

¿CUÁNDO MOJA? ¿CUÁNDO NO?

Pedro Roquero, Vicente Talanquer y Glinda Irazoque*

PARA SABER, ...

La experiencia cotidiana nos ha enseñado que la mayoría de los líquidos, a diferencia de los sólidos y los gases, mojan. Sin embargo, también hemos aprendido que la capacidad de un fluido para extenderse sobre una superficie depende de las características físicas y químicas de los sistemas en contacto. Así sabemos que, el agua moja al vidrio pero forma gotas cuando hay un poco de grasa sobre la superficie de este sólido; si el mercurio no fuera tan tóxico, un ser humano podría atravesar nadando una alberca repleta con este metal y salir de ella sin que una sola gota mojara su piel; el teflón, el polietileno, el grafito, el poliestireno, etcétera, son materiales a los que el agua no moja, sin embargo, el líquido se extiende con facilidad sobre la porcelana, el yeso y muchos metales.

Conocer las propiedades de mojado de una sustancia resulta de gran interés práctico pues determinan su utilidad como impermeabilizante, detergente, emulsificante, espumante, humectante, lubricante, etcétera (Robledo, 1984). El que un líquido moje o no una superficie sólida o la interfase entre dos fluidos es en muchas ocasiones la base de procesos tecnológicos importantes que van desde la extracción terciaria de petróleo, hasta la recuperación de minerales por flotación, pasando por técnicas comunes de limpieza, impresión, moldeo, destintado, etcétera (de Gennes, 1985). El agua no es el único líquido que moja; mojar no es sólo empapar. El fenómeno es el mismo si humedecemos la ropa o queremos pintar bien una pared. Es importante tener esto presente.

Para saber si un líquido es capaz de mojar un sustrato sólido, estando el sistema a ciertas condiciones determinadas, basta colocar una gota del material sobre la superficie y analizar el valor de su ángulo de contacto θ . Este se define (Figura 1) como el ángulo formado por el plano

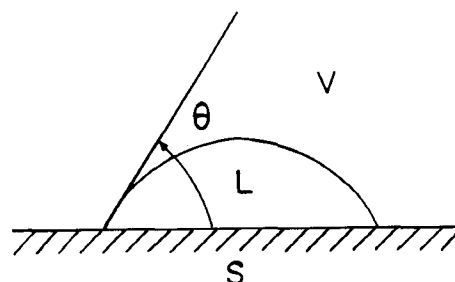


Figura 1. Ángulo de contacto en un sistema sólido-líquido-vapor.

de la pared y un plano tangente a la superficie entre los fluidos en algún punto sobre la línea de contacto de las tres fases (Adamson, 1976). Si este ángulo es nulo, la gota se extiende perfectamente y decimos que el mojado es total (Figura 2a); si el ángulo se encuentra entre 0° y 180° , el mojado es tan sólo parcial (Figura 2b), y en la condición límite de 180° se alcanza un régimen de secado total o perfecto (Figura 2c; Leibler, 1985).

En 1805, Thomas Young estableció que en ausencia de gravedad, o despreciando sus efectos, el ángulo de contacto está completamente

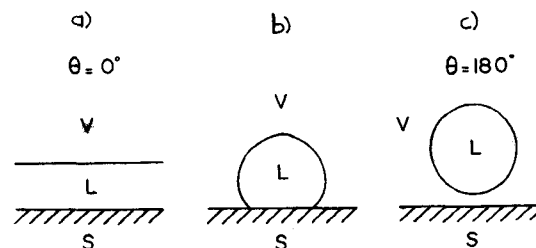


Figura 2. Regímenes de mojado a) total, b) parcial y c) secado en un sistema sólido-líquido-vapor.

* Facultad de Química, UNAM, División de Estudios de Posgrado, 04510, México, D.F.

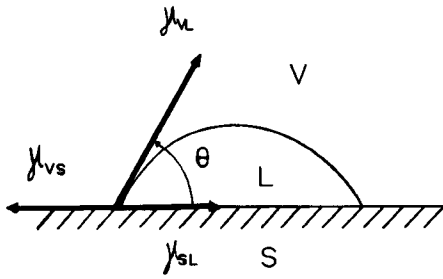


Figura 3. El balance de las tensiones interfaciales en la dirección paralela a la pared da lugar a la ecuación de Young.

determinado por las tensiones superficiales que corresponden a las tres interfases que se encuentran en la línea de contacto entre la gota y el sustrato (sólido-líquido, sólido-vapor y líquido-vapor). La relación que lo define se obtiene imponiendo la condición de equilibrio a las fuerzas que actúan paralelas a la superficie sólida en la línea de unión (Figura 3) (Dietrich, 1987):

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LS} + \gamma_{LV}\cos(\theta) \quad \text{Ecuación de Young}$$

$$\cos(\theta) = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LV}} \quad (1)$$

donde γ_{ij} es la tensión superficial asociada al par de fases i,j .

De estas ecuaciones es claro que la naturaleza del "mojado" puede modificarse en la medida que seamos capaces de alterar una o varias de las tensiones superficiales involucradas. Para lograrlo se nos abren dos posibilidades, adicionar nuevos componentes o cambiar la temperatura; ambos caminos pueden llevarnos a observar transiciones entre regímenes de mojado parcial a total, de parcial a secado, o viceversa.

Cambiar la composición química del sistema para modificar sus propiedades de mojado es una práctica común en muchos procesos tecnológicos y aún en la vida cotidiana. Un ejemplo típico lo encontramos en la acción de detergentes y jabones que facilitan el mojado de la superficie a limpiar, por disminución de la tensión superficial entre el líquido y el vapor ($\gamma_{LV} \rightarrow 0$, $\cos(\theta) \rightarrow 1$, $\theta \rightarrow 0$, de la ecuación 1). El efecto de la temperatura es quizá menos evidente pero su estudio teórico y experimental ha transformado radicalmente las concepciones científicas en este campo (Sullivan, 1986).

De particular interés resulta el comportamiento de mojado, frente a un sustrato sólido, de un líquido en coexistencia con su vapor, o de dos líquidos inmiscibles en equilibrio cuando la

temperatura se incrementa obligando al sistema a alcanzar su punto crítico (ahí la distinción entre ambas fases desaparece). Este caso fue analizado teóricamente por J. W. Cahn en 1977 (Cahn, 1977) y predijo la existencia de una transición de mojado parcial ($0^\circ < \theta < 180^\circ$) a mojado total ($\theta = 0^\circ$) antes de alcanzar la temperatura crítica del fluido puro o de la mezcla (Figura 4). La predicción de Cahn abrió las puertas del nuevo mundo de las transiciones superficiales y capturó la atención de grandes sectores de la comunidad científica internacional. Surgieron entonces muchas preguntas: ¿la transición se da de manera continua (segundo orden) o abrupta (primer orden)?, ¿la presentan todo tipo de materiales?, ¿qué sucede si no hay coexistencia de

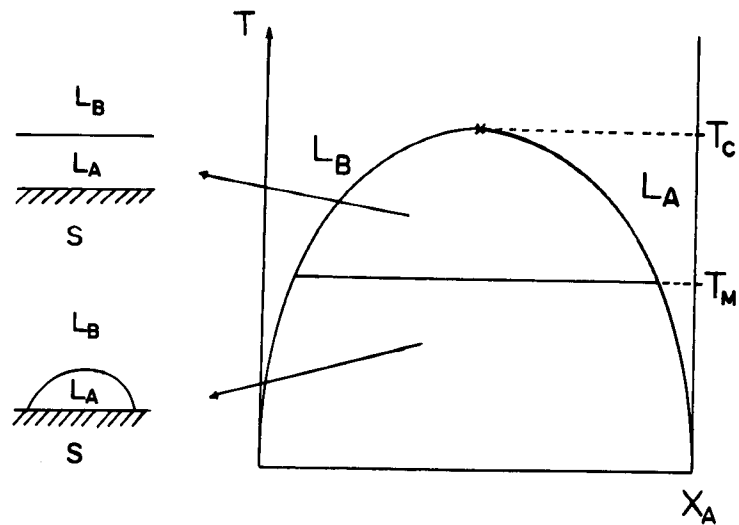


Figura 4. La transición de mojado se da a una temperatura (T_m) inferior a la temperatura crítica (T_c) para una mezcla binaria cuyas fases en coexistencia están en contacto con una pared.

fases?, ¿es necesaria la presencia de una superficie sólida, o el fenómeno también se presenta en la interfase de dos fluidos?

El análisis teórico del problema ha permitido dar respuesta a muchas de estas interrogantes y, por ejemplo, hoy se sabe que la naturaleza de la transición de mojado es fuertemente dependiente de la intensidad y alcance de las fuerzas intermoleculares que actúan entre las partículas constituyentes del sistema (Dietrich, 1987). La teoría predice la posible existencia de transiciones de mojado continuas y discontinuas según las características particulares del modelo empleado. De manera similar abre la posibilidad de observar cambios bruscos en la adsorción superficial de un componente aún cuando no se satisfagan las condiciones para la

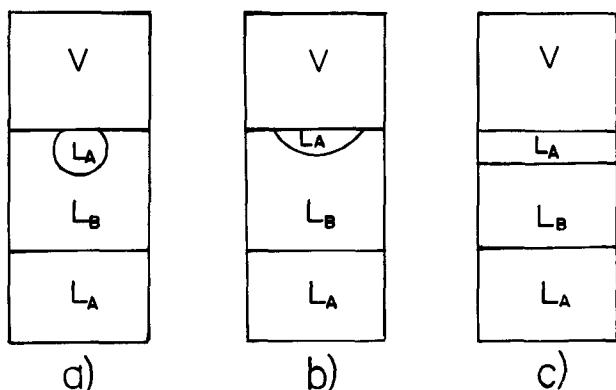


Figura 5. Regímenes de mojado en la interfase fluida de un sistema en coexistencia de tres fases. a) y b) Mojado parcial. c) Mojado total.

coexistencia de fases (a este fenómeno se le llama premojado). Para mezclas binarias A-B que presentan coexistencia de tres fases —líquido A (L_A), líquido B (L_B) y vapor (V)— a diferentes temperaturas, los modelos teóricos desarrollados señalan la posibilidad de observar una transición de mojado a una temperatura T_m menor que la crítica (Varea, 1985); en ella el líquido más volátil se inmiscuye completamente entre las otras dos fases (Figura 5). Este hecho resulta de gran importancia pues tiene influencia directa sobre la rapidez a la que se produce la separación de fases (debido a que el tipo de mojado influye en las características de nucleación de las fases), la capacidad espumante de la mezcla, la estabilidad de sus emulsiones, etcétera.

Muchas de estas predicciones, pero no todas, han sido verificadas por los diversos grupos experimentales que desde 1977 se han preocupado por el fenómeno de mojado. En boca de los experimentales siguen quedando las últimas palabras sobre los rasgos peculiares de este tipo de transiciones superficiales, y es por ello que resulta conveniente discutir como se están enfrentando al problema.

EXPERIMENTAR, ...

La tarea de verificar en el laboratorio los resultados derivados de la teoría de mojado quedó en manos de diversos grupos de investigación experimental, que han logrado hasta la fecha éxitos importantes recurriendo a diferentes métodos de trabajo.

Principalmente se han empleado dos técnicas básicas para observar el fenómeno y seguir las transiciones de mojado modificando las con-

diciones de trabajo de los sistemas bajo estudio (Adamson, 1976). El primer método consiste en fotografiar las gotas y las interfases en que se forman, midiendo después los ángulos de contacto sobre fotografías tomadas en placas de vidrio o algún material indeformable. El otro método de uso común es una técnica óptica conocida como elipsometría, que consiste en la determinación del régimen de mojado mediante la diferente refracción de luz que produce un sistema que presenta mojado total (Figura 2a), comparada con la que produce uno en que sólo se tiene mojado parcial (Figura 2b); este método permite también determinar los espesores de las capas de las fases líquidas.

Con el fin de detectar la presencia de una transición de mojado es posible seguir dos caminos; o se modifica la temperatura de los sistemas, o bien, se cambia su composición agregando a la mezcla pequeñas cantidades de un nuevo componente. Ambos procesos alteran las propiedades de bulto y superficie de las fases en coexistencia.

La primera transición de mojado que se observó fue la del sistema ciclohexano-metanol-agua; el experimento, llevado a cabo en 1980, consistió en agregar agua en diferentes cantidades a una mezcla de ciclohexano y metanol, y tomar fotografías de la interfase con el aire. De esta forma se pudo seguir el cambio paulatino en los ángulos de contacto, hasta finalmente encontrar una transición que llevaba de mojado total a mojado parcial (Moldover, 1980).

Para observar cualitativamente esta transición, se puede reproducir el experimento con seis tubos de ensayo de fondo plano, a los que se les agrega la misma cantidad de metanol (L_A , 10 mL) y ciclohexano (L_B , 7 mL), asegurándose de conseguir una composición dentro del domo de inmiscibilidad de esta mezcla. El contraste entre las fases se incrementa si se colorea la fase rica en metanol con azul de metileno. El primer tubo se deja como testigo y a los restantes se les agrega agua cada vez en mayor proporción para observar el avance de la transición (Figura 6).

Es sorprendente que un experimento tan sencillo y accesible, nos permita por un lado observar como bajo ciertas condiciones el líquido más volátil L_A , desafiando a la gravedad, se mete completamente entre las otras dos fases presentes (L_B y aire); mientras por otro, nos muestra el tránsito de un estado de mojado total a mojado parcial en función de la cantidad de agua presente (Figura 6).

El cambio de régimen de mojado también se observa trabajando con una secuencia de mezclas binarias que comparten un componente co-

mún, mientras el otro forma parte de una serie homóloga (Kahlweit, 1988). Para ejemplificar este caso, se adicionan 10 mL de metanol a tres diferentes tubos de ensayo, dejando caer sobre la superficie gotas de hexano, octano y dodecano. Cuando se observa la interfase con el aire los resultados muestran una transición monótona de mojado total \rightarrow mojado parcial \rightarrow secado perfecto a medida que n aumenta: el hexano se extiende sobre la superficie (Figura 7a), el octano forma un hemisferio (Figura 7b) y el dodecano forma un glóbulo que flota debajo de la interfase líquido/aire (Figura 7c).

La transición de mojado también se da con la simple modificación de temperatura. Tal es el caso de mezclas como isopropanol con perfluorometil ciclohexano (Schmidt, 1983), alcoholes lineales (metanol a hexanol) con perfluorometil ciclohexano (Schmidt, 1987), agua con diferentes alcanos (Kahlweit, 1988), etcétera. Para todos estos casos se pasa de mojado parcial a total con el aumento de temperatura.

Como se ha podido ver, todo el trabajo realizado relativo al fenómeno de mojado es reciente y falta todavía mucho por hacer. Por ejemplo no se ha observado experimentalmente para ningún caso la zona de premojado que la teoría predice; la mayoría de las transiciones observadas son de primer orden, y cuando se ha reportado la posibilidad de una transición de segundo orden no se cuenta con evidencia concluyente (Trejo, 1988). No se han observado transiciones de mojado en los casos en contacto con una pared sólida; existen además anomalías en algunos sistemas en que se ha obtenido mojado total con el descenso de temperatura (de Gennes, 1985), lo cual no concuerda con las predicciones del modelo teórico.

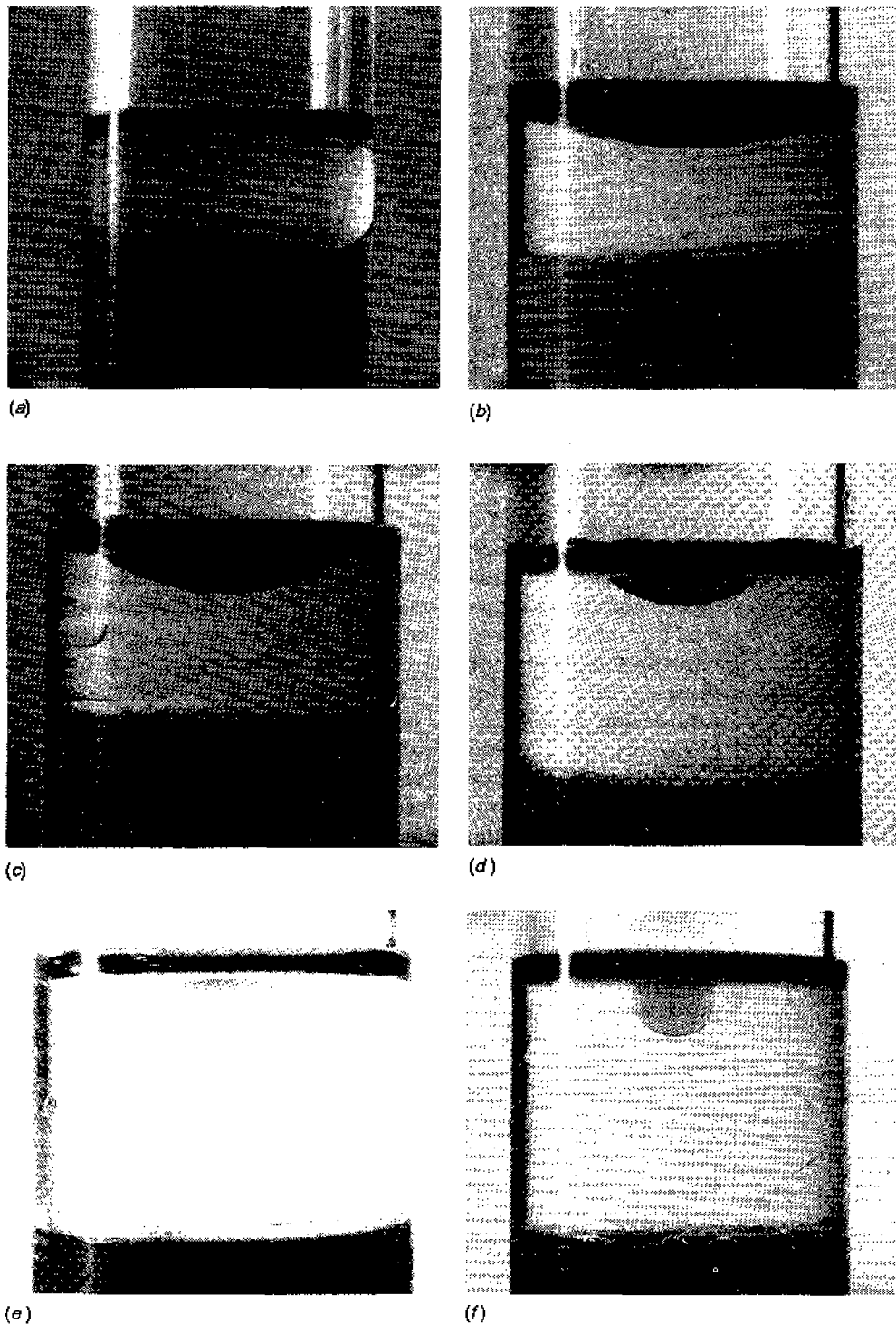


Figura 6. Fotografías para el sistema metanol-ciclohexano con diferentes cantidades de agua. a) 0 mL, b) 0.1 mL, c) 0.2 mL, d) 0.4 mL, e) 0.7 mL y f) 1.0 mL.

... Y SIMULAR

Las propiedades de mojado de un fluido simple o una mezcla binaria en contacto con una pared pueden simularse computacionalmente haciendo uso del método Monte Carlo para un modelo tipo Ising simple (Binder, 1985). En este modelo se considera que el sistema bajo estudio queda bien representado por un conjunto de N partícu-

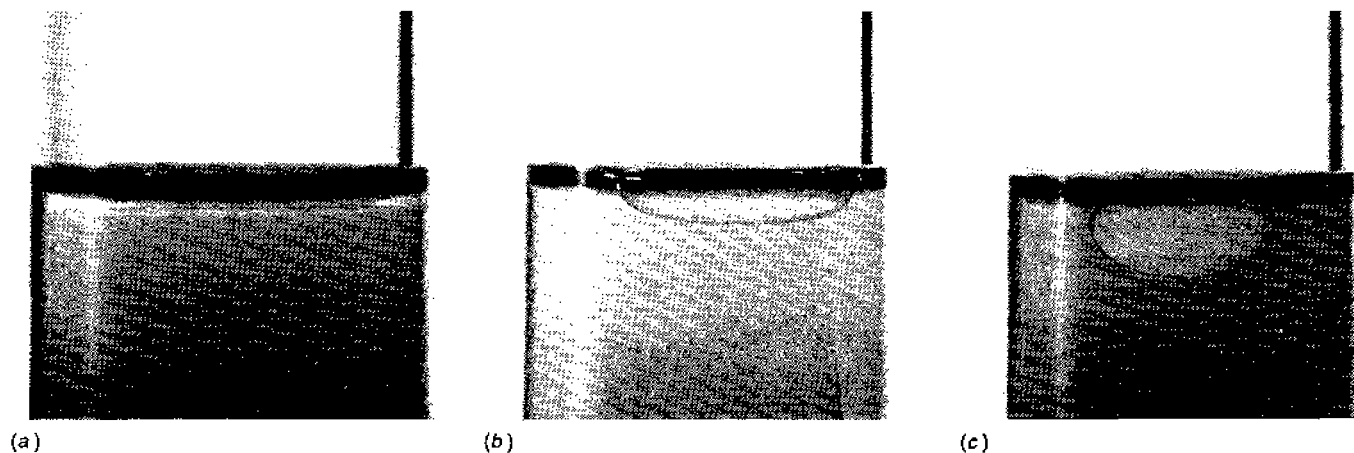


Figura 7. Fotografías para las mezclas metanol-n-alcanos. a) Hexano, b) octano y c) dodecano.

las distribuidas sobre una malla regular, de manera que para cada celda de la red existen dos posibilidades de ocupación (vacío o lleno, A ó B, Figura 8). Estas partículas sólo interactúan con los primeros vecinos que las rodean, y tanto la intensidad como la naturaleza de la interacción dependen del valor y signo de un parámetro de acoplamiento J (Huang, 1963); J involucra a las interacciones entre los pares A-A, B-B, y A-B, o entre los pares vacío-vacío, lleno-lleño, y vacío-lleño dependiendo del caso en que se esté trabajando.

Cada arreglo específico de partículas sobre la malla elegida constituye una "configuración" del sistema; a temperatura constante y para un valor definido de J , existe un conjunto de configuraciones que minimizan la energía libre y caracterizan el estado de equilibrio del sistema de un componente en equilibrio líquido-vapor, o de la mezcla. En el método de simulación Monte Carlo se realiza un muestreo aleatorio del conjunto de configuraciones posibles para el sistema en estudio, asegurando que la distribución estadística total de los arreglos visitados sea similar a la que corresponde al estado de equilibrio (Binder, 1988).

El éxito de la simulación Monte Carlo depende de las características del algoritmo de muestreo que se seleccione. En el algoritmo de Metrópolis, que es uno de los más conocidos y utilizados, el cálculo se inicia estableciendo una configuración inicial aleatoria para realizar cambios sobre ella a través de la selección azarosa de una partícula o conjunto de partículas. La modificación que se introduce puede consistir en eliminar una partícula, cambiar su naturaleza, desplazarla, etcétera, y su costo energético determina la probabilidad de efectuarla. Si la probabilidad es mayor que un número aleato-

rio r entre 0 y 1, el cambio se acepta, en otro caso, se desecha y se prueba "suerte" en otra región del sistema.

Para cada configuración obtenida es posible estimar el valor de cantidades físicas de interés tales como la energía, la densidad, etcétera. Repitiendo un gran número de veces el proceso básico del algoritmo de Metrópolis, se conforma un conjunto de configuraciones representativas del estado de equilibrio y sobre él se realiza el promedio estadístico de las propiedades físicas relevantes (Binder, 1988).

En el programa de computadora que se incluye (escrito en Turbo Basic) presentamos la simulación computacional de un modelo de Ising bidimensional para una mezcla binaria A-B en contacto con una pared (que bien puede representar al aire en los experimentos de la sección anterior). La naturaleza de la mezcla está determinada por el parámetro de interacción J en la medida que para temperaturas menores a la crítica (T_C), $J > 0$ implica la segregación del sistema en dos fases, L_A y L_B , mientras que si $J < 0$ se tiene una sola fase ordenada (Talanquer, 1991).

El efecto del sustrato está controlado por el potencial de pared E , el cual, por simplicidad, sólo actúa sobre la capa de partículas en contacto directo con la superficie. Las características de mojado del sistema a una temperatura dada dependen del valor del cociente $\alpha = E/J$ y resulta muy interesante observar el tránsito entre regímenes de secado \rightarrow mojado parcial \rightarrow mojado total, a medida que esta razón se incrementa.

De manera aproximada puede verse que para $\alpha < 0.5$ se tiene secado total a toda temperatura, mientras que para $\alpha > 1$ domina mojado total. Para $0.5 < \alpha < 1$ la transición de mojado parcial a mojado total se observa en una tempera-

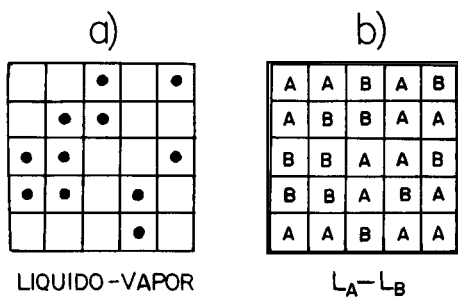


Figura 8. Representación del modelo de Ising para a) un fluido monocomponente y b) una mezcla binaria A-B.

tura menor a la crítica (Pandit, 1982). Con el objeto de observar la transición se deben mantener constantes J y E , así como el número de celdas y de configuraciones, y repetir la simulación varias veces aumentando la temperatura para acercarse al punto crítico de la mezcla.

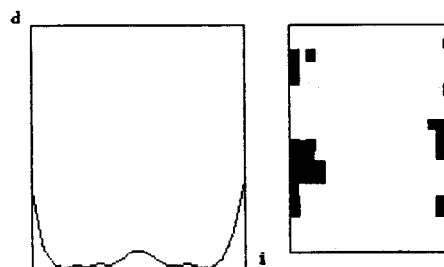
Para facilitar la simulación, se han elegido condiciones periódicas en las fronteras inferior y superior de la malla, y tanto la primera capa vertical como la última se suponen en contacto directo con una pared. En ese sentido el modelo corresponde a un líquido confinado entre dos superficies.

En el despliegue de la pantalla (Figura 9) se muestra la estructura de cada una de las configuraciones obtenidas al aplicar el algoritmo de Metrópolis, distinguiendo el estado de cada celda (A ó B) por el color asignado; en el algoritmo de muestreo se asegura que las celdas más visitadas sean las más cercanas a cada pared. Al finalizar el tránsito por el total de configuraciones elegidas, el programa calcula la densidad promedio del componente que se adsorbe como función de la distancia a cada superficie (perfil de densidad). El resultado se despliega como una gráfica y da una idea cualitativa del grado de adsorción superficial para las condiciones de trabajo que también se señalan en la pantalla.

La calidad de los resultados mejora entre mayor es el número de celdas que conforman la malla y más grande es el número de configuraciones visitadas. Las fluctuaciones en la densidad media se reducen considerablemente y las transiciones entre los diferentes regímenes de mojado son más definidas. Sin embargo, aún en las condiciones más limitadas, la simulación permite analizar en qué medida el "moja o no moja" depende de parámetros tales como la temperatura, y de la competencia entre los potenciales de interacción intermolecular y superficial.

Modelo para mojado sobre una superficie

$J= 1.0$ $T=1.5$ $E= 0.7$



Modelo para mojado sobre una superficie

$J= 1.0$ $T=1.5$ $E= 2.0$



Modelo para mojado sobre una superficie

$J= 1.0$ $T=2.2$ $E= 0.7$

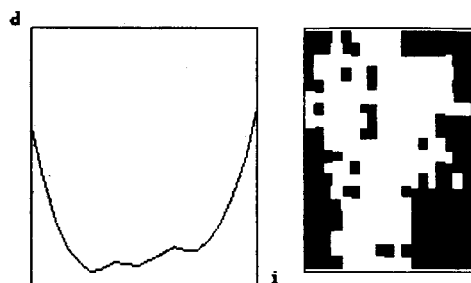


Figura 9. La simulación computacional permite estudiar las propiedades de mojado de una mezcla binaria en contacto con una pared como función de la temperatura (T), y los parámetros de interacción intermolecular (J) y superficial (E).

SIMULACIÓN MONTE CARLO PARA UNA MEZCLA BINARIA EN CONTACTO CON UNA PARED

```

DIM dens(41,41),mag(41),r1(41),suma(12000)

      REM "Incorporación de datos"
LOCATE 3,1
INPUT "Cuántas celdas por lado de la malla (de 10 a
40 y par) ";nc
INPUT "Dame el número total de configuraciones
(10-12000) ",conf
INPUT "Dame el parámetro de interacción J ",jj
IF jj>0 THEN PRINT "Tu mezcla segrega" ELSE PRINT
"Tu mezcla ordena":tc=2.269178*ABS(jj)
PRINT "La temperatura crítica del sistema infinito
es=",tc
INPUT "Dame la temperatura ",t
INPUT "Dame el potencial de pared E ",h
CLS:SCREEN 1

      REM "Instrucciones para la representación gráfica"
LOCATE 1,1
a$="Modelo para mojado sobre una superficie"
PRINT USING "\
LOCATE 4,2:PRINT USING "\ \";"J="
LOCATE 4,4:PRINT USING "##.##";jj;
LOCATE 4,18:PRINT USING "\ \";"T="
LOCATE 4,20:PRINT USING "##.##";t;
LOCATE 4,32:PRINT USING "\ \";"E="
LOCATE 4,34:PRINT USING "##.##";h;
WINDOW (-0.1*nc,-0.1)-(2.2*nc,1.35)
LINE (1,0)-(nc,1),,B
LOCATE 6,2:PRINT USING "\ \";"d"
LOCATE 23,21:PRINT USING "\ \";"i"
WINDOW (-1.75*nc,-0.15*nc)-(1.4*nc,1.45*nc)
LINE (0.7,0.7)-(nc+1.3,nc+1.3),,B

      REM "Condiciones Iniciales Aleatorias"
RANDOMIZE TIMER
FOR i=1 TO nc/2
  mag(i)=0
  FOR j=1 TO nc
    IF RND>0.75 THEN dens(i,j)=-1 ELSE dens(i,j)=1
    dens(nc-i+1,j)=dens(i,j)
    IF dens(i,j)=1 THEN c=1 ELSE c=2
    LINE (i,j)-(i+1,j+1),c,BF
    LINE (nc-i+1,j)-(nc-i+2,j+1),c,BF
    mag(i)=mag(i)+dens(i,j)
    mag(nc-i+1)=mag(i)
  NEXT j
NEXT i

      REM "Inicia el cálculo de nuevas configuraciones"
FOR k=1 TO conf

      REM "Se establecen condiciones periódicas"
FOR i=1 TO nc
  dens(i,0)=dens(i,nc):dens(i,nc+1)=dens(i,1)
NEXT i

      REM "Se determina la nueva configuración de las
celdas"
z=RND
IF z<=.4 THEN i=INT(nc*RND/4+1)
IF z>.4 AND z<.6 THEN i=INT(nc*(1+2*RND)/4+1)
IF z>=.6 THEN i=INT(nc*(3+RND)/4+1)
m=INT(2*RND+1)
FOR j=m TO nc STEP 2
  s=dens(i+1,j)+dens(i-1,j)+dens(i,j+1)+dens(i,j-1)
  z1=-dens(i,j)
  IF (i=1 OR i=nc) THEN z2=EXP((2*z1*(jj*s+j-
h))/t) ELSE z2=EXP(2*z1*jj*s/t)
  IF RND>z2 THEN 15
  dens(i,j)=z1
  mag(i)=mag(i)+2*dens(i,j)

```

```

IF dens(i,j)=1 THEN c=1 ELSE c=2
LINE (i,j)-(i+1,j+1),c,BF
15 NEXT j
FOR p=1 TO nc
  suma(p)=mag(p)+suma(p)
NEXT p
NEXT k
WINDOW (-0.1*nc,-0.1)-(2.2*nc,1.35)
suma(1)=suma(1)/(conf*nc)
r1(1)=(1-suma(1))/2
PSET (1,r1(1)),2
FOR i=2 TO nc
  suma(i)=suma(i)/(conf*nc)
  r1(i)=(1-suma(i))/2
  LINE -(i,r1(i)),2
NEXT i
END

```

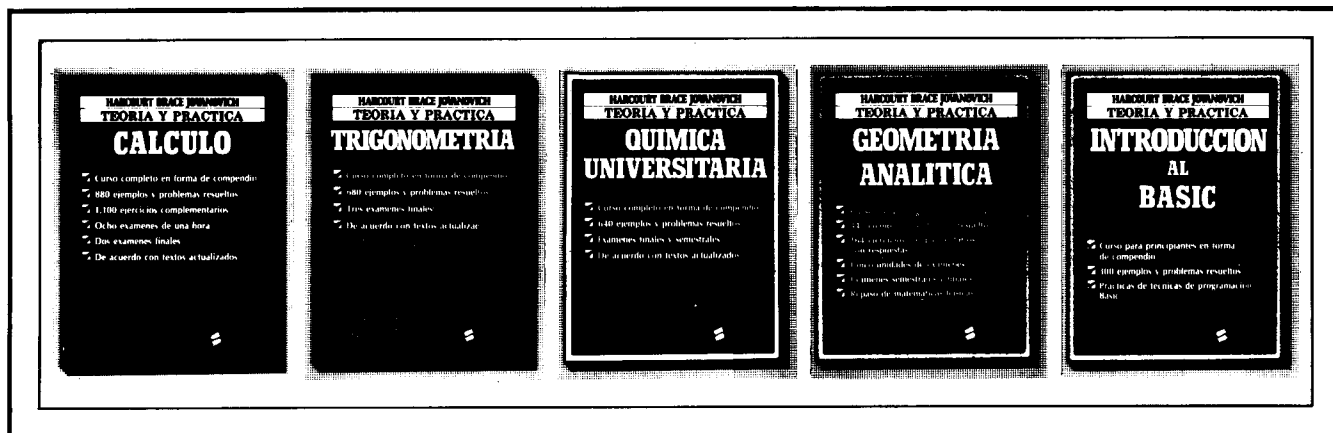
EXTRAS

Como siempre y disculpándonos por la omisión en el número anterior, los autores le agradecen a Guillermo Sosa su valiosa colaboración en la toma de fotografías.

BIBLIOGRAFÍA

- Adamson, A. W. *Physical chemistry of surfaces*. 3rd edition. John Wiley and sons; USA, 1976.
- Binder, K. and Landau, D. P. *J. Appl. Phys.* **57**, 3306 (1985).
- Binder, K. and Heermann, D. W. *Monte Carlo simulation in statistical physics*. Springer-Verlag; Germany, 1988.
- Cahn, J. Critical point wetting. *J. Chem. Phys.* **66**, 3667 (1977).
- de Gennes, P. G. Wetting: Statics and Dynamics. *Rev. Mod. Phys.* **57**, 827 (1985).
- Dietrich, S. *Wetting Phenomena in Phase Transitions And Critical Phenomena* (12) edited by C. Domb and J. Lebowitz (Academic Press, London), 1987.
- Huang, K. *Statistical Mechanics*. Capítulos 15 y 16. John Wiley and Sons; USA, 1963.
- Kahlweit, M., Busse, G., Haase, D., Jen, J. Wetting-nonwetting transition at the liquid-air interface of methanol-cyclohexane-water mixtures. *Phys. Rev. A.* **38**, 1395 (1988).
- Leibler, S. y Brézin, E. Mojado de una pared: una nueva transición de fase. *Mundo Científico.* **4**[39] 841 (1985).
- Moldover, M. R. and Cahn, J. W. An interface phase transition: Complete to partial wetting. *Science.* **207**, 1073 (1980).
- Pandit, R., Schick, M., and Wortis, M. *Phys. Rev. B.* **26**, 5112 (1982).
- Robledo, A. Las transiciones interfaciales. *Ciencia.* **35**, 143 (1984).
- Schmidt, J. W. and Moldover, M. R. First-order wetting transition at a liquid-vapor interface. *J. Chem. Phys.* **79**, 379 (1983).
- Schmidt, J. W. Systematics of wetting at the vapor-liquid interface. *J. Coll. Int. Science.* **122**, 575 (1987).
- Sullivan, D. E. and Telo da Gama, M. M. in *Fluid Interfacial phenomena* edited by C.A. Croxton (Wiley, NY), 1986.
- Talanquer, V. e Irazoque, G. Transiciones de fase y universalidad. *Educ. quím.* **2**[2] 59 (1991).
- Trejo, L. M., Gracia, J., Varea, C. and Robledo, A. Possibility of continuous wetting transition at the liquid-vapour interface of the binary liquid mixture cyclohexane+acetone. *Europhys. Lett.* **7**, 537 (1988).88).
- Varea, C. Fisicoquímica de superficies. *Ciencia y desarrollo.* **63**, 79 (Julio-Agosto 1985).







SERIE
TEORIA Y PRACTICA
HARCOURT BRACE JOVANOVICH



Esta serie contiene puntos clave para el aprendizaje actualizado, conciso y completo para los primeros semestres de carreras de las áreas:

Económico Administrativa, Físico Matemática,
Química y Computación.

En cada título se incluyen:

-  Cursos para principiantes en forma de compendio
-  Ejemplos y problemas resueltos
-  Ejercicios complementarios
-  Exámenes semestrales y finales
-  Textos actualizados
-  Repaso de conocimientos básicos



SITESA
SISTEMAS TECNICOS
DE EDICION, S.A. de C.V.

San Marcos 102, Col. Tlalpan
Delegación Tlalpan
Código postal 14000. México, D.F.
Apartado Postal 22-311. México 14060 D.F.