

# INTERFASES CAPRICHOSAS

Jaime Córdoba\*

Every great advance in science has issued  
from a new audacity of imagination.

John Dewey

## PARA SABER, ...

¿Qué sucede cuando un líquido se desplaza a través de otro? ¿Cuál es el interés de saberlo? ¿Qué tan fácil podemos estudiarlo en el laboratorio? ¿Qué sorpresas nos esperan?

La comprensión de los fenómenos que se presentan cuando dos fluidos de diferente viscosidad se desplazan a través de un medio poroso resulta de gran importancia tanto desde el punto de vista de la ciencia básica como de la aplicada. En particular, recientemente ha resurgido el interés por analizar el comportamiento de sistemas en los que un fluido como el aire o el agua se moviliza a través de un líquido más viscoso. En ellos, la interfase móvil puede ser inestable ante pequeñas perturbaciones y deformarse generando "dedos" o estructuras más complejas (Walker, 1987).

Este hecho no es nuevo para los ingenieros petroleros, químicos o geólogos involucrados en procesos de extracción en mantos petrolíferos. Por ejemplo, en algunas ocasiones el material a recuperar queda atrapado en el subsuelo poroso y no puede ser extraído de manera directa; para desplazarlo es común bombear agua desde la superficie. Si en las condiciones de trabajo la interfase entre los fluidos se vuelve inestable, la formación de grandes lenguas o conos de un líquido dentro del otro reduce considerablemente la eficiencia del proceso; el material de interés en lugar de ser desplazado se dispersa en el agua (Nittman, 1985).

En 1958 Saffman y Taylor sugirieron (Saffman, 1958) que tal fenómeno podría mimificarse a pequeña escala haciendo uso de un dispositivo muy simple desarrollado inicialmente por Henry Hele-Shaw en 1898 y adaptado para el caso por Geoffrey Taylor en 1956. En él, los líquidos bajo estudio se confinan en el interior de dos placas transparentes separadas una pequeña distancia (del orden de milímetros), y su movimiento se inicia por acción gravitatoria (figura 1). Por regla gene-

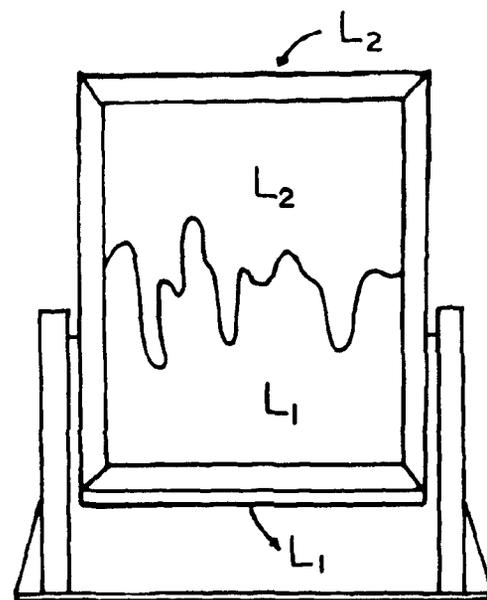


Figura 1. Esquema básico de la celda de Hele-Shaw en la que el desplazamiento de un fluido sobre otro se da por acción gravitatoria (celda vertical).

ral, se coloca primero el fluido más viscoso y posteriormente el de menor viscosidad en uno de los extremos. A esta geometría se le conoce hoy día como celda de Hele-Shaw, y resulta de gran utilidad para estudiar el comportamiento hidrodinámico de un sistema esencialmente bidimensional.

El origen de la inestabilidad que da lugar a la formación de "dedos" y patrones complejos reside en la geometría de la interfase móvil (Bensimon, 1986). Para comprenderlo mejor imaginemos una celda de Hele-Shaw en la que los fluidos presentes exhiben una interfase idealmente plana (figura 2a). Si en estas circunstancias se aplica una presión constante y uniforme sobre el fluido menos viscoso, la interfase se desplazará sin sufrir deformación alguna. Sin embargo, la presencia de cualquier perturbación que altere ligeramente la curvatura en algún sector de la región interfacial, dará lugar a un gradiente de presión y se incrementará la

\*Estudiante de la  
Facultad de Química  
de la UNAM, México.

Recibido:  
13 de septiembre de  
1992  
Aceptado:  
21 de octubre de  
1992

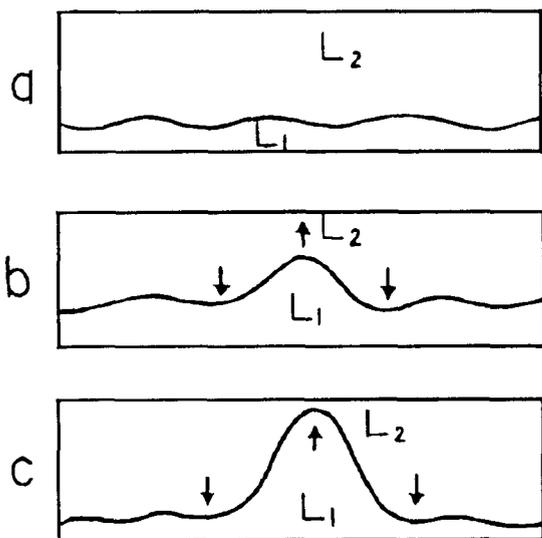


Figura 2. La presencia de un perturbación en la interfase puede desestabilizarla y provocar grandes deformaciones.

velocidad de flujo en dicha zona (figura 2b). En estas circunstancias el sistema es potencialmente inestable; la diferencia de presión a través de la interfase se vuelve cada vez mayor en los dedos más largos, como consecuencia estos se mueven cada vez más rápido (figura 2c), lo que los hace crecer e incrementar más la diferencia de presiones y así sucesivamente.

La evolución real de la interfase depende de varios factores entre los que sobresalen (Robinson, 1985): la separación entre las placas ( $b$ ); el ancho de la celda ( $W$ ), que coincide con el de las placas; la velocidad de desplazamiento de la interfase ( $V$ ); las viscosidades de los fluidos ( $\mu_1, \mu_2$ ), y la tensión interfacial ( $\gamma$ ). La influencia de este último parámetro es particularmente relevante pues su presencia tiende a estabilizar y aplanar a la interfase (recordemos que la tensión interfacial es una medida del costo energético de formación de la misma).

El análisis teórico del problema señala que la estabilidad de los patrones de flujo está determinada por el valor de un parámetro adimensional denominado número capilar  $K$ , el cual es proporcional a (Robinson, 1985; Kadanoff, 1985):

$$K \propto \frac{(\mu_1 - \mu_2) VW^2}{\mu_1 \mu_2 \gamma b^2}$$

- $\mu$  viscosidad
- $W$  ancho de la celda
- $V$  velocidad
- $\gamma$  tensión interfacial
- $b$  separación entre placas

De hecho se sabe que cualquier perturbación de la interfase que produzca ondulaciones cuya longitud de onda  $\lambda$  (figura 3) sea mayor que el cociente del ancho de la celda  $W$  entre la raíz cuadrada del número capilar

$(W/\sqrt{K})$ , logrará desestabilizarla (Maxworthy, 1987).

Este resultado es muy interesante, pues nos indica que al trabajar en regímenes cuyo número capilar es elevado (grandes diferencias de viscosidades o pequeñas tensiones interfaciales, por ejemplo), se facilita la manifestación del efecto de las perturbaciones que generan deformaciones con  $\lambda$  pequeña (figura 3). En este caso, el patrón de flujo puede volverse más y más complejo en la medida que nuevas ramificaciones aparezcan dentro de las ya previamente formadas, y otras más dentro de las nuevas y así sin límite. La pregunta inmediata es, ¿y cuándo termina este desdoblamiento?

En experimentos recientes que hacen uso de la celda de Hele-Shaw se ha encontrado que las ramificaciones llegan a presentarse a varias escalas y dan lugar a patrones de flujo con estructura fractal (Nittman, 1985). Esto es, patrones cuya apariencia es estadísticamente similar a diferentes niveles de amplificación (auto-similitud) y su dimensión efectiva es fraccional (entre 1 y 2, en estos casos) (Talanquer, 1991).

Los fractales aparecen en la naturaleza cuando los efectos de perturbaciones que actúan aleatoriamente dominan sobre las tendencias estabilizadoras en el sistema (como la tensión superficial). Su existencia es resultado de la acción de correlaciones que se extienden a distancias mucho mayores que el alcance de las fuerzas de interacción entre las partículas constituyentes. En el problema de flujo de fluidos en la celda de Hele-Shaw todavía no es claro si su presencia es un fenómeno general o sólo se manifiesta en cierto tipo de sistemas. Esto lo hace más atractivo como sujeto para la investigación experimental y la simulación computacional; en ambos casos el trabajo es fácil y los resultados son sorprendentes.

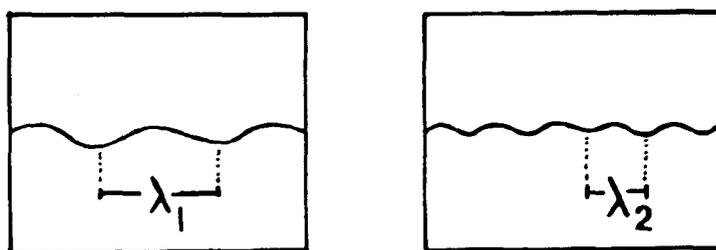


Figura 3. Se ilustran dos perturbaciones interfaciales con longitud de onda  $\lambda$  distinta ( $\lambda_1 > \lambda_2$ ).

#### EXPERIMENTAR

Entre los primeros experimentos reportados sobre el comportamiento de fluidos confinados en una celda de Hele-Shaw encontramos los realizados por Saffman y Taylor en 1958 (Saffman, 1958). Su trabajo consistió en analizar los patrones de flujo generados al forzar el desplazamiento de aire a través de glicerina en una celda vertical (figura 1). Observaron así la formación de

“dedos viscosos” cuando se alcanza una velocidad crítica de desplazamiento, aunque para este sistema resulta notable el desarrollo de sólo un dedo dominante (como en la figura 2c).

Estos resultados despertaron el interés de diversos grupos experimentales que se dedicaron a generar las condiciones para obtener patrones más complejos en regímenes de flujo con un número capilar  $K$  más elevado (Robinson, 1985). Los caminos seguidos desde entonces son distintos, pero resaltan particularmente dos de ellos:

a) Alterar la geometría del proceso de flujo inyectando el líquido menos viscoso en el centro de la celda de Hele-Shaw, donde ya está confinado el otro fluido. De esta manera, el ancho efectivo de la celda ( $W$ ) crece a medida que el líquido inyectado ocupa mayor área y, por tanto, el número capilar se incrementa.

b) Reducir al mínimo el efecto estabilizador de la tensión interfacial trabajando con sistemas en los que y sea muy pequeña.

Este último procedimiento resulta muy atractivo pero ha introducido consideraciones adicionales en el debate sobre la formación de estructuras de flujo complejas; los sistemas cuya tensión interfacial es baja y que mejor se prestan para el experimento, son fluidos en los que la viscosidad se modifica con la velocidad (no-newtonianos). Los resultados, entonces, no son fácilmente generalizables (Nittman, 1985).

Como vemos, hoy día no es del todo claro cuál es la influencia específica de cada uno de los factores que condicionan el comportamiento hidrodinámico de los fluidos en la celda de Hele-Shaw; es por ello que la investigación en el área se mantiene viva. El trabajo experimental que se requiere para desarrollarla es muy sencillo y vale la pena involucrarse en él para explotar sus múltiples posibilidades. Los resultados son sorprendentes y su análisis ha servido de base para comprender cómo se generan estructuras complejas en la naturaleza.

Para comenzar, basta construir un dispositivo como el que se muestra en la figura 4 en el que se tienen dos placas de vidrio (o acrílico) de 1.26 cm de espesor, y  $40 \times 40 \text{ cm}^2$  de área, colocadas horizontalmente una sobre otra y sostenidas con pinzas y soportes a 30 cm de la base. Sobre la placa superior se practica una perforación central de aproximadamente 0.2 cm de diámetro, a través de la cual se inyectan los fluidos de trabajo (aquí la velocidad de flujo está determinada por la presión aplicada en la inyección). La separación entre las placas puede controlarse utilizando tiras de *masking-tape* superpuestas y situadas en el contorno de la placa inferior; el propio peso de la placa superior y la presión ejercida por las pinzas de sostén aseguran que este valor se mantiene constante a lo largo del experimento (0.01 cm en nuestro caso). Con el fin de mejorar la visualización de los patrones de flujo resulta conveniente introducir una lámpara de luz difusa entre las placas y la base.

El experimento se presta para trabajar con diferentes tipos de sustancias y estudiar el efecto de factores tales como la diferencia de viscosidades entre los fluidos empleados, o su tensión interfacial. En ambos casos conviene seleccionar un fluido como referencia y para ello elegimos agua coloreada con azul de metileno lo que facilita la visualización por contraste; este líquido siempre se utiliza como líquido desplazante o de inyección.

El fluido a desplazar es la sustancia que se modifica y siempre se inyecta o esparce en la celda de Hele-Shaw tratando de generar una capa homogénea que cubra el espacio entre las placas. Una vez hecho esto se inyecta el líquido desplazante y se analiza la estructura de los patrones de flujo que se forman. Es importante señalar que si la viscosidad del fluido presente inicialmente en la celda es muy elevada la inyección puede dificultarse.

Uno puede generar increíbles patrones de flujo trabajando con sustancias caseras tales como: miel de

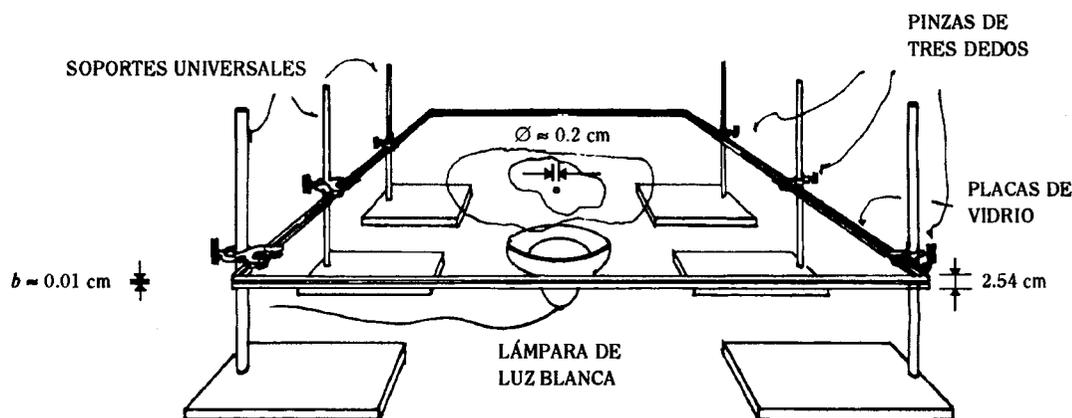


Figura 4. Representación esquemática de la celda de Hele-Shaw que permite obtener patrones de flujo viscoso por inyección.

abeja, leche de magnesia, jarabe para la tos, salsa catsup y glicerina. Todas estas sustancias son más viscosas que el agua y en el proceso de inyección dan lugar a estructuras como las que mostramos en la figura 5; desde fractales (5a) hasta formas homogéneas producto de la superposición de múltiples dedos viscosos (5f). El análisis de las viscosidades de las sustancias empleadas,

Sustancia	Viscosidad (en Poise)*
Miel de abeja	116.60
Salsa catsup	63.00
Jarabe para la tos	15.10
Glicerina	9.67
Leche de magnesia	2.69

\*Medidas en un viscosímetro rotatorio de control digital Brookfield, mod. RUT-DV-11.

señala que aunque existe cierta correlación entre el tipo de patrón de flujo obtenido y la viscosidad del fluido a desplazar, la influencia de la tensión interfacial es determinante. Todas las soluciones acuosas (salsa catsup, jarabe para la tos, leche de magnesia) exhiben patrones más ramificados de los que sería de esperar si sólo tomamos en cuenta sus viscosidades. Esto puede atribuirse a la presencia de una tensión interfacial más pequeña con la solución acuosa que se inyecta (recordemos que la ramificación se favorece incrementando la diferencia de viscosidades de los fluidos en la celda o disminuyendo la tensión interfacial).

Aunque es difícil separar los efectos de la viscosidad y la tensión interfacial, en algunos experimentos recientes (Nittman, 1985) se ha demostrado que la influencia de esta última puede controlarse trabajando con soluciones acuosas de un polisacárido de alto peso molecular como almidón o celulosa. La reducción de la tensión interfacial en estos casos (la solución inyectada también es acuosa) permite generar patrones fractales para concentraciones del polisacárido superiores al 50 % en peso y observar más claramente el efecto de incrementar la viscosidad. Los resultados que se obtienen trabajando de esta manera se presentan la figura 6 donde los fluidos desplazados son soluciones de maizena a diferentes concentraciones. Aquí vemos cómo la aparición de estructuras fractales se favorece por el incremento en la diferencia de viscosidades entre el fluido de base y el inyectado (en este caso siempre las soluciones más concentradas son las más viscosas).

¿Qué sucede si ahora modificamos la distancia entre las placas? ¿Qué pasa si la inyección no se hace en el centro sino en un costado? ¿Y si comenzamos a inclinar las placas? ¿Con cuántos otros líquidos caseros podemos probar? Realizar éstos y otros muchos experimentos no sólo vale la pena por la increíble diversidad

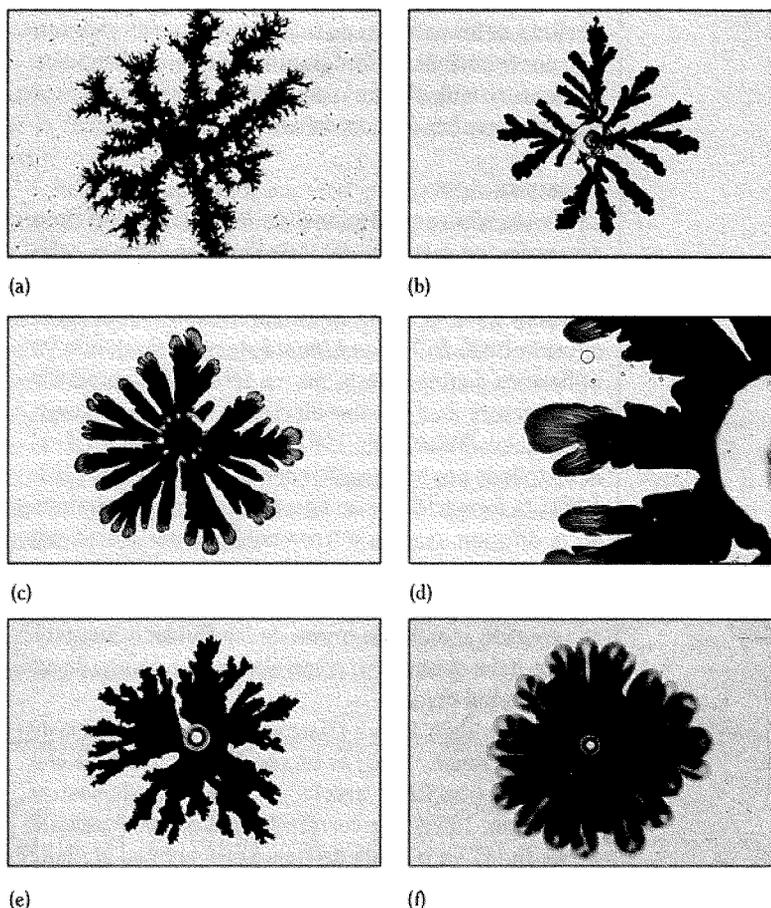


Figura 5. Patrones de flujo obtenidos experimentalmente al inyectar agua coloreada con azul de metileno (10 mL aprox.) en 30 mL de: a) salsa catsup, b) jarabe para la tos (delsym), c) miel de abeja, d) ampliación de un detalle para un patrón con miel de abeja, e) leche de magnesia, f) glicerina.

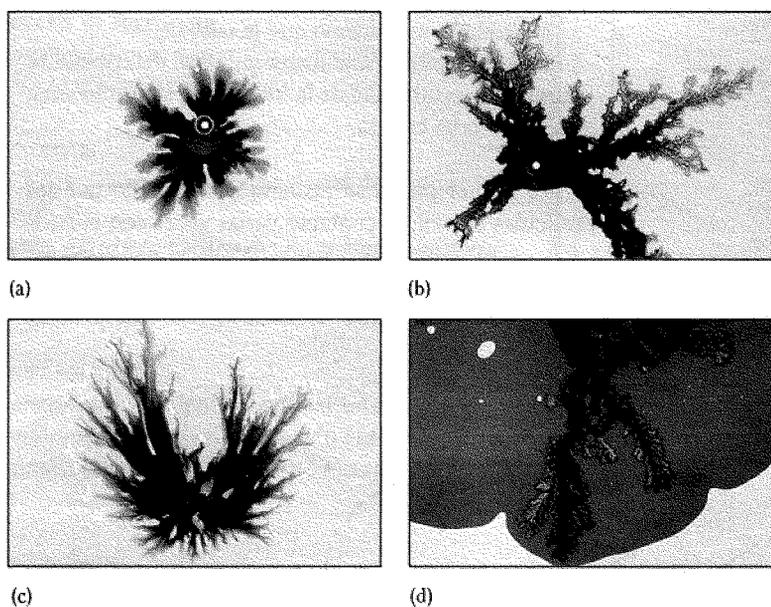


Figura 6. Patrones de flujo obtenidos experimentalmente al inyectar agua coloreada con azul de metileno (10 mL) en soluciones acuosas de maizena (30 mL) a) 53.85 %, b) 55.55 %, c) 57.14 %, d) 58.62 %.

y belleza de los patrones de flujo que se pueden generar, sino por la posibilidad de desentrañar el mecanismo que los produce e identificarlo en otros muchos fenómenos que se presentan día con día en el mundo real.

#### Y SIMULAR

La simulación computacional de los patrones de flujo generados en la celda de Hele-Shaw se lleva a cabo siguiendo métodos cuyos principios básicos son muy similares a los del modelo de agregación limitada por difusión (DLA; *Diffusion-Limited Aggregation*), que ya utilizamos dentro de esta misma serie para reproducir la estructura de depósitos electroquímicos con geometría fractal (Talanquer, 1991). En el modelo original desarrollado por Witten y Sander en 1981 (Witten 1981, 1983), la formación de un agregado se logra permitiendo la difusión azarosa e irreversible de partículas que viajan a través del sistema hasta alcanzar un punto en el cual se depositan. En la versión que nos interesa aquí, el agregado representa a uno de los fluidos y su crecimiento debe entenderse como el desplazamiento de un líquido sobre otro.

El resultado del DLA clásico aplicado al problema de fluidos (Nittman, 1985) es un objeto muy irregular con dimensión fraccional (fractal), y es posible demostrar (Bensimon, 1986) que corresponde al comportamiento de un fluido en la celda de Hele-Shaw pero en el límite de tensión interfacial cero (en el cual, como ya mencionamos, la interfase entre los dos líquidos es muy inestable ante perturbaciones que producen deformaciones con longitud de onda pequeña). Una situación más realista debe considerar que:

- el DLA tradicional da lugar a una superficie demasiado granulosa, por lo que sería conveniente incluir algún mecanismo que la suavice;
- la tensión superficial juega un papel determinante sobre la estabilidad de la interfase y su efecto debe tomarse en cuenta.

El primer punto se resuelve permitiendo que las partículas entren en contacto varias veces con el agre-

gado antes de depositarse sobre él (Tang, 1985), mientras el segundo ha sido atacado por varias vías. En algunos casos se ha supuesto que las partículas ya agregadas pueden abandonar el depósito con una probabilidad proporcional a la curvatura de la interfase (ver figura 7) en el sitio donde están (Kadanoff, 1985; Liang, 1986); en otros es la propia probabilidad de agregación la que depende del radio de curvatura en el punto de contacto (Vicsek, 1984). En ambas situaciones la tensión superficial regula el efecto de la curvatura sobre la probabilidad de interés, y aunque el primer método da lugar a representaciones más realistas, el segundo es más sencillo de programar y será el que consideraremos en esta ocasión.

El programa de simulación que se incluye corresponde al de una celda de Hele-Shaw con geometría rectangular similar a la del problema original de Saffman-Taylor; en ella el fluido inyectado en la parte superior del sistema se desplaza sobre el otro por acción de la gravedad. Nos hemos alejado un poco de la situación experimental descrita en la sección anterior con el fin de reducir el tiempo de cálculo y hacer una simulación práctica para una PC sencilla (80286 a 8/16 MHz); el planteamiento y los resultados, sin embargo, son aplicables también a una inyección en geometría circular como la que se presenta en la sección EXPERIMENTAL, pero hemos decidido dejarle al lector el trabajo de modificar el programa para adaptarlo a esta situación.\*

Para iniciar, se construye una celda rectangular en la que el líquido inyectado (agregado o depósito) ocupa la parte superior (blanco en la pantalla) mientras el otro (negro en el monitor), cubre el resto. El proceso se inicia al liberar una partícula desde una posición aleatoria alejada del agregado, y permitiendo que inicie una caminata al azar a través del fluido a desplazar (movimiento ascendente en la pantalla); su viaje continúa hasta que entra en contacto con el depósito, al cual se adhiere con una probabilidad  $p$  que depende de la curvatura ( $1/R$ ) en el sitio que se encuentre (Liang, 1986). Así se propone que  $p$ :

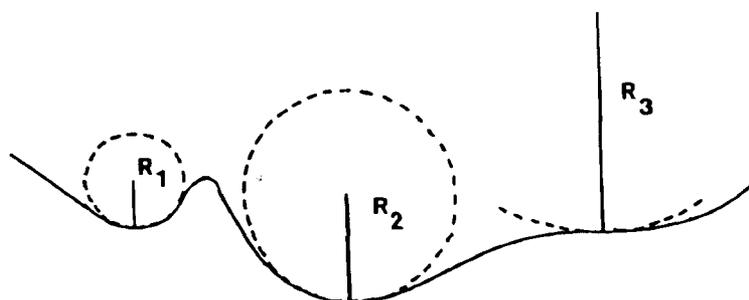
$$p = \frac{\gamma}{R} + B$$

En esta relación  $B$  es la probabilidad de adherencia en una superficie plana (pues en el plano  $R \rightarrow \infty$  y entonces  $p \rightarrow B$ ), y  $\gamma$  es la tensión superficial que favorece la agregación en regiones de gran curvatura positiva (para aplanarlas), y la desfavorece en los "dedos" en crecimiento (curvatura negativa; figura 8a).

Aunque hay varias formas de estimar el radio de curvatura en un sitio  $(x,y)$  sobre la interfase, el más simple consiste en contar el número de partículas ya

\* La revista publicará el programa de quien acepte el reto.

Figura 7. En un sistema bidimensional, la interfase entre los fluidos puede considerarse una curva, cuya curvatura  $C$  en cada punto se define como el inverso del radio  $R$  de un círculo tangente a la curva en dicho punto.



depositadas dentro de una distancia  $l$  a su alrededor ( $N_l$ ), y comparar con el correspondiente a una interfase plana ( $N_0$ ) (figura 8b). Puede demostrarse entonces que (Vicsek, 1984):

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{A} [N_l - N_0]$$

donde  $A = (2l + 1)^2$  es el número total de posiciones comprendidas en la vecindad elegida. Así, por ejemplo, para  $l = 3$  tenemos  $A = 49$  y  $N_0 = 22$ , y si  $N_l = 11$ , la operación anterior nos indica que la curvatura  $1/R = (11 - 22)/49 = -0.22$ , es negativa (figura 8b).

En la simulación, la probabilidad  $p$  se calcula y compara con un número aleatorio elegido en el intervalo (0,1); si resulta mayor que él la partícula se deposita, si no, se permite que continúe su camino hasta encontrar otro punto donde adherirse. Una vez depositada, el proceso global se reinicia y se repite con un número  $N$  de partículas, estableciendo condiciones a la frontera que aseguran que ninguna de ellas rebasará las paredes laterales.

En la figura 9 presentamos los resultados obtenidos para el caso  $N = 1500$ ,  $B = 0.5$ ,  $l = 3$ ,  $W = 40$ , y diferentes valores de la tensión superficial  $\gamma$  (t en el programa). El patrón de flujo transita desde una estructura fractal para  $\gamma$  pequeña, hasta lograr la formación de interfaces más suaves y regulares ("dedos") a valores

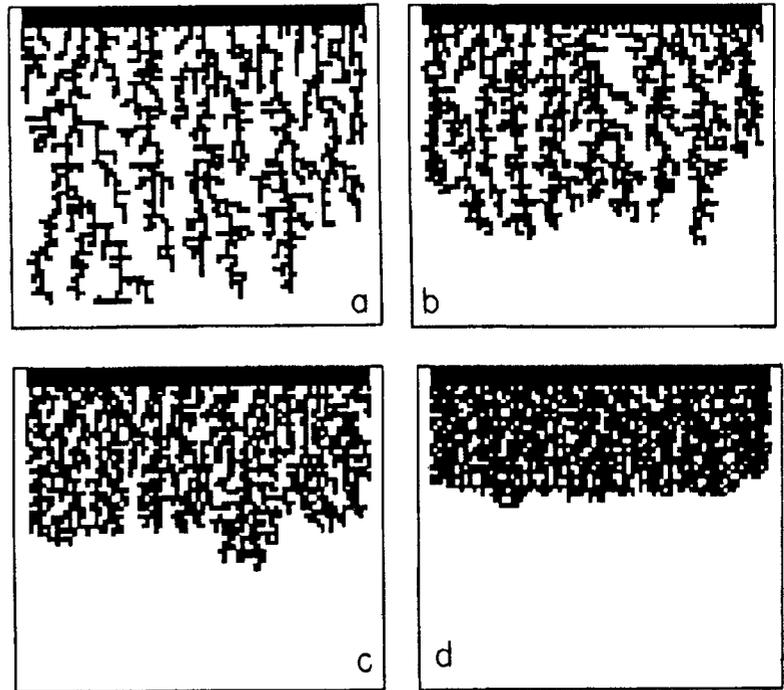


Figura 9. Estructura de los patrones de flujo obtenidos en una simulación donde  $N=1500$ ,  $B=0.5$ ,  $l=3$  y a)  $\gamma=0.5$ , b)  $\gamma=2$ , c)  $\gamma=3$  y d)  $\gamma=6$ . Aunque la representación es un poco burda puede verse cómo la interfase se suaviza al aumentar la tensión interfacial  $\gamma$ .

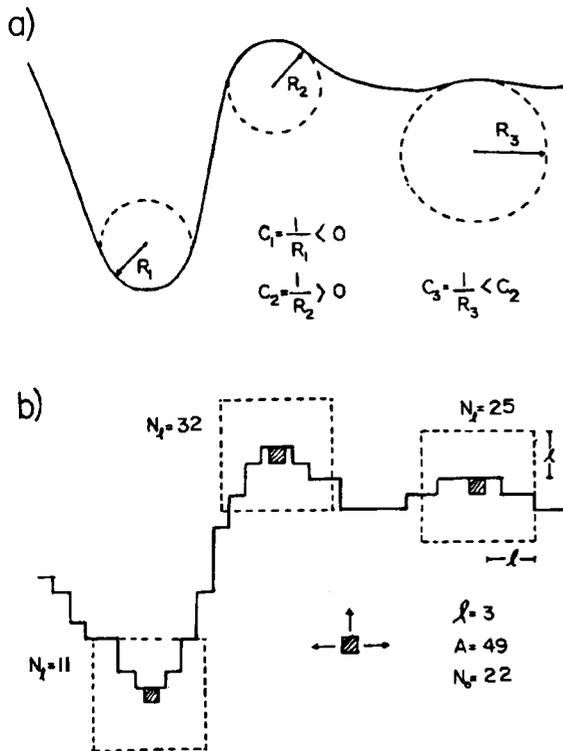


Figura 8. a) Se señala la convención de signos utilizada para las curvaturas. b) Las partículas ascienden siguiendo una trayectoria azarosa y se depositan en regiones cuya curvatura puede estimarse al contar el número de partículas ya depositadas  $N_l$ .

más grandes de este parámetro. Aunque de manera burda, esta evolución coincide con la que se observa experimentalmente y se ha descrito en la sección EXPERIMENTAL.

Adicionalmente, la simulación permite analizar la influencia de otros términos tales como la probabilidad de agregación en superficies planas (parámetro  $B$ ), el número de vecinos considerados en el cálculo de la curvatura ( $l$ ) y el ancho de la celda ( $W$ ); su efecto es en ocasiones determinante de la estructura del patrón de flujo final, y modificarlo resulta un ejercicio interesante que recomendamos al lector interesado.

#### AGRADECIMIENTOS

Jaime Córdoba quisiera agradecer especialmente a los coordinadores de esta serie sin los cuales este artículo no habría existido, y de manera muy significativa a todos los amigos cuyo apoyo y ayuda permitió terminarlo.

Agradecemos el trabajo fotográfico de Guillermo Sosa, la medición de viscosidades de Nelly Belmont y el apoyo de la DGAPA de la UNAM.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Bensimon, D., Kadanoff, L.P., Liang, S., Shraiman, B.I. and Tang, Ch. Viscous flows in two dimensions, *Rev. Mod. Phys.* **58** [4], 990 (1986).
- Kadanoff, L. Simulating Hydrodynamics: a Pedestrian Model, *J. Stat. Phys.* **39**, 267 (1985).
- Liang, S. Random-walk Simulations of Flow in the

- Hele-Shaw Cells, *Phys. Rev. A* **33**, 2663 (1986).
- Maxworthy, T. The nonlinear growth of a gravitationally unstable interface in a Hele-Shaw cell, *J. Fluid. Mech.* **177**, 207 (1987).
- Nittmann, J., Daccord, G. and Stanley, H. Fractal growth of viscous fingers: quantitative characterization of a fluid instability phenomenon, *Nature* **314**, 141 (1985).
- Robinson, A.L. Fractal fingers in viscous fluids, *Science* **288**, 1077 (1985).
- Saffman, P.G. y Taylor, G.L. The penetration of a fluid into a porous medium or Hele-Shaw containing a more viscous fluid, *Proc. Roy. Soc. London A* **245**, 312 (1958).
- Talanquer, V. e Irazoque, G. Fractales, *Educ. quím.* **2**[3], 122 (1991).
- Tang, C. Diffusion-limited Aggregation and the Saffman-Taylor problem, *Phys. Rev. A* **31**, 1977 (1985).
- Vicsek, T. Pattern Formation and Diffusion-limited Aggregation, *Phys. Rev. Lett.* **53**, 2281 (1984).
- Walker, J. Sección "The Amateur Scientist", Fluid interfaces, including fractal flows can be studied in a Hele-Shaw cell, *Scientific American* **257**[5], 134 (1987).
- Witten, T. A. y Sander, L. M. Diffusion-limited Aggregation, a Kinetic Critical Phenomenon, *Phys. Rev. Lett.* **47**, 1400 (1981); Diffusion-limited Aggregation, *Phys. Rev. B* **27**, 5686 (1983).

#### PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA GENERAR PATRONES DE FLUJO

```

KEY(14) ON:ON KEY(14) GOSUB 40
  REM "Datos iniciales"
INPUT "Dame la tensión interfacial ",t
N=1500:W=40:l=3
B=0.5:No=22:A=49
con=0
SCREEN 2
WINDOW (-W-10,-36)-(W+10,36)
LINE (-W,31.5)-(W,36),,BF
LINE (-W-3,-36)-(W+3,36),,B
  REM "Inicio del cálculo"
WHILE con<=N
x=-W+INT(2*W*RND)
y=-30
c=0
10 IF (POINT(x+1,y)<>0 OR POINT(x-1,y)=0 OR POINT(x,y+1)<>0
OR POINT(x,y-1)<>0) THEN c=1 ELSE c=0
IF c=0 THEN 20
  REM "Cálculo de la probabilidad de depósito"
sum=0
FOR i=x-1 TO x+1
  FOR j=y-1 TO y+1
    sum=sum+POINT(i,j)
  NEXT j
NEXT i
p=t*(sum-No)/A+B
IF p>RND THEN 30
  REM "Desplazamiento aleatorio de partículas"
20 sel=RND
IF (sel<=0.333 AND POINT(x+1,y)=0) THEN x=x+1
IF (sel>0.333 AND sel<=0.666 AND POINT(x-1,y)=0) THEN x=x-1
IF (sel>0.666 AND sel<=1 AND POINT(x,y+1)=0) THEN y=y+1
IF x<-W THEN x=x+2
IF x>W THEN x=x-2
GOTO 10
30 con=con+1
LINE (x-.5,y-.5)-(x+.5,y+.5),,bf
WEND
40 END

```

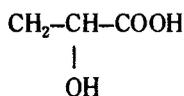
## REACTIVOS

### Respuesta a: Examen de admisión de química para las universidades japonesas

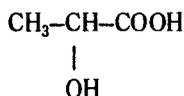
#### Aclaración:

En el Reactivo publicado en el número anterior (*Educ. quím.* 3[4]), en la parte II, pregunta 3, inciso (a) -p. 309- dice: a. Se tienen 10 mL de una solución en la que se disolvieron 0.960 g de una proteína... y debe decir: Se tienen 10 mL de una solución en la que se disolvieron 0.060 g de una proteína...

Por otra parte, en la parte V, pregunta 2, inciso (4) -p. 311- se presenta la siguiente fórmula:



cuando debería aparecer:



Sección	Pregunta #	Respuesta	Puntos
SECC. I (20 p.)	1	2 y 6	6 p.
	2a	2	10 p.
	2b	4	
	2c	2	4 p.
	3	2	
SECC. II (21 p.)	1a	5	8 p.
	1b	1	6 p.
	2a	3	
	2b	3	7 p.
	3a	3	
3b	1		

SECC. III (19 p.)	1a	3	7 p.
	1b	4	
	2	4	4 p.
SECC. IV (21 p.)	3	3 y 7	8 p.
	1a	4	11 p.
	1b	5	
	1c	2	
	2a	5	6 p.
2b	6	4 p.	
3	1		
SECC. V (19 p.)	1	2	7 p.
	2a	1	
	2b	4	4 p.
	3	5	
	4	2	4 p.



**Oficina:** Akzo Chemicals, S.A. de C.V.  
Insurgentes Sur 1106-7  
03720 México, D.F.  
Tels. 559.75.11 y 559.85.44  
Fax 559.40.07 Telex 1761204 Hexame

**Planta:** Km 20.7 Carr. México-Texcoco  
Los Reyes La Paz, Edo. México  
Tels. 855.29.10 y 855.28.11  
Fax. 855.58.48

**PERTENECE AL GRUPO :**

AKZO CHEMICALS, B.V.  
HOLANDA

AKZO CHEMICALS, INC.  
U.S.A.

**FABRICANTE DE ESPECIALIDADES QUIMICAS  
DE ALTA TECNOLOGIA  
PARA LAS INDUSTRIAS**

**De Plásticos y Polimerización**

Peróxidos Orgánicos  
Percarbonatos  
Azo Compuestos  
Pigmentos Dispersados para Poliester  
Película Separadora  
Persulfato de Potasio y Amonio

**De Pinturas y Tintas**

Octoatos metálicos  
Naftenatos y linoleatos  
Agentes Antinata  
Biocidas

**De Resinas**

Acido Fumárico  
Iniciadores de Polimerización  
Catalizadores de Cobalto

**De Aditivos para Alimentos**

Acido Fumárico Soluble  
Blanqueadores de Harina

**CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD - SERVICIO TECNICO**