

# Simulación Numérica de Líneas de Corriente

## Optimizada mediante cómputo paralelo de memoria compartida

Rafael Álvarez Jiménez & Víctor Leonardo Teja Juárez

Universidad Nacional Autónoma de México

17 de marzo del 2022



# Contenido

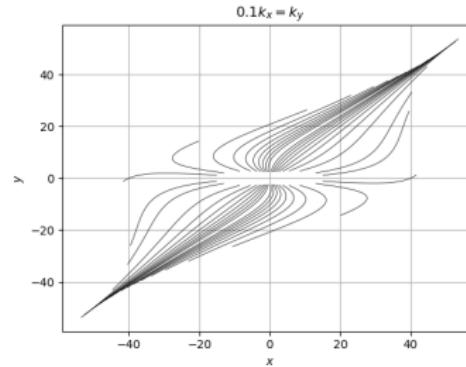
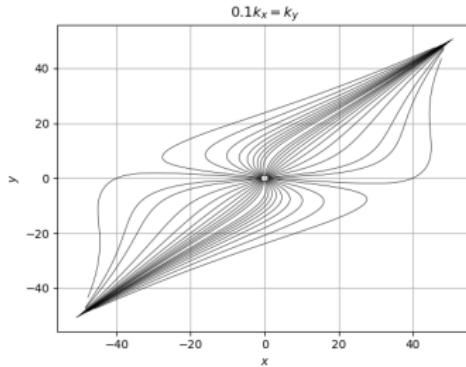
- 1 Introducción
- 2 Modelo numérico
- 3 Resultados
- 4 Conclusiones

# Objetivos

- Desarrollar una herramienta rápida de simulación y monitoreo de yacimientos 2D.
- Revisar las diversas ventajas que ofrece un simulador de líneas de corriente.
- Discusión e interpretación de los resultados de la simulación de líneas de corriente.
- Optimizar los cálculos de transporte mediante multithreading.

# Antecedentes

- *Línea de Corriente*: aquella línea que siempre es tangente al campo de velocidades local a cierto instante de tiempo.
- La simulación de líneas de corriente (SLC) moderna tiene sus raíces en los métodos analíticos y semianalíticos de líneas y tubos de corriente que se remontan al trabajo de Muskat y Wickoff (1934).

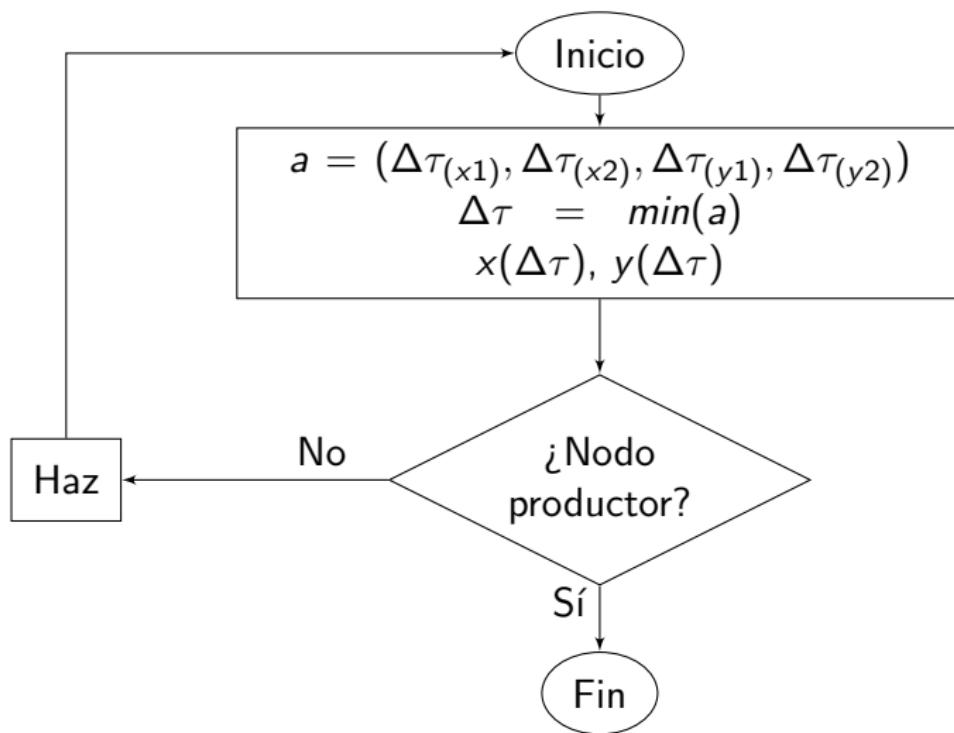


# Simulación de Líneas de Corriente

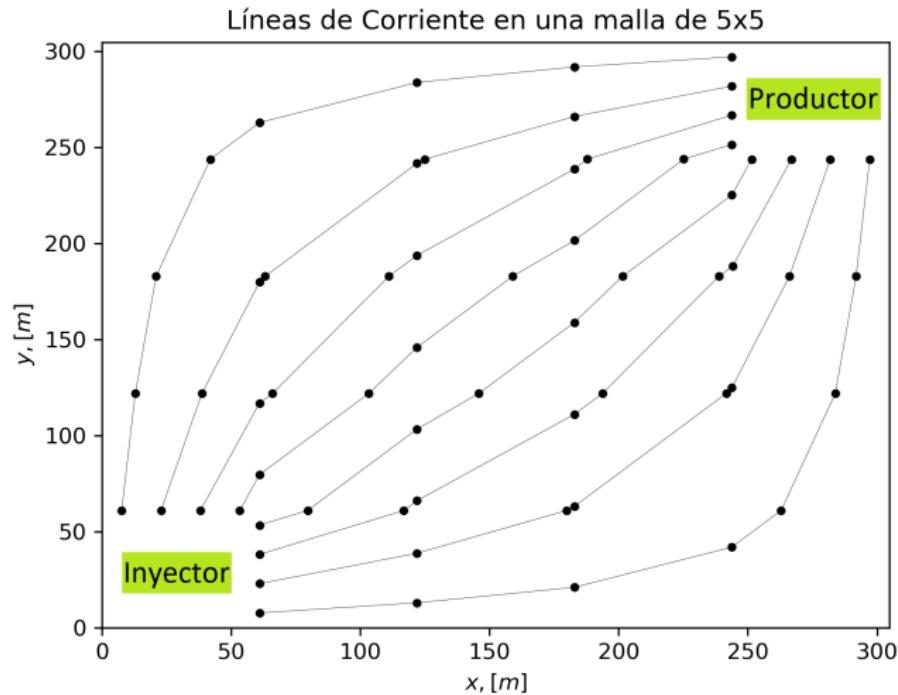
La SLC moderna generalmente se entiende como asociada a los trabajos publicados luego de 1990 y es caracterizada por cuatro ideas importantes:

- ① Trazado de líneas de corriente usando el concepto de  $\tau$ .
- ② Expresar las ecuaciones de conservación de masa en términos de  $\tau$ .
- ③ Actualización periódica de las streamlines.
- ④ Solucionar los problemas de transporte numéricamente a lo largo de las líneas en lugar de analíticamente.

# Algoritmo de Pollock



# Algoritmo de Pollock



# Algoritmo del simulador

---

**Input:** Campo de velocidad total del simulador de diferencias finitas.

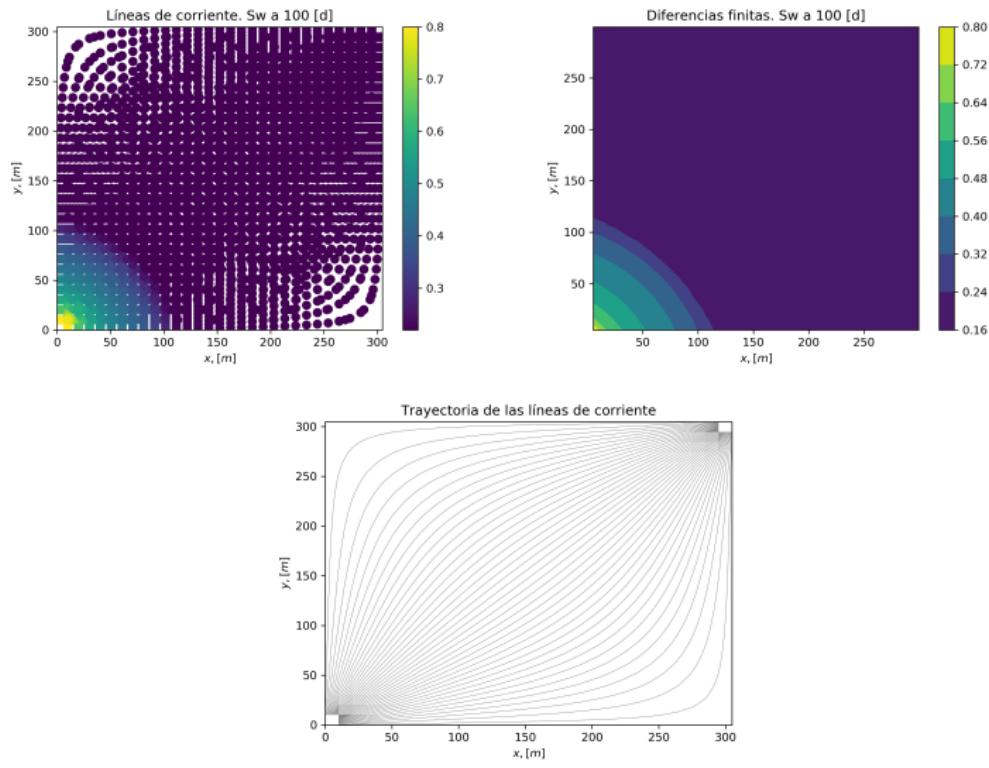
**Output:** Trayectorias y perfil de saturación de las líneas de corriente.

- 1: **for** Cada línea **do**
  - 2:     Algoritmo de Pollock.
  - 3:     **while**  $t \leq TiempoTotal$  **do**
  - 4:         Con  $\tau, d\tau$  realizamos cálculos (IMPES) de transporte 1D.
  - 5:     **end while**
  - 6: **end for**
-

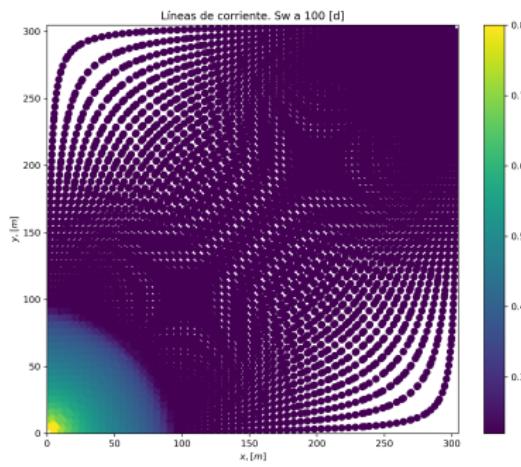
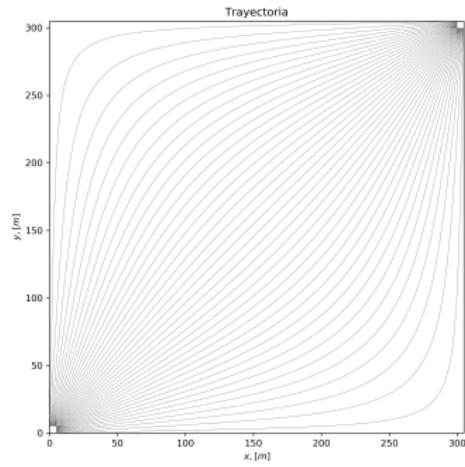
# Datos de simulación

Líneas	40
$\mu_o$	1.14 [ $cP$ ]
$\mu_w$	0.096 [ $cP$ ]
$\phi$	0.2 [1]
$L_x$	1000 [ $ft$ ]
$L_y$	1000 [ $ft$ ]
$k_{xx}$	100 [ $mD$ ]
$k_{yy}$	100 [ $mD$ ]
$S_{ro}$	0.2 [1]
$S_{rw}$	0.22 [1]
$S_{w,ini}$	0.22 [1]
$dt$	0.1, 0.01 [d]

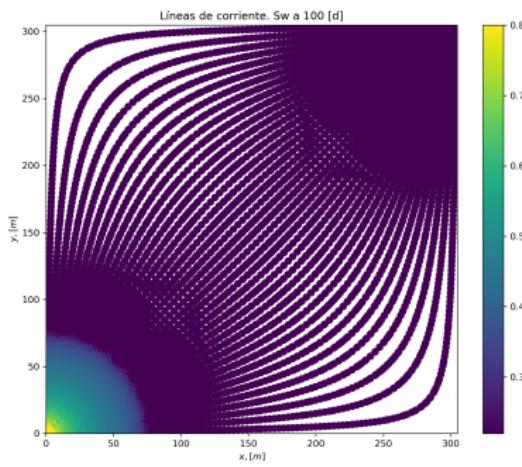
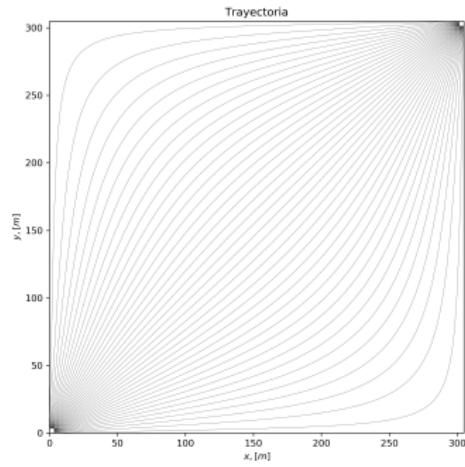
# Five-spot clásico (30x30)



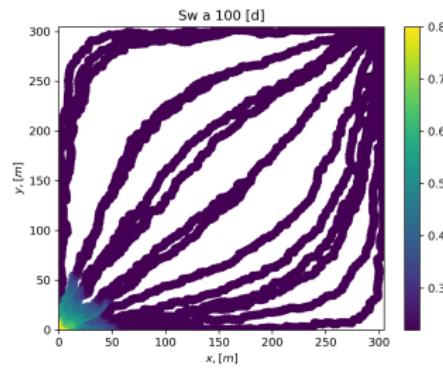
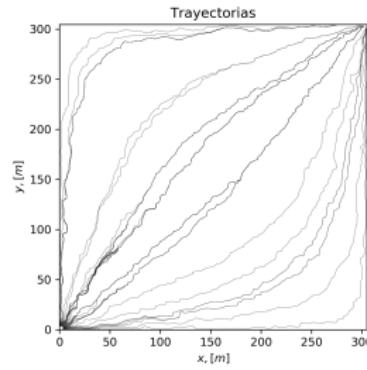
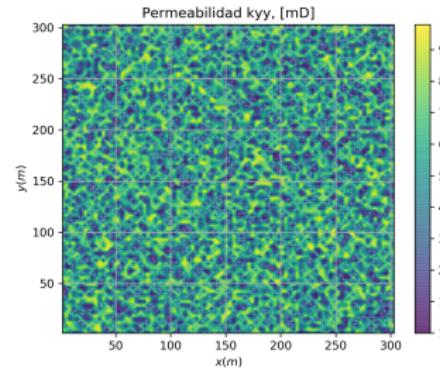
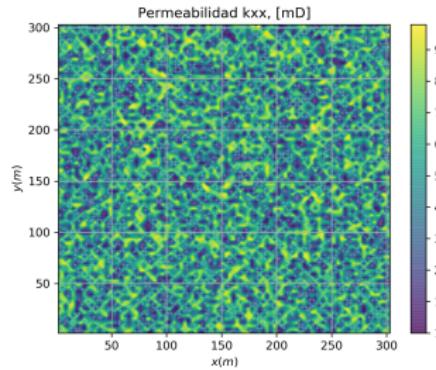
# Five-spot clásico (60x60)



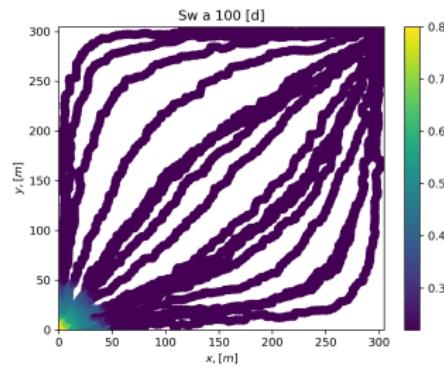
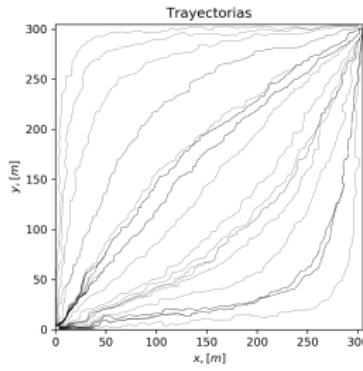
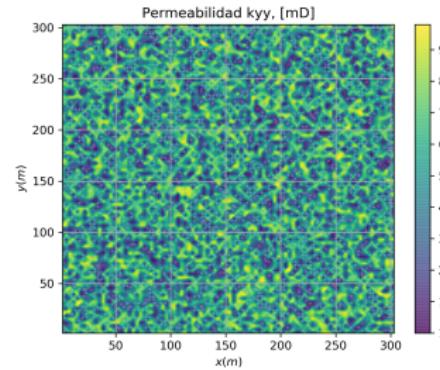
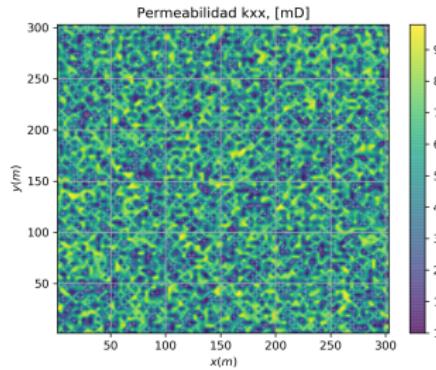
# Five-spot clásico (90x90)



# Modelo 1 (90x90) con permeabilidad aleatoria



# Modelo 2 (90x90) con permeabilidad aleatoria



# Tabla de Resultados

Malla	Numpy [s]	Numpy con Numba [s]	Cociente
30x30	7.618	0.944	8.069
60x60	15.194	1.007	15.088
90x90	219.072	1.279	171.283

Cuadro: Comparativa de tiempos de ejecución.

Procesador	Intel(R) Core(TM) i5-8300H CPU @ 2.30GHz
RAM	8 GB

Cuadro: Propiedades de la máquina.

# Trabajo Futuro

- Escalar el simulador a tres dimensiones.
- Escalar el modelo para yacimientos naturalmente fracturados.
- Agregar efectos capilares.
- Agregar flujo compresible.

# Conclusiones

- La SLC es una herramienta complementaria a la simulación de diferencias finitas, la cual proporciona bondades como la visualización de los canales preferentes de flujo.
- Gracias a la independencia de los cálculos de las líneas de corriente, es posible paralelizar el código.
- SLC no requiere correrse a la par de un simulador de DF.
- Las herramientas computacionales mediante memoria compartida aceleran drásticamente el tiempo de ejecución.

# Agradecimientos

Agradezco al proyecto PAPIIT:IA106820 por facilitar los recursos computacionales para la realización de este trabajo

# Bibliografía

-  Datta-Gupta, Akhil, and Michael J. King. "Streamline Simulation: Theory and Practice", Society of Petroleum Engineers, 2006.
-  Thiele, M.R., Batycky, R.P., and D.H. Fenwick. "Streamline Simulation for Modern Reservoir-Engineering Workflows." *Journal of Petroleum Technology* 62 (2010): 64–70.
-  L. M. De la Cruz, "Flujo en una y dos fases en medios porosos: modelos matemáticos, numéricos y computacionales", Reporte Técnico, Depto. de Recursos Naturales, IGF UNAM, Octubre 2011.