

# **Manual de Instalación y Uso de la Versión Editable de la Calculadora para el Consumo de Agua para Fracking**

**CartoCrítica A.C.**

# Índice

<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>Instalación</b>	<b>4</b>
<b>Descripción General de la Calculadora</b>	<b>7</b>
1) Especificaciones del Modelo	7
2) Ingreso de Datos	9
3) y 4) Determinación de Escenarios y Parámetros	10
5) Resultados	10
<b>Ejemplos</b>	<b>12</b>
1) Método por Área	13
2) Método por Volumen	16
3) Comparación y Discusión de los Métodos	18
<b>Comentarios Finales</b>	<b>22</b>

## Introducción

La [calculadora para el consumo de agua para fracking](#) es una herramienta fácil de utilizar y cuyo objetivo es dar una estimación de la cantidad de agua requerida para extraer petróleo y gas mediante la fractura hidráulica o *fracking*<sup>1</sup>. Si bien determinar la cantidad de agua que se requiere para fracking no es una tarea sencilla debido a que existen una gran cantidad de variables - geológicas, económicas, técnicas, sociales y ambientales- involucradas en ello, es posible simplificar la tarea al hacer suposiciones tales como lo son el asumir que el comportamiento de los pozos que van a ser empleados en el proceso de explotación va a ser similar al de otros pozos sobre los cuales sí se tienen datos medidos, observados y reportados. Bajo esta premisa, y en términos muy simples, la calculadora busca resolver la siguiente expresión:



En dicha expresión, el volumen total de agua requerido resulta de multiplicar el número total de pozos que van a ser empleados, perforados y fracturados, por la intensidad de agua de cada uno de esos pozos. Dicho de otra manera, este valor de intensidad de uso de agua nos habla de los requerimientos hídricos que son necesarios para operar cada uno de los pozos perforados, y es un valor que se conoce de manera empírica y se determina a partir de datos de campo procedentes de distintas cuencas petroleras en donde se explotan recursos no convencionales. Por su parte, la determinación del número de pozos requeridos se puede realizar mediante dos procedimientos distintos, cuál de ellos elegir dependerá en gran medida de la información disponible para quien utiliza la calculadora (ver sección [metodológica](#)).

Es claro que el procedimiento aquí expuesto resulta demasiado práctico y sencillo, pues en una simple operación permite dar estimaciones de los requerimientos hídricos asociados al fracturamiento hidráulico, sin embargo y como ya lo hemos dicho arriba, debe ser claro que en la realidad la determinación de estos requerimientos hídricos es mucho más compleja debido a la gran cantidad de factores que se deben tener en cuenta. Lo que aquí se propone no pretende sustituir de ninguna manera ni servir como base de un estudio técnico para la evaluación de un

<sup>1</sup> *La fracturación hidráulica o fracking consiste en la inyección de grandes volúmenes de agua sometida a altas presiones dentro de los pozos petroleros para fracturar las rocas con poca o nula permeabilidad que contienen gas o petróleo. Con lo anterior se consigue crear condiciones de comunicación hidráulica que naturalmente no existen en la roca contenedora y con ello permitir el flujo de los hidrocarburos de la roca al pozo y del pozo a superficie. Además de agua, se inyectan diversos compuestos químicos tóxicos y granos de arena que fungen como apuntalantes para mantener abiertas las fracturas.*

proyecto de explotación de recursos petroleros no convencionales, por el contrario, lo que se busca con la calculadora es brindar una herramienta accesible que permita generar información veraz y sustentada sobre el consumo de agua que estas actividades pueden llegar a significar para una región en donde se pretende su explotación y con ello generar diálogo y discusión alrededor del tema.

Con objeto de generar valores de requerimiento de agua que capturen la complejidad que ello significa en la realidad, se utilizan intervalos definidos por valores mínimos y máximos para las distintas variables involucradas en los cálculos realizados, de esta manera lo que se obtiene es un universo de resultados dentro del cual se espera se encuentren los requerimientos reales. En su versión en [línea](#) la calculadora está limitada en cuanto al universo de parámetros que pueden ser empleados al realizar los cálculos, ya que con el objetivo de mantener su uso lo más sencillo y amigable posible no se permite que los usuarios elijan valores para las variables involucradas como lo son: la productividad o densidad de los pozos y la intensidad de agua de los mismos; Por el contrario, se ofrecen valores típicos predeterminados para cada una de estas variables de tal manera que la calculadora pueda ser empleada de manera directa sin la necesidad de invertir tiempo buscando valores adecuados.

Dicha configuración de la calculadora puede no responder a las necesidades de todos los usuarios o interesados en realizar estimaciones sobre el consumo de agua asociado al fracking, por ejemplo, pudiera darse el caso de que quien emplea la herramienta cuente con valores para los parámetros involucrados que son característicos de la región en donde se pretender llevar a cabo la explotación petrolera y por tanto describen de mejor manera el caso de estudio que aquellos valores predeterminados en la calculadora en línea. Es por lo anterior que con el objetivo de ofrecer una mayor flexibilidad para los usuarios de la calculadora, se ha desarrollado una versión editable de la misma en la cual todos los parámetros involucrados son editables por el usuario, de tal forma que sea posible explorar intervalos más amplios o acotados de valores o, cuando existan, utilizar valores más adecuados para el caso que se intenta estudiar.

Para utilizar la calculadora tanto en su versión en línea como en la editable, es necesario contar con -al menos- uno de los siguientes datos sobre la región en la que se pretende hacer la estimación: 1) El área total de la región en donde se pretende llevar a cabo la explotación de petróleo y gas mediante fracking; o 2) El volumen total de petróleo o gas que existe -o se estima existe- en la región. Los resultados que arroja la calculadora pueden ser fácilmente comparados contra los volúmenes de disponibilidad de agua que existen en la región donde se pretende emplear fracking para que con ello se tenga claridad sobre si el uso de agua que ello conlleva implica poner en riesgo la disponibilidad de agua para otros usos o actividades que existen dentro de la región estudiada.

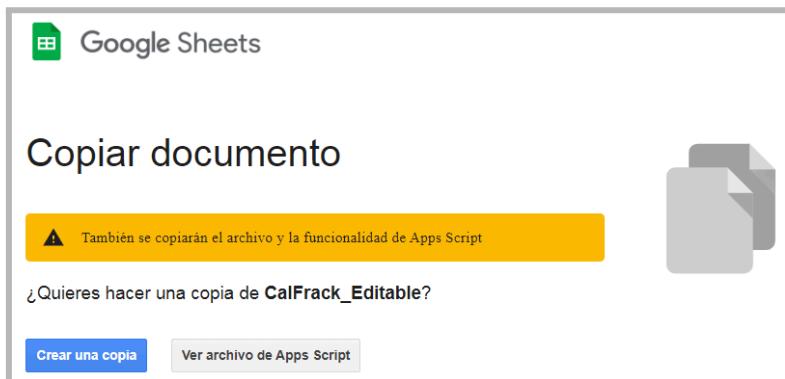
El presente documento constituye un manual de uso e instalación para la calculadora editable y se encuentra organizado de la siguiente manera: 1) se revisan y detallan los pasos para la instalación de la calculadora editable; 2) en la siguiente sección se da una descripción general de las secciones de la calculadora y su funcionamiento; 3) se documenta un ejemplo de uso de la calculadora y se discuten las diferencias que se observan al emplear alguna de las dos metodologías disponibles; y finalmente 4) se dan algunos comentarios finales.

## Instalación

La calculadora editable está completamente montada en una hoja de cálculo de la paquetería ofimática gratuita de Google -también conocida como Google Sheets-. Por lo anterior, para poder hacer uso de la herramienta es indispensable que el usuario cuente con una [cuenta](#) de usuario activa de Google, la cual le va a permitir tener acceso completo a la suite ofimática de Google y a otros servicios como el servicio de correo electrónico de Gmail<sup>2</sup>. Ya con la cuenta activa se debe generar una copia de la calculadora haciendo click en el enlace que aparece abajo inserto en la caja de texto:

[GENERAR COPIA DE  
CALCULADORA EDITABLE](#)

Al hacer click en el enlace se abrirá una nueva ventana en el navegador en donde se podrá observar una página como la que se muestra en la [Fig.1](#), en donde se solicita al usuario dar consentimiento sobre la creación de una copia del archivo que contiene la versión editable de la calculadora de agua para fracking. Como se puede apreciar en la imagen, en el recuadro amarillo que aparece en esta nueva pagina se advierte que también se van a copiar los archivos y funcionalidad de “Apps Script”, esto se refiere a que no solo se va a crear una copia de la hoja de calculo sino que también se van a crear copias de las líneas de código que hacen posible su funcionamiento.

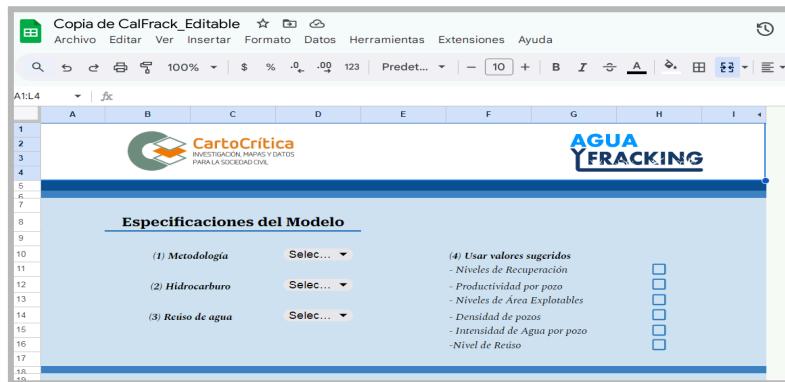


**Figura 1.** Página que solicita el consentimiento para generar copia de un archivo de la calculadora.

Al dar click en el botón de “Crear una copia” y otorgar el consentimiento la página va a actualizarse y entonces se podrá ver una página similar a lo que se muestra en la [Fig.2](#), la cual muestra la vista general de la copia de calculadora. Esta copia es única para cada usuario, de

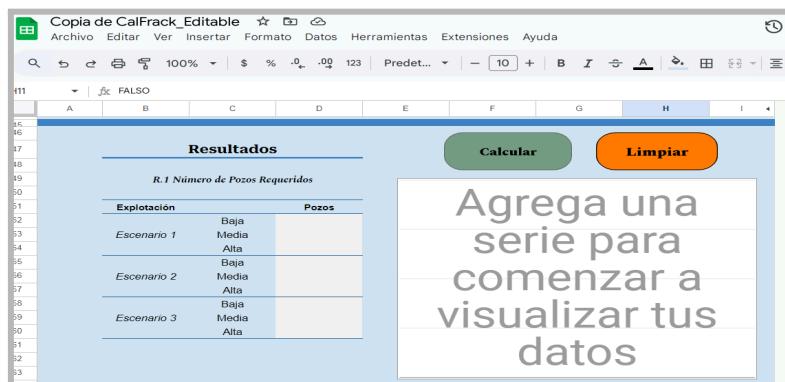
<sup>2</sup> Si el usuario ya cuenta con una cuenta de correo de Google, esto es, una cuenta con la terminación “@gmail.com” no es necesario que cree una cuenta nueva.

hecho, si se vuelve a hacer click sobre el enlace de generación se creará un archivo nuevo y así toda vez que se repita el proceso. Todos los archivos generados quedarán alojados en el servicio [Google Drive](#) el cual es el servicio de alojamiento que se otorga a todos los usuarios con cuenta de Google.



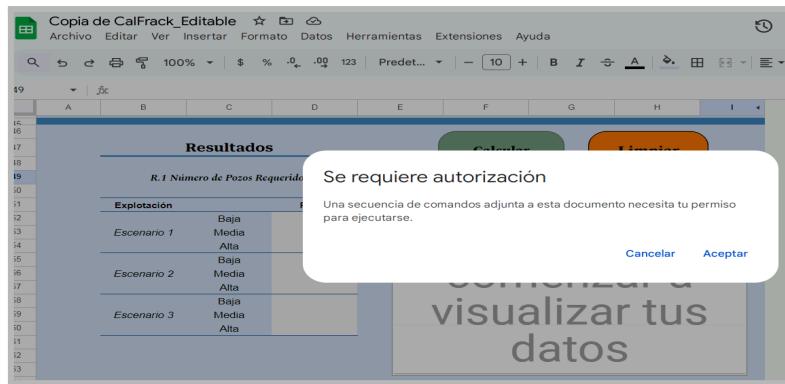
**Figura 2.** Vista general de la copia generada de la calculadora.

Una vez creada esta copia de calculadora el siguiente paso para su correcta instalación consiste en dar los permisos para que se puedan ejecutar sin problema los códigos que permiten el funcionamiento de la herramienta. Para ello el usuario deberá desplazarse hacia abajo en la hoja de cálculo que contiene a la calculadora hasta llegar a la sección de “Resultados” en donde aparecen los botones con las leyendas “Calcular” y “Limpiar”, ver **Fig. 3**.



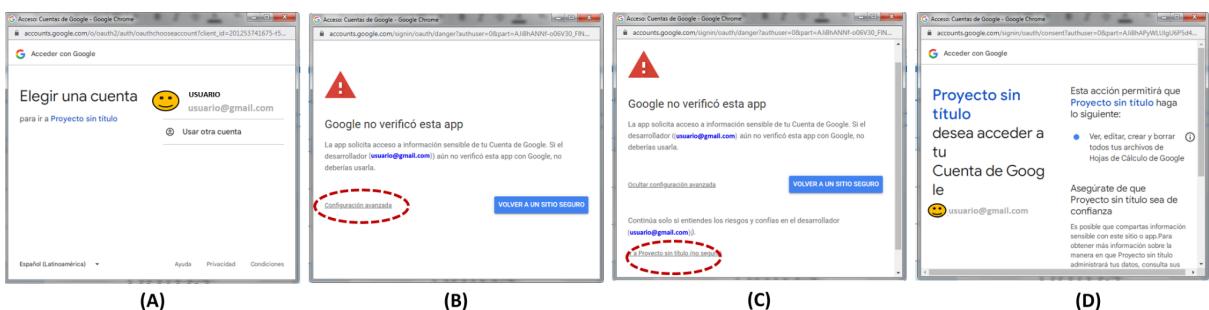
**Figura 3.** Sección de resultados que contiene los botones “Calcular” y “Limpiar”.

Una vez aquí se deberá dar click, en cualquier orden aunque para ambos botones, sobre el botón de “Calcular” y de “Limpiar”. Al realizar esto aparecerá un cuadro emergente en donde se indica que se requiere dar autorización para permitir la ejecución del código incorporado en la hoja de cálculo, ver **Fig.4**.



**Figura 4.** Ventana emergente de autorización de código.

Una vez aceptados los permisos se abrirá una ventana emergente en la cual se pide indicar la cuenta desde la cual se van a otorgar los permisos para el código (ver **Fig.5 A**), aquí se debe seleccionar la misma cuenta con la cual se generó la copia de la calculadora. Posteriormente se mostrará el mensaje de advertencia notificando que “Google no verificó esta app” (ver **Fig.5 B**) esto se debe a que la aplicación fue creada por un particular, en este caso CartoCrítica, en esta ventana se debe dar click en la leyenda “Configuración avanzada”, al realizar esto se mostrará la opción “Ir a proyecto sin título (no seguro)” y se debe dar click sobre el mismo (ver **Fig.5 C**). Finalmente la ventana emergente mostrará el contenido que aparece en la **Fig.5 D**, en esta ventana el usuario debe desplazarse hacia abajo y dar click en el botón que contiene la leyenda “Permitir”.



**Figura 5.** Secuencia de ventanas para dar permisos de uso sobre código incorporado en la hoja de cálculo.

Los pasos descritos anteriormente se deben realizar para ambos botones de la calculadora “Calcular” y “Limpiar”, una vez realizado esto la herramienta estará disponible para ser empleada. Quizá valga la pena anotar que si durante el uso normal de la calculadora volviera a presentarse alguna ventana de autorización como la que se muestra en la **Fig. 4**, simplemente se deben otorgar los permisos pertinentes para habilitar los códigos de operación.

# Descripción General de la Calculadora

La calculadora editable para el consumo de agua para fracking está compuesta por 5 secciones diferenciadas: **1) Especificaciones del Modelo; 2) Ingreso de Datos; 3) Determinación de Escenarios; 4) Parámetros; y 5) Resultados.** En lo que sigue se hace una descripción general de la función de cada una de estas secciones y como debe ser empleada por el usuario de la calculadora.

## 1) Especificaciones del Modelo

Está sección está compuesta de 4 partes (**Fig. 6**): 1) Metodología; 2) Hidrocarburo; 3) Reúso de agua; y 4) Usar valores sugeridos. Cada una de estas subsecciones tiene que ser configurada por el usuario según sus necesidades de estudio e información disponible.

En primer lugar se debe elegir una metodología. Como se explica con detalle en la [documentación metodológica](#) de la calculadora, existen básicamente dos maneras distintas para abordar el problema de la estimación del consumo de agua para fracking. En el primero de estos abordajes se parte del conocimiento de los valores del área territorial sobre la cual se pretende llevar a cabo la explotación o metodología por área. La segunda opción hace uso de la información sobre el volumen total de hidrocarburo -ya sea petróleo o gas- que se pretende explotar o que se estima existe en la región, esta es la metodología por volumen. Cuál de estas metodologías elegir dependerá en gran medida de la información disponible por el usuario, en muchos casos solo existirá o una u otra, y cuando ocurra que existen las dos quizás lo más conveniente sea explorar ambos métodos y comparar resultados (ver subsección de Comparación y Discusión en la sección Ejemplos).

Cuando la metodología a emplear es la del volumen entonces se tiene que configurar la segunda parte de esta sección de la calculadora, esto es la referente a “Hidrocarburo”. Aquí se tiene que especificar si el hidrocarburo a explotar es petróleo o se trata de gas, esta diferenciación se debe realizar debido a que los parámetros asociados a los pozos de gas y de petróleo son ligeramente diferentes. En el caso de la metodología por área esta diferenciación no se realiza ya que este método es insensible al tipo de hidrocarburo explotado.



**Figura 6.** Vista de sección sobre las especificaciones del modelo.

Ya especificada la metodología a emplear y el hidrocarburo a explotar cuando se trata del método por volumen, se debe especificar si es que se desea considerar “Reúso de agua”. Esta variable se considera para tener en cuenta que pueden existir distintos mecanismos que pueden llegar a disminuir la demanda de agua para fracking, por ejemplo, ya sea por qué se reutiliza parte del agua producida en otros pozos o por qué no se emplean fuentes de agua dulce. Para cualquier caso, la idea es introducir una variable que permita directamente observar cuál sería el efecto de disminuir la cantidad de agua demanda por cualquiera que sea mecanismo que se emplea para ello.

Finalmente, en esta sección se debe establecer si se desean emplear los valores sugeridos para todos los parámetros involucrados seleccionando la casilla correspondiente a cada uno de ellos (ver [Fig.6](#) arriba). Para el caso de la metodología por área los parámetros disponibles son: 1) Niveles de área a explotar, que se refiere al porcentaje o fracción del área total que se espera sea explotado; 2) la densidad de los pozos, que hace referencia a cuántos pozos existen por cada segmento de área, en este caso por cada kilómetro cuadrado; 3) la intensidad de consumo de agua de los pozos empleados; y finalmente, de ser el caso, 4) los niveles de reúso, que se refieren a un porcentaje en el cual es posible disminuir la demanda de agua. Los valores preestablecidos en la calculadora editable son los mismos que para la calculadora en línea y se pueden ver en la [Tabla 1](#), estos valores se encuentran dentro de los rangos que han sido reportados dentro de la literatura especializada en el tema (para mayor detalle ver la sección [metodológica](#) de la calculadora).

**Tabla 1.** Valores preestablecidos para los parámetros en el método por área.

Metodología	Hidrocarburo	Reúso de Agua	Niveles de Área Explotables	Densidad de Pozos [Pozo/Km <sup>2</sup> ]	Intensidad de Agua [m <sup>3</sup> /pozo]
Área	N.A.	0.15	Esc.1 0.25	Baja 0.5	8,500
			Esc. 2 0.5	Media 1	21,750
			Esc.3 1	Alta 1.5	35,000

Para la metodología por volumen los parámetros disponibles son: 1) Niveles de recuperación, que se refiere al porcentaje o fracción del volumen total que existe o se piensa explotar realmente se recupera; 2) la productividad de los pozos, que hace referencia a la cantidad de hidrocarburo que se puede recuperar por cada pozo perforado; 3) la intensidad de consumo de agua de los pozos empleados; y finalmente, de ser el caso, 4) los niveles de reúso, que se refieren a un porcentaje en el cual es posible disminuir la demanda de agua. Los valores preestablecidos en la calculadora

editable son los mismos que para la calculadora en línea y se pueden ver en la **Tabla 2**, estos valores se encuentran dentro de los rangos que han sido reportados dentro de la literatura especializada en el tema (para mayor detalle ver la sección [metodológica](#) de la calculadora).

**Tabla 2.** Valores preestablecidos para los parámetros en el método por volumen.

Metodología	Hidrocarburo	Reúso de Agua	Niveles de Recuperación	Productividad de Pozos [volumen /pozo]	Intensidad de Agua [m <sup>3</sup> /pozo]
				Baja 3.5	10,000
	Gas			Media 10	25,00
	[x10 <sup>9</sup> de pies cúbicos]		Esc.1 0.25	Alta 16	40,000
Volumen	0.15		Esc. 2 0.5		
			Esc.3 1	Baja 0.3	7,000
	Petróleo			Media 0.4	18,500
	[x10 <sup>6</sup> de barriles]			Alta 0.5	30,000

## 2) Ingreso de Datos

En este apartado (ver [Fig.7](#)) el usuario deberá ingresar los datos correspondientes al volumen a recuperar cuando la metodología empleada es la de volumen o en caso contrario, para el método por área, ingresar el valor del área total a explotar. Para el caso del volumen, si se tratase de petróleo este valor debe ingresarse en millones de barriles de petróleo [MMb]. Por otro lado, si se trabaja con gas, entonces el volumen debe estar especificado en miles de millones de pies cúbicos [MMpc]. Finalmente, si se está trabajando con el área de la región, este valor se debe ingresar en kilómetros cuadrados [Km<sup>2</sup>]. Durante el uso de la calculadora se van a ir mostrando a manera de texto las unidades en que los valores deben ser ingresados para permitir el correcto funcionamiento de la herramienta (ver sección Ejemplos).

**Ingreso de Datos**

(5) Volúmen Recuperable	<input type="text"/>	(5) Área explotable	<input type="text"/>
-------------------------	----------------------	---------------------	----------------------

**Figura 7.** Vista de sección sobre ingreso de datos.

### 3) y 4) Determinación de Escenarios y Parámetros

Estas secciones no deben ser modificadas a menos que se haya elegido no trabajar con los parámetros predefinidos, de ser esto último el caso, entonces el usuario deberá ingresar valores para los mismos. Cuando se trabaja con los valores preestablecidos estos aparecerán en las cajas de texto que se muestran en la **Fig.8**. En la sección metodológica de la calculadora se recopilan algunos valores típicos para los parámetros como la densidad, productividad e intensidad de agua para los pozos en donde se emplea fracking.

**Determinación de Escenarios**

Escenario_1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Escenario_2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Escenario_3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Factor de Reuso de Agua	<input type="text"/>	

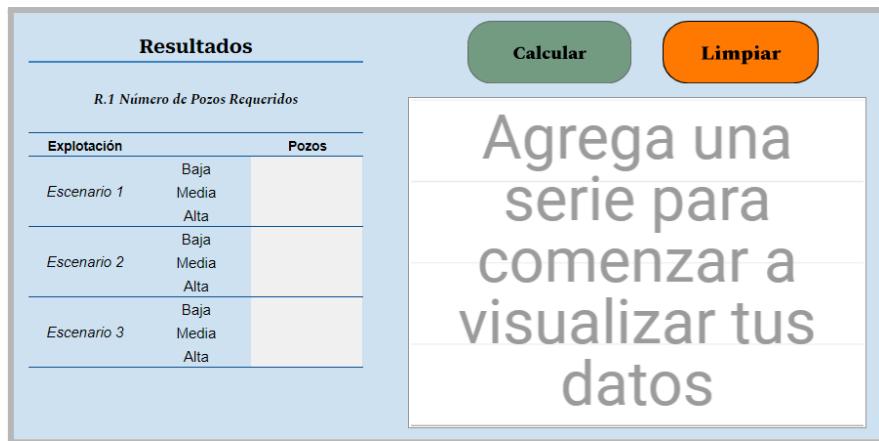
**Parámetros**

(7) Intensidad de Agua	<input type="text"/> [m <sup>3</sup> /pozo]	Baja	<input type="text"/>
Baja	<input type="text"/>	Media	<input type="text"/>
Media	<input type="text"/>	Alta	<input type="text"/>
Alta	<input type="text"/>		

**Figura 8.** Vista de sección sobre determinación de escenarios y parámetros.

### 5) Resultados

La última sección de la calculadora corresponde a la de los resultados (ver **Fig.9**). Aquí están alojados los botones de control de la herramienta y es aquí en donde aparecerán las estimaciones tanto del número de pozos requeridos como de la cantidad de agua que sería empleada por los mismos. Para el caso de los requerimientos de agua se construyen 3 escenarios distintos (bajo, medio y alto) los cuales se encuentran en función de cómo se combinan las variables involucradas.



**Figura 9.** Vista de sección sobre resultados.

En las tablas que aparecen en conjunto con los resultados también se muestra el nivel de parámetro que se está tomando en cuenta por la calculadora para llegar al dato calculado, por ejemplo, se especifica si este dato está asociado a una productividad baja, media o alta. En el caso de los volúmenes de agua se deja claro cómo se realiza la combinación de parámetros para llegar a cada uno de los escenarios que se calculan.

## Ejemplos

Para ejemplificar el uso de la calculadora para el consumo de agua para fracking se tomará como caso de estudio la región petrolera de Burgos, localizada al norte de México (ver [Fig.10](#)). La información disponible para la Cuenca de Burgos hace posible explorar y emplear las dos metodologías disponibles para estimar los requerimientos de agua para fracking. Primero, se emplea e ilustra el uso de la metodología por área en la cual la cantidad de pozos a perforar queda determinada por los valores de densidad de pozo. En segundo lugar, se utiliza la metodología por volumen en la cual la cantidad de pozos requeridos queda determinada por la productividad de los mismos. Para ambos casos, y con objeto de no extender más el presente manual, se utilizan los valores predefinidos en la calculadora para todos los parámetros involucrados. También, por simplicidad, en este ejemplo no se considera la existencia de reúso de agua que permita reducir los requerimientos hídricos. En la última sección se comparan y comentan los resultados obtenidos.



**Figura 10.** Cuencas petroleras en México<sup>3</sup>.

Los datos necesarios para estudiar esta región se muestran abajo en la [Tabla 3](#). Aquí el volumen se refiere al volumen de gas prospectivo, o dicho de otra manera, este es el volumen, que aunque no se ha determinado con certeza su existencia, a través de pruebas indirectas se estima que existe dentro de esta cuenca petrolera. Por otro lado, la superficie se refiere a la suma total de las áreas de aquellas regiones sobre las cuales se ha identificado este potencial de recurso petrolero no convencional.

<sup>3</sup> Retomado de: Flores Hernández, J.R., y Llano Vázquez Prada, M. (2024). [Estimación del consumo requerido de agua para la explotación de recursos petroleros no convencionales mediante fracturación hidráulica en México](#). México: CartoCrítica a.c.; Plataforma Nacional Energía Ambiente y Sociedad (Planeas); Pronace ecc-Conahcyt.

**Tabla 3.** Datos de la Cuenca Petrolera de Burgos.

Cuenca Petrolera	Hidrocarburo Principal	Volumen <sup>4</sup> estimado Miles de millones de pies cúbicos [MMpc]	Superficie <sup>5</sup> [km <sup>2</sup> ]
Burgos (México)	Gas	53,800	21,449

### 1) Método por Área

El primer paso consiste en especificar la metodología por emplear, en este caso se trata del método por área por lo cual esta es la metodología que se debe seleccionar en el apartado (1) (ver [Fig.11](#)). Como puede verse en la [Fig.11](#) la calculadora va a señalar en color verde los campos que requieren atención por parte del usuario, en este caso, se debe determinar si se considera reúso de agua y si se van a utilizar o no los parámetros sugeridos. Como hemos dicho antes por simplicidad, en este ejemplo no se van a considerar reúsos de agua y se van a emplear los parámetros preestablecidos. Por lo anterior en el apartado (3) se debe seleccionar la opción de “No” considerar y seleccionar las casillas de los parámetros señalados en verde que son aquellos que intervienen en este método (ver [Fig.11](#)).

**Figura 11.** Especificaciones de la metodología por Área.

En la siguiente sección se deben ingresar los datos sobre el área en la cual se llevaría a cabo la explotación de hidrocarburos (ver [Fig.12](#)), en este caso el valor corresponde a 21,449 [km<sup>2</sup>] (ver [Tabla 3](#)). Los escenarios de recuperación nos permiten explorar distintos niveles de explotación, en este caso como se están empleando los parámetros preestablecidos se especifica que en el escenario 1 solo se explotaría el 25% del área total, mientras que en el escenario 3 las actividades de explotación se llevan a cabo en el 100% del área (ver [Fig.12](#)). En las casillas ubicadas a la

<sup>4</sup> Valor tomado de ([Flores & Llano, 2024](#)). Ver nota al pie número 3.

<sup>5</sup> Valor tomado de: SENER (Secretaría de Energía) ([2019](#)). [Plan quinquenal de licitaciones para la exploración y extracción de hidrocarburos 2015-2019](#). Evaluación 2019. México: SENER.

derecha de los escenarios se muestran los datos sobre a qué número de kilómetros cuadrados equivalen estos porcentajes de explotación.

Ingreso de Datos			
(5) Volumen Recuperable		(5) Área explotable	21449 [Km <sup>2</sup> ]
Determinación de Escenarios			
(6) Área	%		[Km <sup>2</sup> ]
Escenario_1	0.25	Área Explorable 1	5362.25
Escenario_2	0.5	Área Explorable 2	10724.5
Escenario_3	1	Área Explorable 3	21449
Factor de Reuso de Agua			

**Figura 12.** Ingreso de datos sobre el área a explotar y determinación de los escenarios de explotación sobre la misma.

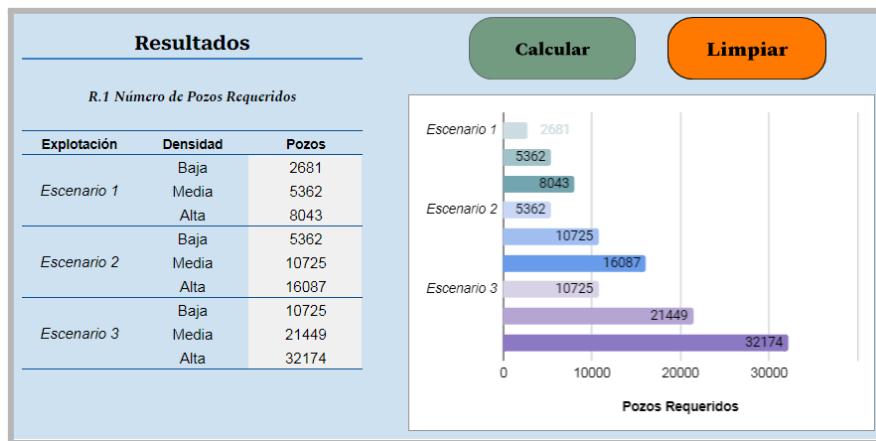
Definidos los escenarios ahora se tienen que establecer los parámetros que va a emplear el modelo (ver [Fig.13](#)), como en este caso se ha decidido trabajar con los valores preestablecidos, tanto para la intensidad de agua como para la densidad de pozos que se van a perforar por kilómetro cuadrado, estos valores se asignan de manera automática de acuerdo a los valores reportados en la [Tabla 1](#). Para el caso en el cual se desee trabajar con otros valores el usuario tendrá que ingresar los mismos sobre las casillas correspondientes, las cuales aparecerán en color verde indicando que se requiere atención del usuario.

Parámetros			
(7) Intensidad de Agua	[m <sup>3</sup> /pozo]	(8) Densidad	[pozo/Km <sup>2</sup> ]
Baja	8500	Baja	0.5
Media	21750	Media	1
Alta	35000	Alta	1.5

**Figura 13.** Determinación de los parámetros empleados.

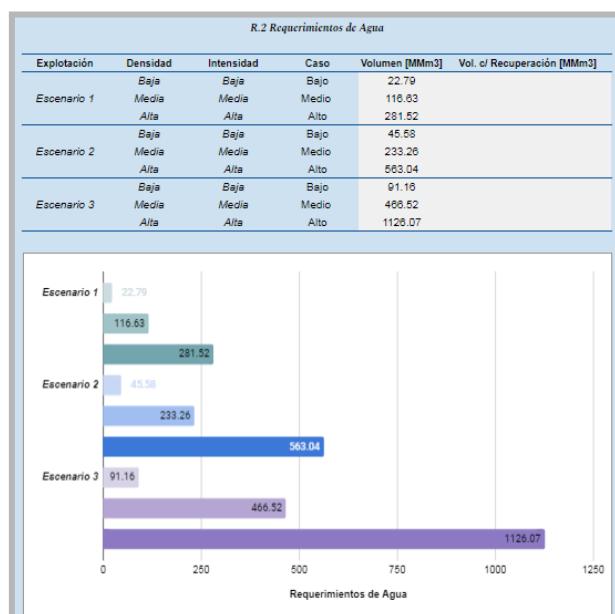
En este punto el modelo ha quedado determinado y solo resta presionar el botón de “Calcular”, al hacerlo se obtendrán los resultados determinados según los parámetros establecidos y el área ingresada (ver [Fig.14](#)). Primero se muestran los datos sobre la cantidad de pozos requeridos y esto se hace según los 3 escenarios establecidos. Para cada escenario se emplean los 3 valores de densidad de pozo, de esta manera se definen 3 distintos niveles de requerimiento. Por ejemplo, en el escenario 1, que corresponde a que solo se explota el 25% de la región, se requieren una cantidad de pozos que oscila entre los 2,681 y 8,043. El primero de estos valores podría considerarse el mejor de los casos o aquel en el que la explotación se logra con una baja densidad

de pozos, mientras que el segundo es el peor para este escenario, pues se requiere una gran densidad de pozos.



**Figura 14.** Resultados sobre los pozos requeridos en el método por Área.

En cuanto a los volúmenes de agua requeridos estos se muestran en una tabla en donde también se indican las combinaciones de densidad e intensidad de agua que definen los casos bajo, medio y alto para cada uno de los 3 escenarios de explotación considerados (ver [Fig.15](#)). Para el escenario 1, el caso de consumo bajo se define por aquel en donde tanto la densidad de pozos como la intensidad de agua son bajos, de esta manera se define el mejor de los casos para este escenario y es en el que ocurre el menor consumo, de solo 22.79 millones de metros cúbicos [MMm<sup>3</sup>]. En el peor de los casos para este primer escenario, que ocurre cuando se tiene una densidad alta y una intensidad alta, el consumo de agua puede llegar a los 281.52 [MMm<sup>3</sup>].



**Figura 15.** Resultados sobre requerimientos de agua en el método por Área.

## 2) Método por Volumen

Para este caso se debe seleccionar la metodología por volumen en el apartado (1) (ver [Fig.16](#)). Por tratarse de esta metodología también es necesario determinar el tipo de hidrocarburo que se espera explotar, en el caso de la Cuenca de Burgos que nos sirve para este ejemplo resulta ser que el hidrocarburo predominante es el gas, por lo que en el apartado (2) se selecciona esta opción. Al igual que en el caso anterior no se va a considerar que existe un reuso de agua y se va a trabajar con los parámetros previamente preestablecidos en la calculadora, por lo cual se activan las casillas cuyos parámetros aparecen resaltados en color verde indicando que estas son las variables que se requiere especificar para este modelo (ver [Fig.16](#)).

**Especificaciones del Modelo**

(1) Metodología	Volumen	(4) Usar valores sugeridos
(2) Hidrocarburo	Gas	- Niveles de Recuperación
(3) Reuso de agua	No	- Productividad por pozo
		- Niveles de Área Explorables
		- Densidad de pozos
		- Intensidad de Agua por pozo
		- Nivel de Reuso

**Figura 16.** Especificaciones de la metodología por Volumen.

El siguiente paso consiste en ingresar los datos sobre el volumen de gas que se estima existe en la región y que se pretende explotar, así como también determinar los escenarios de recuperación (ver [Fig.17](#)). Para la Cuenca de Burgos se tiene que el volumen de gas que se estima existe en la región es de 53,800 miles de millones de pies cúbicos [MMMcpc] de gas. Como se está trabajando con los escenarios de recuperación predeterminados se tiene que en el escenario 1 se recuperaría solo el equivalente al 25% del total señalado y en el escenario 3 este valor ascendería al 100%. En las casillas ubicadas a la derecha de los escenarios se muestran los datos sobre a qué cantidad de gas equivalen estos porcentajes de explotación (ver [Fig.17](#)).

**Ingreso de Datos**

(5) Volumen Recuperable	53800 [MMMcpc]	(5) Área explorable
-------------------------	----------------	---------------------

**Determinación de Escenarios**

(6) Volumen	%	[MMMcpc]
Escenario_1	0.25	13450
Escenario_2	0.5	26900
Escenario_3	1	53800
Factor de Reuso de Agua		

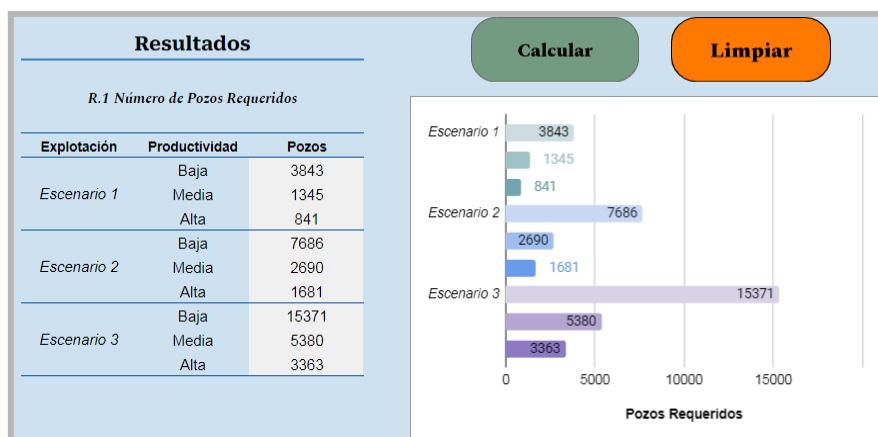
**Figura 17.** Ingreso de datos sobre el volumen de hidrocarburo a explotar y determinación de los escenarios de explotación sobre el mismo.

Definidos los escenarios ahora se tienen que establecer los parámetros que va a emplear el modelo (ver [Fig.18](#)), como en este caso se ha decidido trabajar con los valores preestablecidos, tanto para la intensidad de agua como para la productividad de los pozos que se van a emplear, estos valores se asignan de manera automática de acuerdo a los valores reportados en la [Tabla 2](#). Para el caso en el cual se desee trabajar con otros valores el usuario tendrá que ingresar los mismos sobre las casillas correspondientes las cuales aparecerán en color verde indicando que se requiere atención del usuario.

Parámetros			
(7) Intensidad de Agua	[m <sup>3</sup> /pozo]	(8) Productividad	[MMpc/pozo]
Baja	10000	Baja	3.5
Media	25000	Media	10
Alta	40000	Alta	16

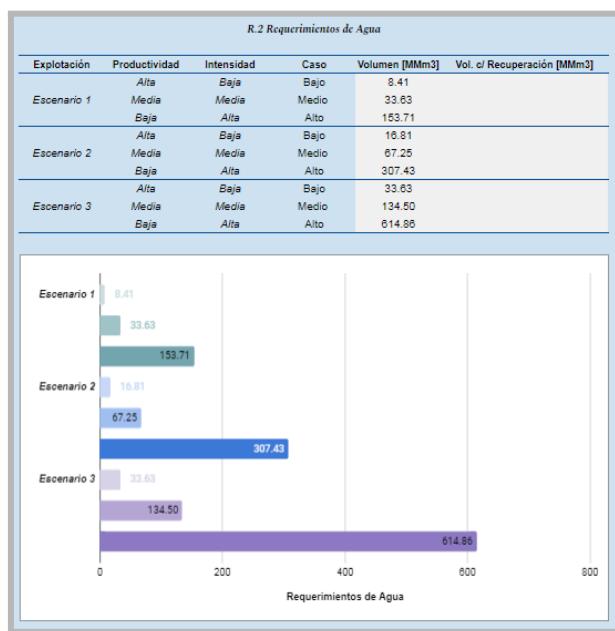
**Figura 18.** Determinación de los parámetros empleados.

En este punto el modelo ha quedado determinado y solo resta presionar el botón de “Calcular”, al hacerlo se obtendrán los resultados determinados según los parámetros establecidos y el volumen ingresado (ver [Fig.19](#)). Primero se muestran los datos sobre la cantidad de pozos requeridos y esto se hace según los 3 escenarios establecidos. Para cada escenario se emplean los 3 valores de productividad de pozo, de esta manera se definen 3 distintos niveles de requerimiento. Por ejemplo, en el escenario 1, que corresponde a que solo se explota el 25% del volumen total, se requieren una cantidad de pozos que oscila entre los 841 y 3,843. El primero de estos valores podría considerarse el mejor de los casos o aquel en el que la explotación se logra con pocos pozos, mientras que el segundo es el peor para este escenario, pues se requiere una gran cantidad de pozos. Vale la pena observar que a diferencia del método por área, en el método por volumen el mayor requerimiento ocurre con la productividad baja, ya que este parámetro guarda una relación inversa con la cantidad de pozos (ver sección de [metodología](#)).



**Figura 19.** Resultados sobre los pozos requeridos en el método por Volumen.

En cuanto a los volúmenes de agua requeridos estos se muestran en una tabla en donde también se indican las combinaciones de productividad e intensidad de agua que definen los casos bajo, medio y alto para cada uno de los 3 escenarios de explotación considerados (ver [Fig.20](#)). Para el escenario 1, el caso de consumo bajo se define por aquel en donde tanto la productividad de los pozos es alta, mientras que la intensidad de agua es baja. De esta manera se define el mejor de los casos para este escenario y es en el que ocurre el menor consumo, de solo 8.41 millones de metros cúbicos [MMm<sup>3</sup>]. En el peor de los casos para este primer escenario, que ocurre cuando se tiene una productividad baja y una intensidad alta, el consumo de agua puede llegar a los 153.71 [MMm<sup>3</sup>].



**Figura 20.** Resultados sobre requerimientos de agua en el método por Volumen.

### 3) Comparación y Discusión de los Métodos

Debido a la información disponible para la Cuenca de Burgos en México es posible emplear las dos metodologías integradas en la calculadora para poder estimar los requerimientos de agua para fracking, sin embargo, este no siempre va a ser el caso y por lo cual la metodología por emplear quedará sujeta al tipo de información disponible. En este apartado sacaremos provecho de contar con resultados aplicados a un mismo caso de estudio a partir de dos metodologías distintas de tal forma que podamos detectar las principales diferencias que existen entre la misma y también observar qué tan cercanos o lejanos son los resultados obtenidos por la calculadora.

Para este ejercicio se tomará en cuenta el escenario en el que se explota el 100% del área que comprende la región de Burgos, así como en el que ocurre que el 100% de los hidrocarburos contenidos en la misma región son recuperados. Nos vemos obligados a trabajar con este nivel de explotación sobre la región petrolera para evitar agregar incertidumbre al ejercicio, por

ejemplo, si decidiera trabajar con el escenario en el cual solo se explota el 25% del área, no es posible asegurar qué fracción de los hidrocarburos totales estarían contenidos en esta sección del territorio, ya que no necesariamente existe una relación proporcional entre área y volumen en la región, debido a ello no es posible hacer una comparación justa entre las metodologías. Es por lo anterior que al trabajar bajo el supuesto de la explotación total de la región, tanto superficial como volumétricamente, se crean condiciones de comparación que parecen más adecuadas, pues se estaría comparando la estimación de requerimientos de agua para explotar toda una región contra la estimación de ese volumen pero teniendo en cuenta todo el volumen de hidrocarburos contenidos.

Los resultados obtenidos por cada una de las metodologías se resumen y muestran en la **Tabla 4**. Como puede verse el número de pozos requeridos calculado con la metodología por área es mayor que el de los determinados por la metodología de volumen. Lo anterior se debe a que en la primera de estas metodologías, al emplear un valor de densidad de pozo, se asume que se van a perforar todos los pozos que sea posible acomodar dentro de la región petrolera, esto último sin hacer referencia a ninguna propiedad que esté relacionada con la capacidad productiva de la región, o dicho de otra manera, que no es posible verificar que en efecto todos estos pozos van a ser requeridos. Para darnos una idea de ello, aprovechando que de antemano contamos con información sobre el volumen total de gas que existe en la región bajo estudio, podemos dividir este volumen (53,800 [MMpc]) entre el número de pozos calculados -aquí se asume que dichos pozos son capaces de extraer todo ese gas- para determinar la productividad de los mismos. El resultado de este ejercicio se muestra en la quinta columna de la **Tabla 4** y de acuerdo a los mismos se obtiene que los pozos empleados tendrían una productividad, en el caso bajo, menor que la cota mínima que se considera para el caso del método por volumen. Lo anterior quiere decir que una densidad en el rango cercano a los 1.5 pozos por kilómetro cuadrado, que es el caso máximo considerado, sólo sería necesaria si la productividad de los pozos es menor 3.5 [MMpc/pozo].

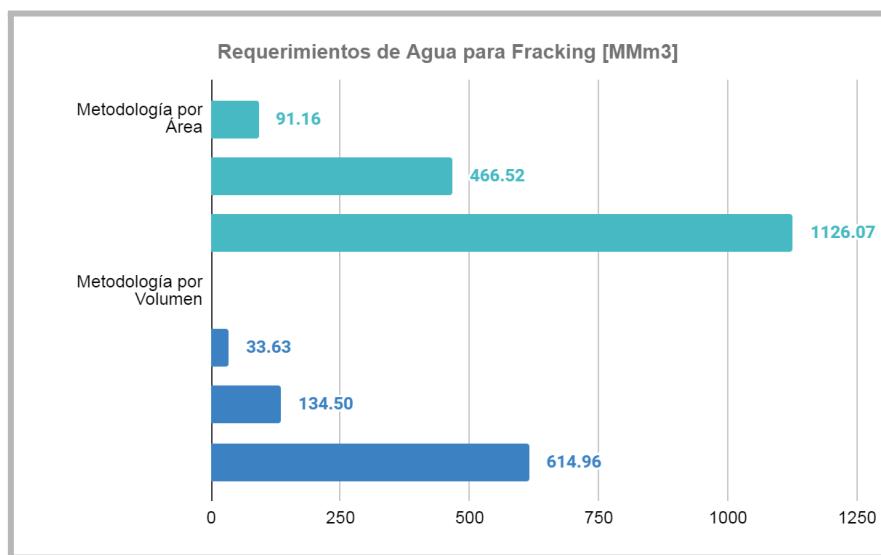
**Tabla 4.** Resumen de resultados para los requerimientos de agua para fracking para la Cuenca de Burgos según la metodología empleada.

Metodología	Pozos	Agua [MMm <sup>3</sup> ]	Densidad de Pozos [pozo/Km <sup>2</sup> ]	Productividad de Pozos [MMpc/pozo]
Área	10,725 - 32,174	91.15 - 1,126.07	0.5 - 1.5	<b>1.67 - 5.02</b>
Volumen	3,363 - 15,371	33.63 - 614.86	<b>0.15 - 0.72</b>	3.5 - 16

Por su parte y a diferencia del método por área, la metodología del volumen parte de utilizar los valores asociados a la cantidad de hidrocarburo que se pretende explotar y la capacidad productiva de los pozos típicos que serían empleados en ello, con lo cual establece un enlace productivo directo. Si se toma el número de pozos calculado en este caso y se divide entre el área total de la región petrolera (21,449 [Km<sup>2</sup>]) se obtienen rangos de densidad que están más

cercanos al valor mínimo (0.5 [pozo/km<sup>2</sup>]) de los parámetros considerados en la metodología por área que del máximo (1.5 [Km<sup>2</sup>]). Por supuesto que lo anterior podría estar indicando que la productividad máxima considerada para en el método por volumen sea demasiado optimista como hemos visto arriba.

En lo que se refiere a los requerimientos de agua podemos observar (ver [Fig.21](#)) que éstos se intersectan en un intervalo de 91.16 a 614.96 millones de metros cúbicos de agua, lo cual descarta el caso mínimo para la metodología por volumen y el caso máximo en lo que respecta al método por área. Dicho de otra manera los resultados solo se intersectan cuando quedan fuera los escenarios de máxima productividad y densidad de los pozos. Esto sucede porque, a pesar de que la cantidad de pozos requerida en el método por área es muy superior, los niveles de intensidad de agua con los cuales trabaja este método son ligeramente inferiores a los que se usan en el caso del método de volumen específico para gas. Lo anterior se establece de esta manera porque en el método por área es imposible determinar la naturaleza del hidrocarburo que se explota y por tanto las intensidades de agua buscan contemplar ambas probabilidades (gas y petróleo). En la calculadora para el caso del método por área se emplean valores de intensidad que resultan de promediar los valores determinados para el caso de gas y petróleo que se ocupan en el método por volumen.



**Figura 21.** Resultados sobre requerimientos de agua obtenidos por ambas metodologías.

El ejercicio realizado para la Cuenca de Burgos muestra que para este caso el método por área parece sobreestimar la cantidad de pozos requeridos cuando se le compara contra el método por volumen. Sin embargo, al determinar los requerimientos de agua se observa que ambos métodos se intersectan. Este ejemplo deja en claro que la calculadora solo es capaz de realizar una estimación del consumo de agua requerido y de la importancia de utilizar un rango de valores aceptable tanto para la densidad de pozos como para la intensidad de agua que permitan obtener un universo de valores posibles. La calidad de los resultados depende de la calidad de la información empleada, por ello, cuando se cuente con datos particulares asociados a la región

bajo estudio estos se deben preferir por encima de los aquí propuestos que en última instancia sólo sirven como una guía y primera aproximación al problema. La elección sobre qué metodología emplear dependerá de la información disponible.

## Comentarios Finales

Como hemos explicado en la introducción a este manual, determinar la cantidad de agua que se requiere para fracking no es una tarea trivial, en ello están involucradas una gran cantidad de variables que van desde lo geológico y técnico a la económico y lo ambiental. A pesar de estas dificultades y complejidades, los grandes requerimientos de agua que están asociados con esta tecnología de explotación de petróleo y gas obligan a tener a la mano estimaciones sustentadas sobre el consumo de agua que el fracking puede suponer para un territorio y las comunidades que lo habitan. Es por lo anterior que se deben realizar suposiciones y simplificaciones realistas que permitan dar una aproximación al problema y con ello alimentar el debate alrededor del tema de los impactos hídricos del fracking.

Para calcular los requerimiento de agua para fracking, la calculadora creada por [CartoCrítica](#) parte del supuesto de que la explotación de recursos no convencionales mediante fracking en aquellas regiones para las cuales se desee conocer cuánta agua sería necesaria para ello se va a comportar de manera similar a las regiones sobre las cuales se conocen datos empíricos. Esto quiere decir que se ocuparían densidades de pozos para explotación similares, que los pozos empleados tendrían productividades cercanas o dentro de los rangos observados y que las intensidades de consumo de agua también tendrían un comportamiento similar al que ocurre en aquellas regiones del planeta, principalmente Estados Unidos, en donde sí se ha llevado y se sigue empleando fracking.

Partiendo de las ideas antes expresadas debe ser claro que las estimaciones que se hacen mediante la calculadora no son, ni tampoco pretenden serlo, un cálculo definitivo, sino que más bien buscan dar una aproximación al problema y con ello poder ubicar de qué se está hablando cuando se propone realizar fracking en alguna región petrolera. Los resultados obtenidos se pueden mejorar de sobremanera cuando se tengan a la mano valores para los parámetros involucrados que sean más próximos o característicos de la región a ser explotada.