismos graves y fueron trasladadas a hospitales en la costa mientras por el tubo de la plataforma se derramaban miles de barriles de petróleo.

¿Qué fue lo que falló? Cada una de las empresas participantes tiene su hipótesis, pero no se sabe nada a ciencia cierta. Lo que sí es un hecho es que un dispositivo imprescindible y obligatorio de prevención de explosiones no funcionó. Éste tiene una serie de válvulas que modulan la presión de los fluidos que emanan del pozo cuando éstos son expulsados en forma violenta para impedir una explosión. Treinta y seis horas después, la plataforma se hundía en el Golfo de México.

### Cadena de calamidades

Extraer el petróleo de los primeros pozos que se perforaron en suelo continental en la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX requería tecnología muy simple, pues, aunque el petróleo se encontraba a unos 500 metros de profundidad, era tal su abundancia, que casi fluía solo. Con el paso del tiempo, a medida que aumentó el volumen extraído, el petróleo dejó de brotar espontáneamente. Surge así la necesidad de perforar el lecho marino, primero a profundidades de hasta 400 metros (distancia entre la superficie y el lecho marino). Se construyeron plataformas y se perfeccionó la tecnología para extraer a mayores profundidades.

Sin embargo, este petróleo fácil está por agotarse. Las fuentes alternativas de energía renovable, si bien van por buen camino, aún tienen un costo más elevado que el del petróleo y por ahora no pueden saciar nuestras necesidades energéticas. Esto —aunado a las ambiciones financieras igualmente insaciables de las empresas y los países que tienen yacimientos— ha propiciado una carrera para exprimir la corteza terrestre y sacarle todo lo que pueda dar. Para eso las compañías petroleras se han lanzado a perforar en aguas profundas; es decir, en lechos marinos que se encuentran a más de 500 metros de profundidad, donde hoy se sabe que



20 de abril, 2010.



Plataforma Horizonte de Aguas Profundas.



hay cantidades exorbitantes de petróleo. Extraerlo, además de requerir tecnología muy costosa, conlleva graves riesgos que no eran desconocidos por las empresas que estaban trabajando en la zona de perforación llamada Macondo, donde ocurrió el accidente de la plataforma Horizonte de Aguas Profundas.

La perforación empezó a una profundidad de 1 524 metros. A profundidades menores a 400 metros las operaciones pueden ser vigiladas por buzos con equipo especial. Sin embargo, en aguas profundas, con presiones de 354 kilogramos sobre cada centímetro cuadrado, el traba-



jo de supervisión lo realizan robots y la realidad de lo que ocurre abajo llega a ser bastante incierta.

Debido a las diferencias de temperatura entre la superficie y el lecho marino el bombeo del fluido de perforación es complicado, además de que las bajas temperaturas alteran las propiedades del cemento que se emplea para fijar las tuberías de revestimiento del pozo. El agua helada de la profundidad puede provocar que el metano, que a temperatura ambiente es un gas, se congele, y esto bloquea el flujo. Las fuertes corrientes marinas sacuden las estructuras, hacen vibrar las tuberías y fatigan los componentes del equipo de perforación.

Todo lo malo que podía pasar, pasó en el pozo de Macondo y durante 85 días se derramaron diariamente unos 50 000 barriles de petróleo.

### Intentos de resarcir el daño

La experiencia (ver recuadro de Ixtoc 1) muestra que la mejor solución para este tipo de problemas son los pozos de alivio. Éstos son perforaciones que hacen intersección con el pozo principal para desfogar presión de fluidos cuando hay alguna contingencia. Otras veces los pozos de alivio sirven para introducir cemento o sustancias que puedan disminuir el daño.

El 2 de mayo se empezaron a perforar dos de estos pozos, pero esta operación toma entre dos y tres meses. Las petroleras noruegas son las únicas que exigen perforar los pozos de alivio al mismo tiempo que el principal.

Se introdujeron en el área barreras flotantes para impedir que el petróleo llegara a las costas; se emplearon buques que llevan mecanismos llamados *skimmers* (“espumaderas”) que recogen el petróleo de la superficie del mar para evitar el daño al ecosistema y recuperar lo derramado.

En el mes de mayo se diseñó primero un domo y luego un embudo, obras de ingeniería monumentales con las que se intentaba tapar el pozo, pero fue en vano: la presión del petróleo al surgir era mayor que el peso que se le aplicaba. Se intentó tapar el embudo con lodo y toneladas de llantas y pelotas de golf despedazadas, pero fue contraproducente porque esto acabó de estropear el dispositivo de prevención de explosiones.

A fines de julio el primer pozo de alivio interceptó al pozo principal. Al mismo tiempo, los ingenieros colocaron una pesadísima carga de lodo sobre un domo de 70 toneladas que fue sellado con cemento. Después de 85 días de derramarse entre 40 000 y 70 000 barriles de petróleo diariamente, el flujo cesó.

### Daños del petróleo en el mar

¿Qué daño causaron los 4.9 millones de barriles de petróleo derramados?

Según algunos titulares en la prensa, lo más afectado por este desastre fueron las empresas que participaron en la perforación del pozo, cuyas acciones se desplomaron (aunque algunas ya se recuperaron). No obstante, la conciencia mundial carga como una culpa propia el grave daño ocasionado al ecosistema. Entre las plantas, los animales, las bacterias y los hongos que habitan en el Golfo de México existe una interdependencia de energía y materiales, y debido a esto, el equilibrio del ecosistema es muy frágil.

La televisión nos muestra dramáticas escenas de tortugas muertas y pelícanos cubiertos de petróleo. Sin embargo, la mayor parte del ecosistema del golfo no se ve porque habita en las profundidades del mar. En la zona del derrame viven 1 728 especies marinas. Aún no se ha podido cuantificar el daño. Un equipo de biólogos

### IXTOC I

El 3 de junio de 1979 una falla provocada por la fuga de lodos de perforación que mantienen en equilibrio el flujo de petróleo produjo la explosión e incendio de la plataforma SEDCO135 F sobre el pozo Ixtoc I en la bahía de Campeche. La operación se había realizado a 45 metros de profundidad. A partir de ahí se habían perforado 3 600 metros para llegar al yacimiento de petróleo. Existe gran similitud entre el colapso de las plataformas SEDCO135 F y *Deepwater Horizon*, aunque la primera no se encontraba en aguas profundas. En ambos casos el desastre lo causó una falla en el dispositivo de prevención de explosiones. Las soluciones para intentar detener el derrame mediante domos y descarga de material de desecho muy pesado fueron parecidas. El Ixtoc I derramó 3.3 millones de petróleo durante los nueve meses y medio que duró el problema. La perforación de dos pozos de alivio permitió disminuir la presión del pozo principal y hasta entonces pudo taparse. Los daños al ecosistema fueron graves y la industria pesquera de la zona se vio muy afectada. Hoy, 30 años después, se cree que la temperatura cálida de la región favoreció la biodegradación y se observan signos de recuperación.



Trabajadores ajustan una válvula para modular la presión de los fluidos que emanan del pozo de Macondo, 8 de julio, 2010.

y ecologistas dirigidos por Larry MacKinney, de la Universidad Texas A&M se ha desplazado a la zona del desastre para realizar un cálculo de los daños. Por lo pronto sólo se tiene como referencia los ocasionados por los derrames del buque petrolero Exxon-Valdez en 1989 y el pozo Ixtoc I en aguas mexicanas en 1979.

Se sabe que el petróleo disminuirá las tasas de reproducción y aumentará las de enfermedades y mortalidad en todos los organismos marinos; sin embargo, cinco especies de animales grandes preocupan en especial por su importancia en el equilibrio del ecosistema: el atún de aleta azul, que es la especie de mayor importancia comercial, la tortuga golfina, los cachalotes, el tiburón ballena y el tarpon.

El petróleo obstruye las branquias de los peces y les dificulta o impide la respiración; en las tortugas, el contacto, la inhalación y la ingestión de los hidrocarburos produce quemaduras en los sistemas digestivo, respiratorio y reproductor. El petróleo deforma a las crías de todos ellos y el plancton, del cual se alimentan, se vuelve tóxico y las mata. El pronóstico es muy grave.

### Mientras tanto en la costa...

Los habitantes de los estados de Luisiana, Misisipi, Alabama y Florida vieron con angustia llegar la nata de petróleo a sus playas a mediados de mayo. Lo más vul-



Los buques *Blue Dolphin* y *HOS Centerline* bombean lodo para sellar la fuga en el Golfo de México, 3 de agosto, 2010.

nerable en este caso son los humedales, pantanos y manglares de la costa. Una vez que el petróleo llega ahí, el daño es irreversible para la gran biodiversidad que albergan. Para evitarlo había que impedir que el petróleo llegara a la superficie del mar, pues una vez ahí, el oleaje produce una emulsión, que es una mezcla homogénea de agua y petróleo muy difícil de limpiar.

Por primera vez en este tipo de desastres, se aplicó una tecnología conocida como *dispersión con tensoactivos a profundidad*. Unos robots submarinos descien-

den hasta la fuente de petróleo con el fin de inyectar un compuesto formado por una molécula con las siguientes características: por uno de sus extremos tiene afinidad con el agua y por el otro con el petróleo. De esta manera, forma microgotas de agua-tensoactivo-petróleo que se dispersan y tienden a irse al fondo, donde los microorganismos las consumen.

Según estudios previos, el dispersante no daña ni a los peces ni a los crustáceos comestibles. Sin embargo, las investigaciones recientes han encontrado que el exceso de dispersante que se aplicó afecta a los corales, impidiendo que las larvas flotantes de estos animales se adhieran a la colonia para formar los arrecifes. Aunque esto parece ser un daño menor, hay que recordar que las colonias de coral constan de millones de pólipos de unos milímetros de diámetro que fijan en sus tejidos el calcio disuelto en el mar y forman la estructura rígida del arrecife, que es el hogar de más de 500 especies diferentes que ahí encuentran alimento y protección contra los depredadores.

El dispersante desvistió a un santo para vestir a otro.

### El petróleo derramado

El 4 de agosto los científicos de la Oficina de la Atmósfera y el Océano de Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés), después de realizar análisis exhaustivos en toda la región afectada, emitieron un comunicado sobre el balance del petró-

## ORIGEN DEL PETRÓLEO

Las regiones del planeta donde se ha encontrado petróleo son mares o regiones que fueron mares en el pasado geológico. La teoría más aceptada sobre el origen del petróleo es que se formó a partir de microorganismos llamados fitoplancton o zooplancton que habitan en el mar. Su ciclo de vida se realiza en la superficie de un mar cálido, con luz del Sol y un aporte de nutrientes que llegan arrastrados desde el suelo continental. Cuando mueren estos organismos, su materia orgánica reacciona con el oxígeno del aire y se degrada casi totalmente en dióxido de carbono y agua. Sin embargo, una porción de estos microorganismos muertos son arrastrados por corrientes marinas hacia zonas más profundas, donde su descomposición no es completa por falta de oxígeno y siguen bajando hasta sedimentarse en el lecho marino. Al cabo de miles de años

estos sedimentos forman un lodo que se filtra a través de grietas y rocas porosas hasta que encuentra espacios donde se deposita. Las temperaturas y presiones altas provocan lentísimas reacciones entre los compuestos orgánicos de estos microorganismos (formados básicamente por carbono e hidrógeno, y en menor proporción oxígeno, nitrógeno y azufre). Se forma primero una sustancia de textura grasosa llamada *kerógeno*. A medida que aumenta la presión y la temperatura alcanza 150°C, las moléculas de *kerógeno* se rompen y forman lo que se conoce como *bitumen*. El bitumen tiende a filtrarse y migrar a mayores profundidades, donde las moléculas se rompen otra vez para dar lugar a la mezcla de hidrocarburos que es el petróleo. La transformación de microorganismos en petróleo tarda entre 50 y 70 millones de años.



leo alrededor de la zona de perforación Macondo. Calculan que un 17% del petróleo derramado fue recuperado; se quemó el 5%; sólo un 3% fue retirado por las espumaderas y el 25% se evaporó o se disolvió. El 16% se dispersó por fenómenos naturales como vientos y mareas y el 8% mediante dispersión química. Queda aún un 26% de petróleo residual que se espera sea biodegradado por bacterias.

Sin embargo, a finales del mes de junio, Richard Camilli y Christopher Reddy, científicos del Instituto Oceanográfico de Woods Hole, realizaron una expedición a la zona para evaluar los daños y se muestran menos optimistas. En una exploración con robots submarinos, encontraron una estela de petróleo de 35 kilómetros de longitud y un espesor de 200 metros a una profundidad de 1 100 metros. El análisis de las muestras tomadas de esta enorme franja de petróleo mostró que son hidrocarburos que no han sido contabilizados por la NOAA. La proporción de oxígeno disuelto en estas muestras no está por debajo de lo normal. Esto indica que hasta esa fecha no ha habido biodegradación, pues las bacterias que degradan el petróleo consumen gran cantidad de oxígeno. Según los científicos, este proceso puede tardar aún muchos meses.

Las bacterias que degradan el petróleo metabolizan los hidrocarburos de cadena lineal de hasta 30 átomos de carbono con mayor facilidad que los compuestos aromáticos y los de cadenas ramificadas. Las bacterias más eficientes son de los géneros

*Bacillus* y *Marinococcus*. Sin embargo, la biodegradación en zonas profundas es un arma de dos filos porque, si bien elimina los hidrocarburos que son tóxicos para el ecosistema, consumen tal cantidad de oxígeno que pueden dejar una zona muerta por la falta de este gas.

### Epílogo

Después de la pesadilla del derrame en Macondo, pensaríamos que la exploración en aguas profundas se suspendería hasta que se dominara la tecnología para evitar accidentes como éste, pero no es así. Al agotarse las reservas en los yacimientos en tierra y los de aguas someras (menos de 400 metros de profundidad), el único recurso —y además económicamente muy productivo para las economías de los países que se pueden dar el lujo de hacer la exploración— está en aguas profundas, no obstante los riesgos. Según el Servicio para la Administración de Minerales de Estados Unidos, en el Golfo de México actualmente hay 31 perforaciones activas, mientras que en 1992 sólo había tres.

Las alternativas de energía limpia son muchas, pero aún están muy lejos de abastecer al mundo. Mientras más avanzado es el desarrollo de un país, mayor es su consumo de energía: hay más industrias, así como más gente con automóviles y aparatos que requieren energía.

En la actualidad nuestro planeta enfrenta dos problemas enormes que

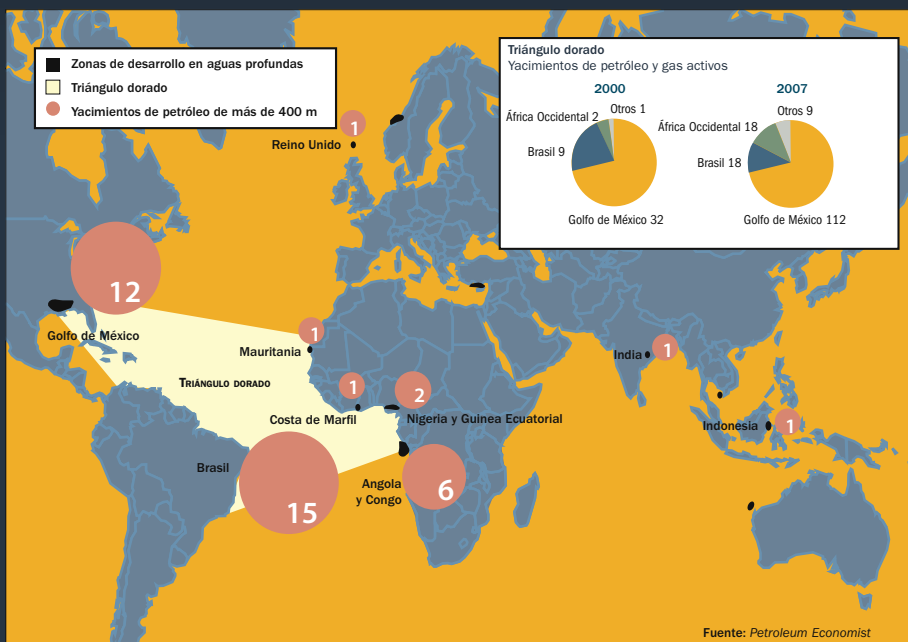
**MÁS INFORMACIÓN**

- [www.derrame.semarnat.gob.mx](http://www.derrame.semarnat.gob.mx)
- [www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010\\_268.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010_268.html)
- [www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010\\_294.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010_294.html)

requieren solución urgente: la necesidad de fuentes de energía y el calentamiento global. El interés de las compañías petroleras del mundo es extraer enormes cantidades de petróleo. La combustión de éste producirá una cantidad de dióxido de carbono que desencadenará un calentamiento irreversible del planeta. Sólo gestiones políticas de gran envergadura y una conciencia mundial sobre el consumo exagerado de energía podrían desviar los recursos destinados a extraer petróleo hacia la investigación y desarrollo de fuentes de energía limpias y renovables.

### 29 de septiembre, 2010

Un comité nombrado por la Academia Nacional de Ingenieros de Estados Unidos realizó un estudio de los procedimientos y acciones realizados antes y durante el derrame para conocer sus causas. Los resultados revelan que hubo error humano: los datos de pruebas de presión en la perforación fueron erróneamente interpretados por el personal de la plataforma. En tres ocasiones, los datos de los instrumentos que vigilan el pozo en tiempo real indicaron que la presión había aumentado cuando tendría que haber disminuido. El reporte revela que no se tomaron en cuenta factores como la fatiga de los trabajadores por jornadas excesivas de trabajo. Hace también mención de una cultura de seguridad deficiente. Lo demás ya es historia. 🐼



**guíadelmaestro**

**Para nuestros suscriptores**  
La presente edición va acompañada por una guía didáctica, en forma de separata, para abordar en el salón de clases el tema de este artículo.

Gertrudis Uruchurtu es química farmacobióloga. Durante 30 años fue maestra de química de bachillerato y es egresada del Diplomado de Divulgación de la Ciencia de la DGDC-UNAM.