

Por una democracia sin huesos (ni duros ni de los otros)

Rafael Fernández Flores y Jorge Martínez Peniche

Parece existir en la naturaleza una propensión a la igualdad (democracia) que hace que un objeto caliente tienda a equilibrar su temperatura con la del medio ambiente; que una bocanada de humo resulte, a la larga, igualmente molesta para todos los asistentes a la discoteca, independientemente de qué tan cerca o lejos se encuentren de quien la lanzó al aire; que un globo estalle al hacersele un orificio, como consecuencia de una súbita nivelación de la presión del aire exterior con la del aire interior; o que los electrones se muevan a través de un conductor de la zona donde hay más a la zona donde hay menos. Estos hechos más o menos cotidianos son el objeto de estudio de la "terrible" asignatura de Fenómenos de Transporte, aunque en rigor el relativo al movimiento de los electrones dentro de un conductor constituye un tema del electromagnetismo. Por cierto, a esta última asignatura, en los resultados de la encuesta realizada entre los estudiantes de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM (Ríos Patrón, 1990), no se le concede mayor grado de dificultad. Este hecho sugiere que una metodología alternativa para introducir al estudiante a los fenómenos de transporte es precisamente a través de una antigua conocida suya: la Ley de Ohm, que expresada en los mnemotécnicos términos de la secundaria es **Victoria, Reina de Inglaterra**.

$$V = RI$$

En esta expresión aparecen ya los tres elementos centrales de los fenómenos de transporte: una fuerza originada por la desigualdad en los valores de una magnitud física, en este caso el potencial eléctrico (V), un movimiento, aquí de electrones, cuantificado por unidad de tiempo (I) y una medida de la dificultad que encuentran los electrones para moverse a través de un medio (R). Es útil, en la búsqueda de una generalización, servirse de representaciones alternativas de estas cantidades: en lugar de la diferencia de potencial eléctrico se especifica la manera en que esta diferencia varía

lo largo de la dirección en la cual los electrones se están moviendo, la denotaremos como $\Delta V/\Delta z$.¹ El número de electrones por unidad de tiempo, conviene referirlo también a la unidad de área; esta cantidad se llama flujo eléctrico y genéricamente podemos denotarla por Q_E . Finalmente, la medida de la dificultad para moverse a través de un medio se describe en términos de una propiedad del medio que es la conductividad, denotada κ_E . Con estos cambios, la ley de Ohm toma la forma:

$$Q_E = -\kappa_E \frac{\Delta V}{\Delta z}$$

Así reescrita, la ley descubierta en 1826 por el físico alemán George Simon Ohm, señala la relación entre una fuerza ($\Delta V/\Delta z$) que empuja a los electrones, la facilidad (κ_E) que encuentran para circular a través de un medio y la cantidad de ellos que pasa cada segundo a través de un área de un metro cuadrado en el sistema de unidades MKS.

Apenas es necesario dar argumentos para convencer de que el bombeo de agua a través de una tubería es un problema similar al de un circuito eléctrico, en el que la diferencia de potencial se logra usando una batería. La batería se ve reemplazada por una bomba, la resistencia eléctrica por la fricción en el tubo y el flujo de electrones por el flujo de agua:

$$Q_M = -\kappa_M \frac{\Delta P}{\Delta z}$$

Así, la fuerza $\Delta V/\Delta z$ que hacía moverse a los electrones en un circuito eléctrico es ahora $\Delta P/\Delta z$, pero la relación general entre la fuerza, la facilidad de moverse² (conductividad) y la corriente o flujo se mantiene la

¹ Aquí estamos suponiendo una variación uniforme de esta cantidad con la distancia. En el caso más general en que no ocurre así, esta expresión debe sustituirse por la derivada del potencial con respecto a la distancia; sin embargo, un tratamiento matemático más formal no aporta mayor cosa al propósito de este escrito.

² En un análisis más detallado debería precisarse que el valor de la constante de proporcionalidad depende de una propiedad del fluido que circula, su viscosidad, y del diámetro de la tubería.

misma. La expresión que describe el comportamiento del fluido se conoce como ecuación de Poiseuille.

De forma análoga, una diferencia de concentración de una sustancia, como en el caso del humo en la discoteca, produce una fuerza $\Delta C/\Delta z$ (donde C es la concentración) que impulsa a las partículas de una sustancia (humo, por ejemplo) a moverse a través de otra (aire) con mayor o menor facilidad, cuantificada por el coeficiente de difusión κ_D . Ambas cantidades se relacionan con la cantidad de partículas que fluyen a través de un metro cuadrado en un segundo. Ésta es la descripción de la Ley de Fick, que simbólicamente se escribe:

$$Q_D = -\kappa_D \frac{\Delta C}{\Delta z}$$

En el caso de gases es posible a través de la ecuación de estado, por ejemplo la del gas ideal, reescribir la ley de Fick en términos de un gradiente de presiones, obteniéndose una expresión análoga a la de Poiseuille para el flujo de un líquido. En este caso la constante de proporcionalidad entre el flujo de masa y la fuerza que lo produce será función de la temperatura.

Se sabe igualmente que existe una relación similar entre la fuerza $\Delta T/\Delta z$ que hace fluir energía del centro de un objeto caliente a su superficie más fresca, la facilidad κ_T que encuentra el calor para moverse a través del objeto y la cantidad de energía que atraviesa un metro cuadrado en un segundo. Simbólicamente:

$$Q_q = -\kappa_q \frac{\Delta T}{\Delta z}$$

Esta ecuación se conoce como ecuación de Fourier.

Como se ha estado haciendo énfasis, las cuatro ecuaciones tienen la misma forma (ver Tabla I):

$$\text{Flujo} = -(\text{conductividad}) \times (\text{fuerza})$$

En todos los casos la fuerza que orilla al transporte se debe a una diferencia de potencial eléctrico, presión, temperatura o concentración; por lo tanto, al equilibrarse éstos cesará el movimiento.

¿Duro de roer? ¡Provecho!

Referencias

Ríos Patrón, Ernesto, *Eduq. quím.* 1[3] 140 (1990).

Tabla I

Ley de Ohm	$Q_E = -\kappa_E \frac{\Delta V}{\Delta z}$
Ley de Poiseuille	$Q_M = -\kappa_M \frac{\Delta P}{\Delta z}$
Ley de Fourier	$Q_q = -\kappa_q \frac{\Delta T}{\Delta z}$
Ley de Fick	$Q_D = -\kappa_D \frac{\Delta C}{\Delta z}$

Datos curriculares de Rafael Fernández Flores

- Físico egresado de la Facultad de Ciencias de la UNAM.
- Doctor en Ingeniería del Instituto Politécnico de Toulouse, Francia.
- Pasante del doctorado en Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM.
- Mención "ASSEZ BIEN" en el Diploma de Estudios a Profundidad, Instituto Politécnico de Toulouse, Francia.
- Profesor definitivo en las asignaturas Física V, Física VI y Ecuaciones Diferenciales de las carreras de Química e Ingeniería Química.
- Profesor Titular "B", Tiempo Completo, Definitivo en el área de Fenómenos Ondulatorios.
- Candidato al Premio Universidad Nacional 1985 a propuesta del H. Consejo Técnico de la FES-Cuautitlán.
- Asesor técnico en 1986 del Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Responsable del grupo de investigación en Flujo a dos Fases en la FES-Cuautitlán.
- Ha publicado artículos de investigación en revistas internacionales y ensayos de divulgación científica, y tiene dos libros en prensa.
- Delegado ante el Congreso Universitario.
- Actualmente funge como Secretario Académico de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM.

Datos curriculares de Jorge Rafael Martínez Peniche

- Ingeniero químico egresado de la Facultad de Química de la UNAM.
- Mención Honorífica en el examen profesional con la tesis *Estudio Teórico del Espectro Electrónico del Ferroceno*.
- Pasante de la maestría en Química (Especialidad Fisicoquímica) de la Facultad de Química de la UNAM.
- Profesor Definitivo en las asignaturas Fisicoquímica I y Química Inorgánica I de las carreras de Química e Ingeniería Química de la FES Cuautitlán, y de la asignatura Estructura de la Materia de la Facultad de Química.
- Profesor Titular "A" Tiempo Completo, Definitivo en el área de Química Inorgánica (Espectroscopía de Compuestos de Coordinación) en la FES Cuautitlán.
- Premio Hylleraas 1981 del Instituto de Verano en Química Cuántica, Física del Estado Sólido y Biología Cuántica, Universidad de Uppsala, Suecia y Universidad de Florida, EEUU.
- Ha publicado artículos de investigación en revistas internacionales y ensayos de divulgación científica, traducido libros técnicos y tiene un libro en prensa.
- Actualmente es jefe de la División de Ciencias Químico Biológicas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM.