

# **Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de derrames de petróleo en la plataforma marítima continental argentina**

Blanco, Gabriel; Keesler, Daniela; Giuliadori, Eugenia

Centro de Tecnologías Ambientales y Energía (CTAE)  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Av. del Valle 5737 - Olavarría, Argentina.  
E-mail: gblanco@fio.unicen.edu.ar

## **1. Introducción**

La actual exploración de hidrocarburos en la plataforma marítima continental argentina, con vistas a una futura explotación de gas natural y petróleo, genera preocupación por la posible alteración de los ecosistemas marítimos y costeros, en particular por la posibilidad de derrames de hidrocarburos.

El estudio que se presenta aquí estima la probabilidad de ocurrencia de derrames de petróleo<sup>1</sup>, a partir de estadísticas de otros países, para distintas capacidades de producción. Los resultados obtenidos podrían actuar como disparador para la aplicación del principio precautorio establecido en la Ley General del Ambiente No. 25.675.

## **2. Metodología utilizada**

### **2.1. Aplicación de modelo de Probabilidades de Poisson para la explotación de hidrocarburos en el Mar Argentino**

A partir de las estadísticas pertenecientes a las explotaciones offshore de los Estados Unidos y Brasil, se analiza la probabilidad de ocurrencias de derrames en la plataforma marítima

---

<sup>1</sup> Incluye derrames de petróleo y otros combustibles utilizados en las operaciones de explotación.

continental argentina, utilizando la función de distribución de probabilidades de Poisson (Anderson and Labelle, 2000)<sup>2</sup>, en función de la cantidad de petróleo producido. La distribución de Poisson se utiliza cuando los sucesos son impredecibles o de ocurrencia aleatoria. Según esta distribución, la probabilidad de que ocurran “n” derrames con un nivel de producción de hidrocarburos “t” está dada por:

$$P_{(n)} = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

Donde  $\lambda$ , llamado ratio de derrames, es la relación histórica del número de derrames sobre la producción.

Se ha demostrado que la probabilidad de ocurrencias de derrames sigue una distribución de probabilidad de Poisson ya que cumple con las siguientes características:

- $P(0) = 1$  para  $t = 0$ . Es decir, la probabilidad de que no haya derrames es 100% si no hay producción.
- El proceso tiene incrementos independientes (el número de derrames ocurridos para cualquier intervalo dado no depende de los intervalos anteriores o siguientes).
- El número de eventos en cualquier nivel de producción  $t$  debe tener una distribución de probabilidades de Poisson con una media de  $\lambda t$  (este proceso debe tener incrementos estacionarios<sup>3</sup> donde el número de derrames que ocurren en cualquier intervalo depende solo de la longitud del intervalo).

En el presente estudio se utilizan distintas bases de datos de series históricas de derrames de hidrocarburos para estimar la probabilidad de ocurrencia de “n” derrames en el Mar Argentino, utilizando distintos valores de  $\lambda$  para distintas condiciones:

- $\lambda$  calculado a partir de la cantidad total de derrames en el mar de EEUU
- $\lambda$  calculado a partir de la cantidad total de derrames en el mar de Brasil
- Dos valores de  $\lambda$  calculados a partir de considerar un corte en la magnitud de los derrames, considerando derrames menores y mayores a 1000 barriles (bbl), a partir de los datos de EEUU.

---

<sup>2</sup> Anderson and Labelle, 2000. Update of Comparative Occurrence Rates for Offshore Oil Spills. Spill Science & Technology Bulletin, Vol.6, No.5/6, pp. 303-321, 2000.

<sup>3</sup> Incrementos estacionarios: el número de eventos que tienen lugar en un intervalo es el mismo en intervalos de igual longitud.

## 2.2. Análisis de accidentes ambientales por derrames de petróleo y diésel en Estados Unidos

En primer lugar se realizó un análisis de los registros y estadísticas históricas de derrames en las operaciones offshore de Estados Unidos según el Bureau of Safety and Environmental Enforcement (BSEE, 2016)<sup>4</sup>. A continuación, se presentan gráficos con un resumen de estas estadísticas.

En la Figura 1 se muestran los derrames de petróleo ocurridos en plataformas offshore en los Estados Unidos en el período comprendido entre 1964 y 2015, expresado en barriles de petróleo (bbl), sin incluir el incidente en el Golfo de México de la Plataforma Deepwater Horizon ocurrido en 2010.

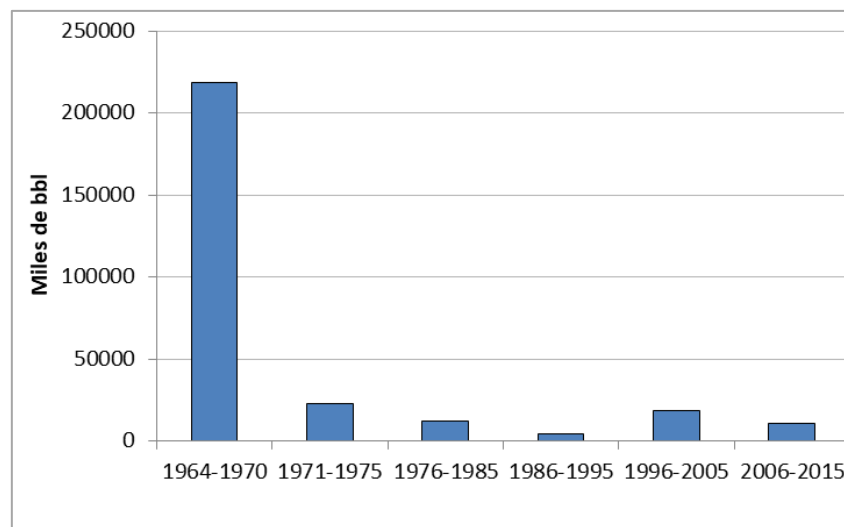


Figura 1. Derrames de petróleo en el offshore EEUU entre 1964 y 2015 expresados en barriles de petróleo (bbl)

La Figura 2 muestra el ratio entre los derrames ocurridos y la producción total de petróleo para cada período. El ratio se muestra en barriles de petróleo derramado por cada mil millones de barriles producidos en el mismo período. Este gráfico tampoco incluye el incidente de Deepwater Horizon de 2010 cuya magnitud fue de más de 4,9 millones de barriles derramados, el más grande de la historia (sin contar los derrames intencionales en el Golfo de Pérsico durante la Guerra del Golfo en la década del 90), dado que distorsionaría las estadísticas al considerarlo.

<sup>4</sup> BSEE, 2016. 2016 Update of Occurrence Rates of Offshore Oil Spills. Bureau of Safety and Environmental Enforcement. (<https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/osrr-oil-spill-response-research/1086aa.pdf>) Última consulta 20/10/2020.

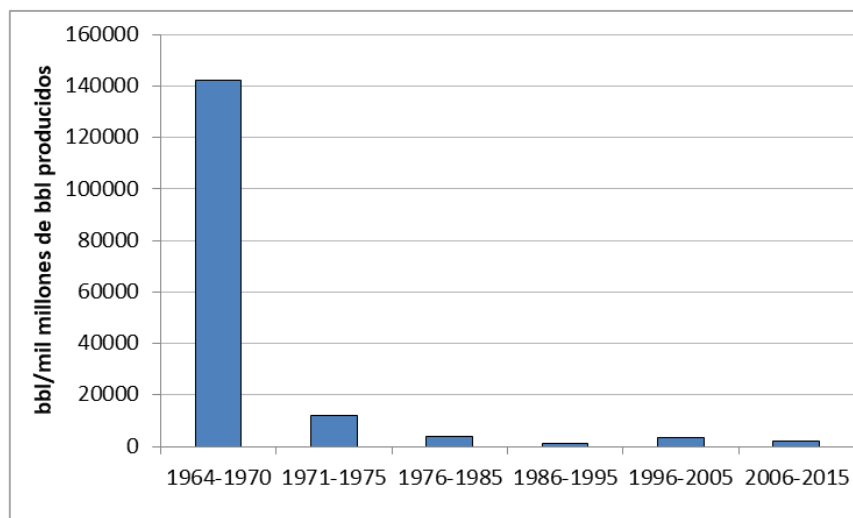


Figura 2. Barriles derramados por cada mil millones de barriles producidos en EEUU entre 1964 y 2015

Las Figuras 3 y 4 muestran los mismos datos, pero incluyendo el incidente de Deepwater Horizon (DWH).

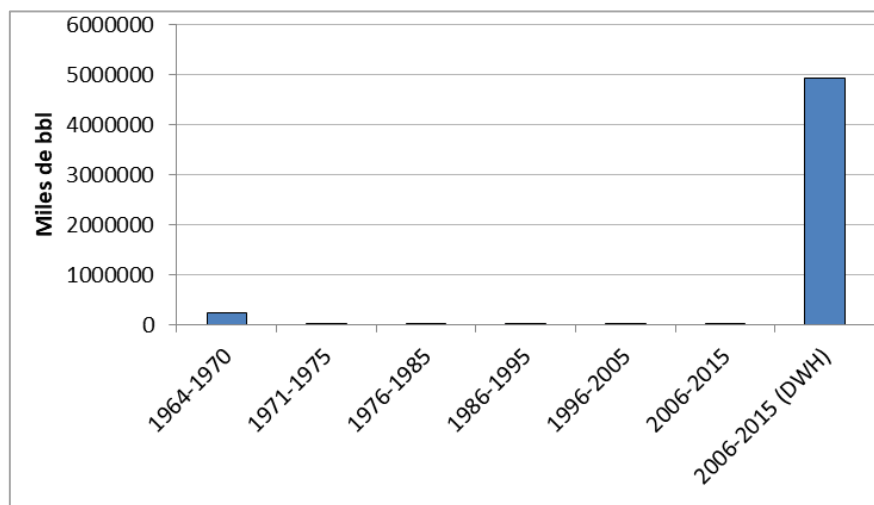


Figura 3. Derrames de petróleo en el offshore EEUU entre 1964 y 2015 expresados en barriles de petróleo (bbl) incluyendo el incidente de Deepwater Horizon (2010)

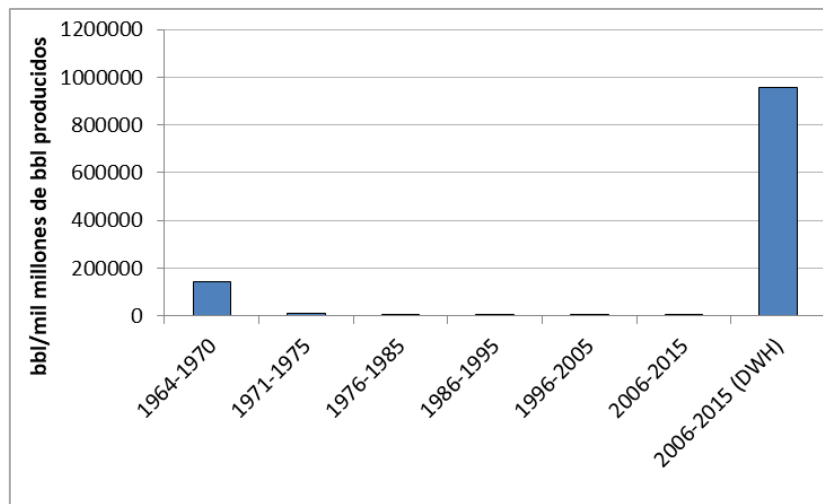


Figura 4- Barriles derramados por cada mil millones de barriles producidos en EEUU entre 1964 y 2015 considerando el incidente de Deepwater Horizon (2010)

La Figura 5 muestra la cantidad de derrames, es decir cantidad de eventos, ocurridos en Estados Unidos entre 1964 y 2015, totales y diferenciados por tamaño del derramen, se consideran derrames menores a los de menos de 999 bbl y mayores a los derrames iguales o mayores a 1.000 bbl.

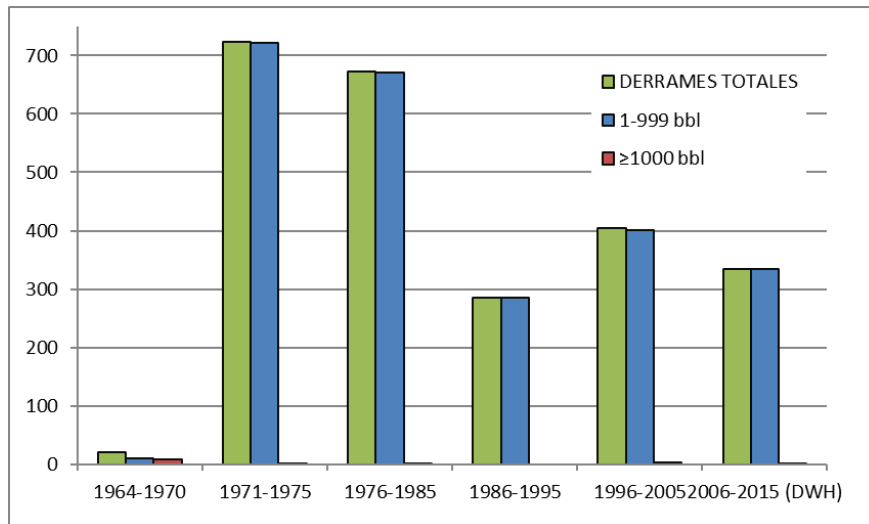


Figura 5. Cantidad de total de derrames en el mar de EEUU y segmentados por tamaño, menor de 999 bbl y mayor o igual a 1.000 bbl

### 2.3. Análisis de accidentes ambientales por derrames de petróleo y diesel en Brasil

Del mismo modo que se analizaron los accidentes ambientales por derrames en las explotaciones offshore de Estados Unidos, se analizan los eventos sucedidos en Brasil, graficados en la Figura 6. Los valores de producción offshore fueron obtenidos de la Agencia Nacional del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles de Brasil (ANP<sup>5</sup>) y las estadísticas de accidentes ambientales por derrames en las explotaciones offshore fueron extraídas del informe de Seguridad Operacional 2020 de la ANP<sup>6</sup>.

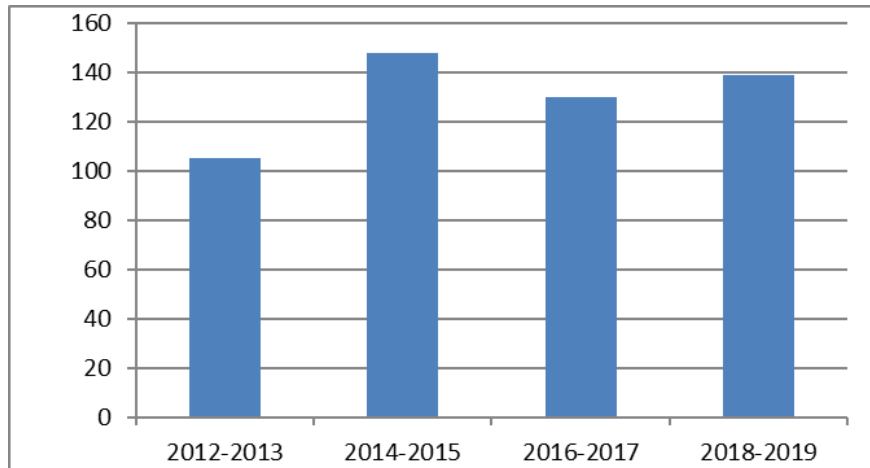


Figura 6. Cantidad de derrames de petróleo y diésel en las explotaciones offshore en el mar de Brasil

## 3. Resultados

### 3.1. Cálculo de probabilidades de ocurrencia de derrames en el Mar Argentino

Se toman como niveles de producción posibles de hidrocarburos en el Mar Argentino los escenarios prospectivos de reservas y explotación offshore (2025-2050) del documento *Estimaciones del potencial económico del océano en la Argentina*, elaborado en el marco del proyecto Pampa Azul<sup>7</sup> (Tabla 1).

<sup>5</sup> Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>. Consultada 26/06/2021

<sup>6</sup> Relatório anual de segurança operacional das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural 2020 - Superintendência de Segurança Operacional e Meio Ambiente - ANP

<sup>7</sup> Baruj y Drucaroff, 2016. CIECTI (Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación). Estimaciones del potencial económico del océano en la Argentina.

Tabla 1. Escenarios de reservas y explotación de petróleo (2025-2050)

En millones de barriles.

Fuente: Pampa Azul (Baruj y Drucaroff, 2016)

Año	Escenario		
	Bajo	Medio	Alto
2025	57	333	2667
2030	57	333	2667
2035	230	1334	10666
2040	230	1334	10666
2045	57	333	2667
2050	57	333	2667
<b>Total</b>	<b>688</b>	<b>4000</b>	<b>32000</b>

Tomando, en primer lugar, sólo los escenarios de baja y media producción, en el Mar Argentino y los valores de ratio de derrames, obtenidos a partir de las estadísticas de accidentología ambiental en otros países, se obtienen las siguientes estimaciones de derrames en el Mar Argentino.

### 3.1.1. Cálculo de probabilidad de derrames, a partir del ratio de derrames de estadísticas de EEUU

En las Tabla 2 se muestra el valor de  $\lambda$  para derrames totales, dando como resultado un valor promedio para  $\lambda$  en este caso, de 127,9 y mediana 75,7.

Tabla 2. Ratio de derrames ( $\lambda$ ) en cantidad de eventos por cada mil millones de barriles de petróleo producido (EEUU)

	PERÍODO						
	1964-1970	1971-1975	1976-1985	1986-1995	1996-2005	2006-2015 (DWH)	2006-2015
Cantidad de Derrames	20	723	673	286	404	335	334
Producción (Bbbl)	1.54	1.87	3.22	3.53	5.34	5.14	5.14
$\lambda$	12.99	386.63	209.01	81.02	75.66	65.18	64.98

Para evaluar la posibilidad de derrames en el Mar Argentino se utiliza el valor de la mediana de los datos de EEUU, con el fin de evitar posibles sesgos generados por valores extremos y, al mismo tiempo, ubicarnos en un escenario conservador. Con este valor de ratio de derrames se obtiene la Figura 7, donde se puede observar la distribución de probabilidades de ocurrencia de "n" derrames para cada nivel de producción. La sumatoria de todas las probabilidades, representada por el área debajo de cada curva, es 100%.

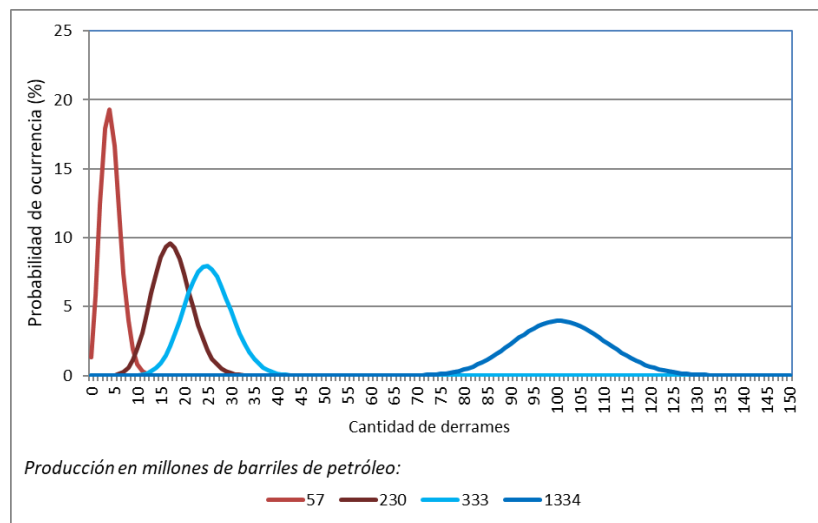


Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de “n” derrames para cada nivel de producción, a partir de estadísticas de EEUU.

La Figura 8 muestra esta distribución de probabilidades de forma acumulada, es decir la probabilidad de que “n” derrames o menos ocurran, para cada nivel de producción. Por ejemplo, en el inicio del régimen de baja producción previsto por el informe mencionado de Pampa Azul (57 Mbbl) hay un 98,66% probabilidad de que ocurra al menos 1 derrame, para luego alcanzar el 100% de probabilidad de derrames unos años después. Para regímenes mayores de producción, por ejemplo, tomando el escenario medio de Pampa Azul, cuando este alcance su pico (1334 Mbbl), existe una probabilidad de 100% de que ocurran al menos 59 derrames.

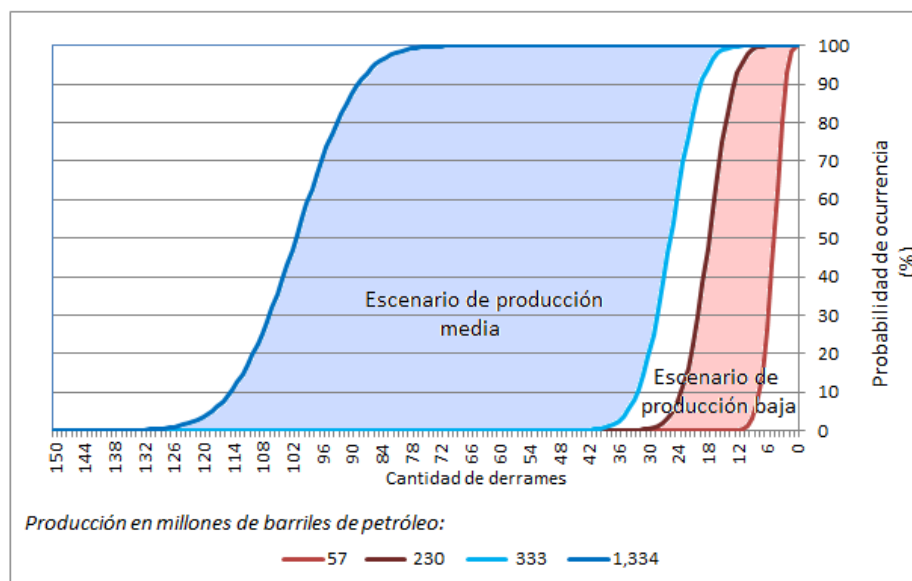


Figura 8- Distribución acumulada de probabilidades de ocurrencia de derrames para cada nivel de producción, a partir de estadísticas de EEUU.



### 3.1.2. Cálculo de probabilidad de derrames, a partir del ratio de derrames de estadísticas de Brasil

En la Tabla 3 se muestran los valores de  $\lambda$  para derrames para el período en estudio en Brasil (2012-2019). De allí se obtiene un valor promedio de  $\lambda$ , en este caso de 79,2 y la mediana 75,4.

Tabla 3. Ratio de derrames ( $\lambda$ ) en cantidad de eventos por cada mil millones de barriles de petróleo producido

	PERÍODO			
	2012-2013	2014-2015	2016-2017	2018-2019
Cantidad de Derrames	105	148	130	139
Producción (Bbbl)	1.36	1.59	1.77	1.88
$\lambda$	77.01	92.91	73.24	73.80

Bajo el mismo tipo de análisis que se realizó a partir de las estadísticas de los EEUU, considerando como valor de  $\lambda$  la mediana obtenida, las Figuras 9 y 10 muestran la distribución de probabilidades de ocurrencia de “n” derrames para cada nivel de producción y su acumulada, respectivamente (derrames de cualquier tamaño, sin distinguir magnitud). Nuevamente, La sumatoria de todas las probabilidades, representada por el área debajo de cada curva, es 100%.

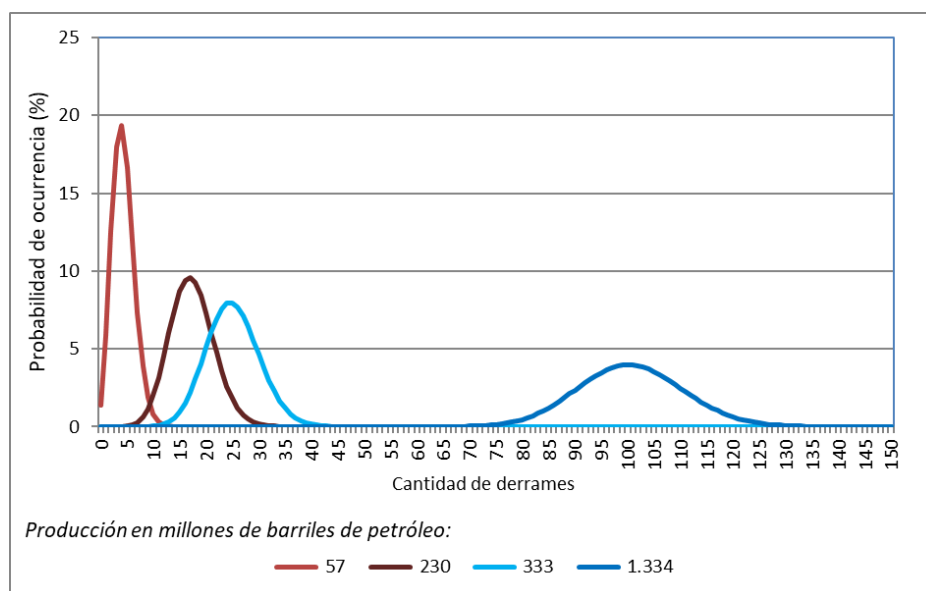


Figura 9. Probabilidad de ocurrencia de n derrames para cada nivel de producción en miles de millones de petróleo, a partir de estadísticas de Brasil

Nuevamente, la Figura 10 muestra esta distribución de probabilidades de forma acumulada. En este caso, por ejemplo, en el inicio del régimen de baja producción previsto por el informe

mentado de Pampa Azul (57 Mbbl) hay un 98,64% probabilidad de que ocurra al menos 1 derrame, para luego alcanzar el 100% de probabilidad de derrames un tiempo después. Para regímenes mayores de producción, por ejemplo, tomando el escenario medio de Pampa Azul, cuando este alcance su pico (1334 Mbbl), existe una probabilidad de 100% de que ocurran al menos 59 derrames.

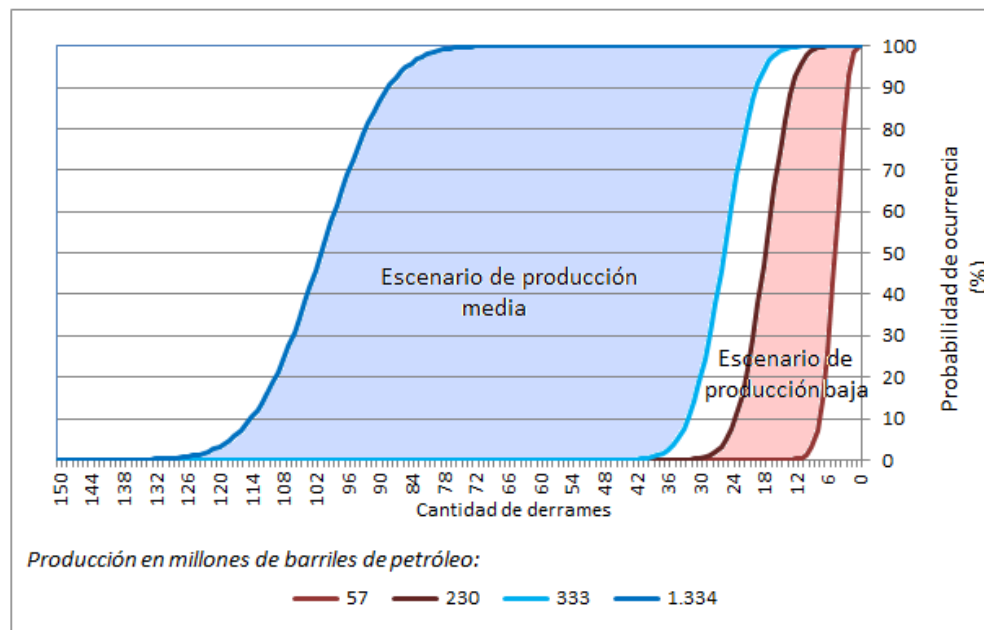


Figura 10. Distribución acumulada de probabilidades de ocurrencia de derrames para cada nivel de producción, a partir de estadísticas de Brasil

#### Comparación de resultados con estadísticas de EEUU y Brasil

Dado que fue posible estimar la probabilidad de ocurrencia de derrames en el Mar Argentino a partir de un modelo probabilístico calculado con valores de referencia de  $\lambda$ , obtenidos de estadísticas de EEUU y Brasil, se realiza una comparación de ambos resultados a fin de evaluar la validez del método y los países que se utilizaron para el modelo. En la Figura 11 se muestra el solapamiento de ambos resultados (sin discriminar por la magnitud de los derrames), donde puede observarse que el resultado prácticamente no se modifica utilizando estadísticas oficiales de uno u otro país. En la gráfica se establecen los escenarios bajos y medios de producción.

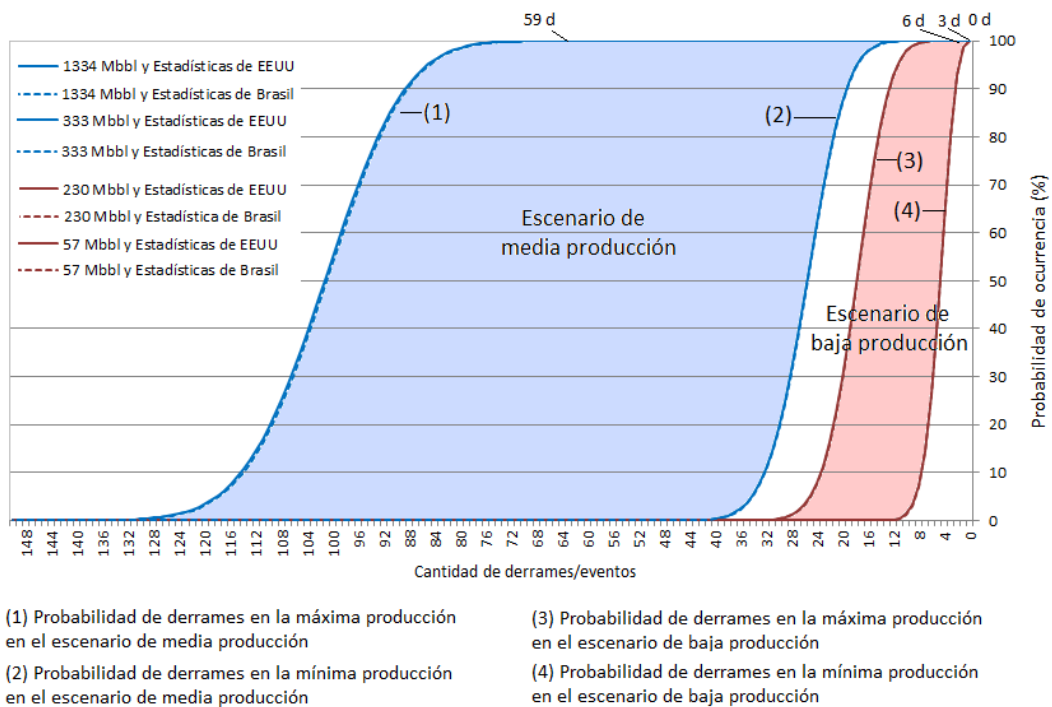


Figura 11. Comparación de distribución acumulada de probabilidades de ocurrencia de derrames para cada nivel de producción, estimadas a partir de estadísticas de EEUU y Brasil

El hecho de que se hayan obtenido valores coincidentes de las probabilidades de derrames, a partir de las bases de datos de dos países de características diferentes, valida el modelo utilizado.

### 3.1.3. Probabilidades de ocurrencia de derrames según su magnitud a partir de estadísticas de EEUU

A continuación, se estima el ratio de derrames y la cantidad de derrames según su magnitud (mayores y menores a 1.000 bbl):

- Para derrames mayores, el promedio de  $\lambda$  es de 1,4 y la mediana 0,6.
- Para derrames menores, el promedio de  $\lambda$  es 137 y la mediana 78,1.

Tabla 4. Ratio de derrames ( $\lambda$ ) en cantidad de eventos por cada mil millones de barriles de petróleo producido para derrames mayores o iguales a 1000 bbl. (EEUU)

	PERÍODO					
	1964-1970	1971-1975	1976-1985	1986-1995	1996-2005	2006-2015 (incl. DWH)
Derrames $\geq 1000$ bbl	9	2	2	0	3	1
Producción (MMbbl)	1.54	1.87	3.22	3.53	5.34	5.14
$\lambda$ ( $\geq 1000$ bbl)	5.8	1.1	0.6	0.0	0.6	0.2

Tabla 5. Ratio de derrames ( $\lambda$ ) en cantidad de eventos por cada mil millones de barriles de petróleo producido para derrames menores a 1000 bbl. (EEUU)

	PERÍODO					
	1964-1970	1971-1975	1976-1985	1986-1995	1996-2005	2006-2015 (incl. DWH)
Derrames $< 1000$ bbl	11	721	671	286	401	334
Producción (MMbbl)	1.54	1.87	3.22	3.53	5.34	5.14
$\lambda$ ( $< 1000$ bbl)	7.1	385.6	208.4	81.0	75.1	65.0

En concordancia con los análisis anteriores se utiliza para  $\lambda$  el valor de la mediana.

#### Probabilidad de ocurrencia de derrames menores a 1.000 bbl

La Figura 12 muestra la distribución de probabilidades de ocurrencia de “n” derrames menores a 1.000 bbl para cada nivel de producción.

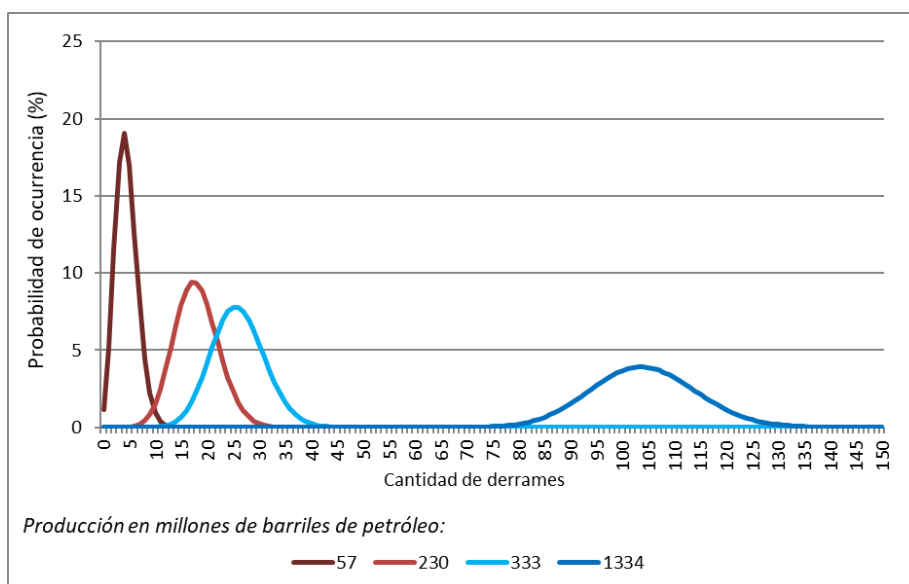


Figura 12. Probabilidad de ocurrencia de “n” derrames menores 1.000 bbl para cada nivel de producción en miles de millones de petróleo

De la Figura 12 se observa que para un nivel de producción de 1.350 millones de barriles como sería el pico proyectado en el escenario de producción media, ocurrirían entre 85 y 130 derrames menores a 1000 bbl.

En la Figura 13 se muestra la distribución de probabilidades acumulada de derrames menores a 1.000 bbl para cada nivel de producción. A medida que se aumenta el nivel de producción la curva de probabilidades se mueve hacia la izquierda, hacia un mayor número de eventos posibles. Se observa que para una producción de 1.350 millones de barriles existe una probabilidad cercana al 100% de que ocurran al menos 80 derrames de menos de 1.000 bbl, y 50% de probabilidades de que esa cantidad de derrames llegue a 100. Para niveles de producción mayores, la probabilidad de un número mayor de derrames aumenta ampliamente.

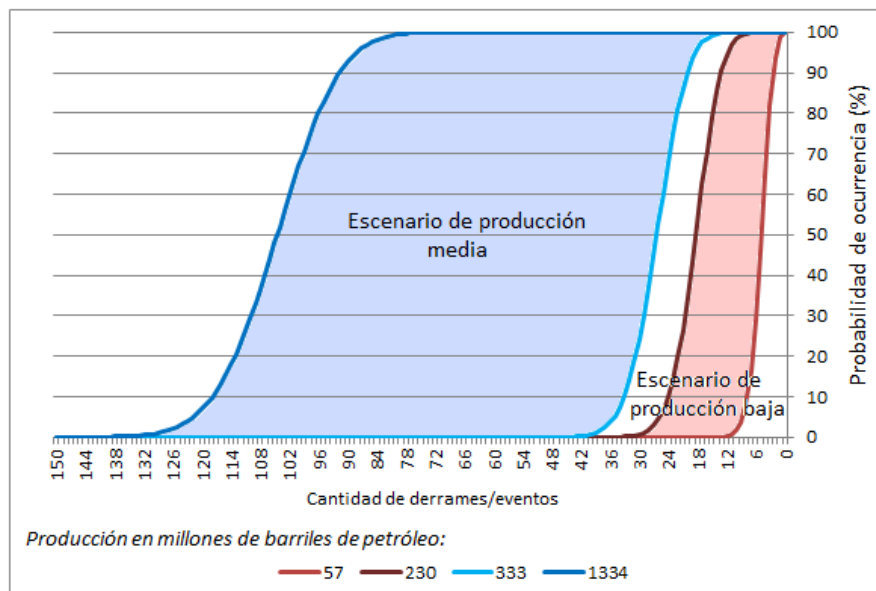


Figura 13. Distribución acumulada de probabilidades de ocurrencia de derrames menores a 1000 bbl para cada nivel de producción

#### Probabilidad de ocurrencia de derrames mayores a 1.000 bbl

De la misma manera se realiza el análisis para derrames mayores o iguales a 1.000 bbl, la Figura 14 muestra la distribución de probabilidades de ocurrencia de “n” derrames mayores a 1.000 bbl para cada nivel de producción.

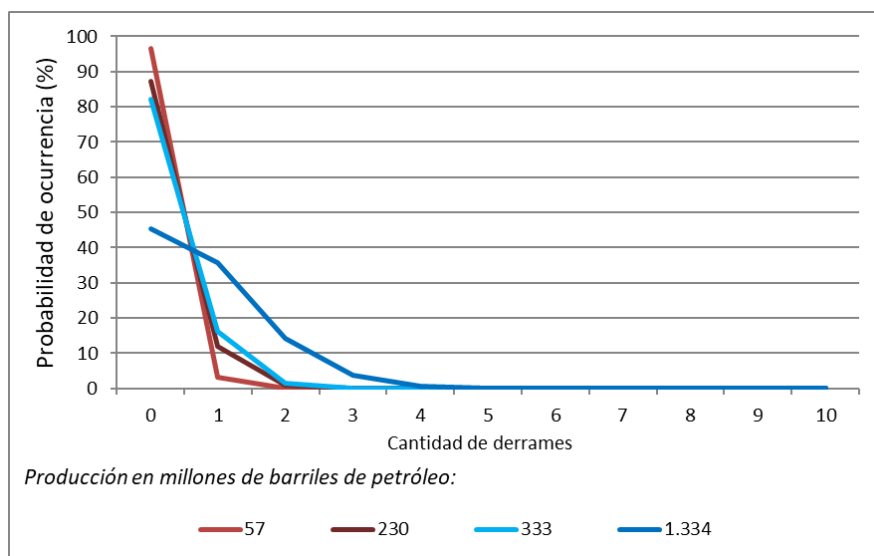


Figura 14. Probabilidad de ocurrencia de "n" derrames mayores a 1.000bbl para cada nivel de producción

Para un nivel de producción menor, de hasta 333 millones de barriles (mínimo de producción prevista en el escenario medio), la cantidad de derrames probables de dimensiones mayores a 1000 bbl se mueve entre 0 y 3 eventos y para la máxima producción del escenario medio (1.334 millones de barriles) llega hasta 5 eventos probables.

En la Figura 15 se muestra la distribución de probabilidad acumulada de derrames para cada nivel de producción.

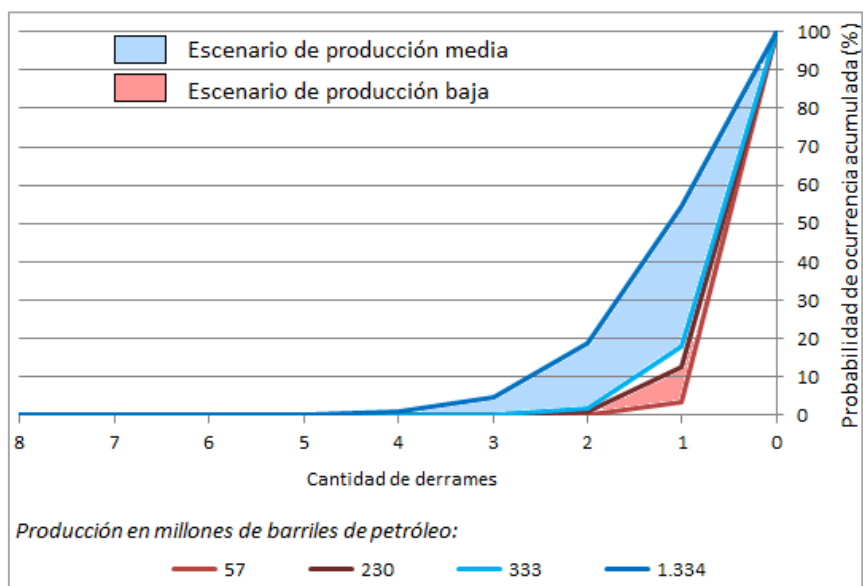


Figura 15. Distribución acumulada de probabilidades de ocurrencia de derrames mayores a 1.000 bbl para cada nivel de producción

Habiendo validado la metodología utilizada para los niveles de producción bajo y medio de los escenarios de Pampa Azul, en la siguiente sección se incorpora al análisis el escenario de alta producción, y se analizan la probabilidad de derrames mayores o iguales a mil barriles de petróleo que podrían presentarse.

*Probabilidades de ocurrencia de derrames mayores a 1.000 bbl en el escenario de alta producción*

El escenario de alta producción planteado en el proyecto Pampa Azul para la producción offshore en el Mar Argentino, alcanza un pico de 10.666 millones de barriles por año. La probabilidad de que ocurra una cantidad “n” de derrames se distribuye de la siguiente manera:

*Tabla 6. Distribución de probabilidades de ocurrencia de derrames para una producción de 10.000 millones de barriles*

<b>Cantidad “n” de derrames</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia (%)</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia acumulada (%)</b>
20	0,00	0,00
19	0,00	0,00
18	0,01	0,01
17	0,02	0,03
16	0,05	0,09
15	0,14	0,22
14	0,33	0,55
13	0,73	1,29
12	1,51	2,80
11	2,87	5,67
10	5,01	10,68
9	7,94	18,62
8	11,33	29,95
7	14,36	44,31
6	15,94	60,25
5	15,16	75,41
4	12,02	87,43
3	7,62	95,05
2	3,62	98,67
1	1,15	99,82
0	0,18	100,00

A medida que se aumenta el nivel de producción la distribución de probabilidades se desplaza hacia la izquierda, es decir la cantidad de que ocurran más cantidad de eventos (derrames) aumenta. Esto se puede leer de la siguiente manera, para una producción de 10.666 millones de barriles anuales, por ejemplo, la probabilidad de que ocurra al menos un derrame mayor a 1.000 bbl es de casi el 100% y la probabilidad de que ocurran al menos 6 derrames mayores a 1.000 bbl es del 60%. Y existe una probabilidad mayor que cero de que ocurran hasta 13 derrames de esta magnitud.

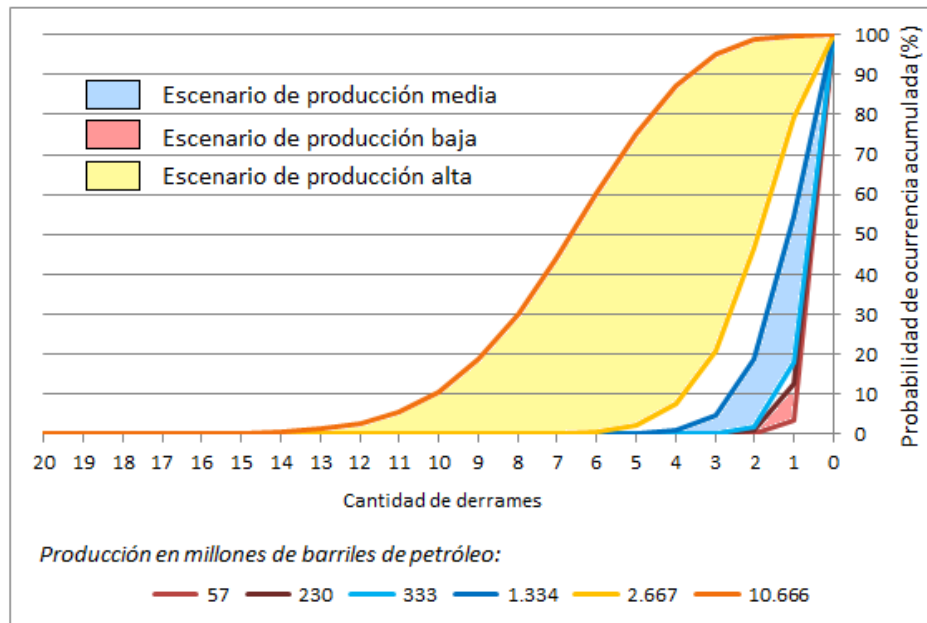


Figura 16. Distribución de probabilidades acumulada de ocurrencia de derrames

#### 4. Consideraciones finales

La evaluación realizada muestra la probabilidad de ocurrencia de derrames para diferentes niveles de producción de petróleo offshore obtenida a partir de más de 50 años de datos estadísticos. Los resultados revelan que, para algunos niveles de producción estimados para la plataforma argentina, la ocurrencia de derrames es del 100%, incluso de derrames de gran magnitud, mayores a 1.000 bbl.

El cálculo de probabilidad fue realizado con un criterio conservador, dado que se asumió la utilización de **la mediana de  $\lambda$  y no su promedio**, cuya utilización daría valores aún superiores de probabilidad de ocurrencia de derrames.

Otro aspecto a tener en cuenta es que sólo se han contemplado los accidentes ambientales por derrames de petróleo y combustible de proceso (diésel); es decir, no se han contemplado accidentes ambientales, habituales en las explotaciones offshore, por derrames de otros



productos químicos asociados al proceso, de origen oleoso o sintéticos que afectarían del mismo modo al ecosistema marino.

Debe tenerse en cuenta que este trabajo predice la probabilidad de ocurrencia de derrames a partir de estadísticas de explotaciones offshore de países como Estados Unidos y Brasil que lleva décadas realizando explotación offshore.

Las probabilidades de derrames mostradas, que llegan a la certeza de ocurrencia para ciertos casos, debería ser causal de aplicación del **principio precautorio** establecido en la Ley General del Ambiente No. 25.675, el cual establece que *“cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente”*.

## **Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de derrames de petróleo en la plataforma marítima continental argentina**

Blanco, Gabriel

Keesler, Daniela

Giuliodori, Eugenia

***Centro de Tecnologías Ambientales y Energía (CTAE)***

***Facultad de Ingeniería***

***Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires***

*Julio 2021*