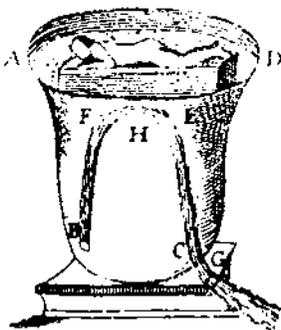


INTERCAMBIOS, COMENTARIOS



Y CRITICAS

En esta sección intentamos recoger, por una parte, los comentarios y críticas sobre los trabajos aparecidos, así como sugerencias de cualquier tipo que puedan contribuir a una mejora de la revista.

En segundo lugar pretendemos que estas páginas sirvan para dar a conocer la existencia de grupos de trabajo y facilitar así los contactos e intercambios.

También pensamos que puede ser de interés el conocimiento de las líneas de trabajo seguidas por los distintos grupos, que pueden enviar breves resúmenes de sus actividades.

Por último contemplamos la posibilidad de favorecer los intercambios objeto de esta sección con la publicación de algunas entrevistas y mesas redondas.

DEBATES

AJUSTE DE ECUACIONES REDOX POR INSPECCION

J.M. MERINO DE LA FUENTE
ANA M^a DE DIEGO BEADE

Se expone en este trabajo un método de ajuste de ecuaciones Redox, por simple inspección, basado en unas sencillas reglas. También se realiza un análisis crítico de los métodos tradicionales de ajuste, juntamente con el que aquí se desarrolla.

Todo cálculo estequiométrico sobre un proceso químico requiere del previo ajuste de las ecuaciones correspondientes. La igualación de las ecuaciones relativas a reacciones ácido-base, de síntesis o de transposición no requiere en general, de especiales cuidados y, de no tratarse de reacciones muy complicadas, pueden ser ajustadas por simple inspección.

Si la ecuación química corresponde a un proceso de oxidación-reduc-

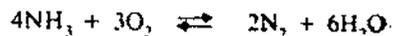
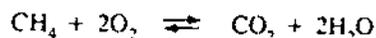
ción lo habitual es recurrir, a algún método de ajuste clásico, basado en la igualación del número de cargas eléctricas intercambiadas por las especies químicas reaccionantes, renunciando a priori a todo intento de igualación por inspección.

Los métodos más habituales de ajuste de ecuaciones redox son el del «cambio del número de oxidación» y del «ión-electrón». Uno y otro presentan ventajas e inconvenientes que a continuación comentaremos.

El método del «cambio del número de oxidación» se basa en reglas arbitrarias —excesivamente simplistas para muchos de los casos posibles— en orden a la asignación de los números de oxidación, como por ejemplo, la de asignar número de oxidación -1 al átomo de oxígeno de un grupo peroxo, o bien la de asignar números de oxidación $+1$ ó -1 al átomo de hidrógeno de un hidruro según que éste sea no metálico o metálico, respectivamente.

En la mayoría de los casos se asigna número de oxidación a átomos que se encuentran en moléculas, unidos a otros átomos covalentemente, lo que supone una descripción formal de los hechos un tanto arbitraria. No obstante se trata de un simple convenio que por otro lado resulta coherente, puesto que su aplicación tiene por objetivo la resolución del problema del ajuste, lo que sí consigue, al igual que otros métodos.

En muchas reacciones, generalmente consideradas como fenómenos redox, no está totalmente claro cómo y cuando se realiza el intercambio de electrones. Así ocurre en los compuestos con enlaces covalentes, tales como:



Así mismo muchas oxidaciones orgánicas están relacionadas con pro-

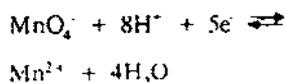
cesos de deshidrogenación, en los que no puede hablarse de cambios de estado de oxidación.

Pese a todo, el «cambio del número de oxidación» es un medio rápido y eficaz para igualar la mayoría de las ecuaciones redox. Además, la asignación de los números de oxidación suministra un medio simple de reconocer qué elementos se oxidan y cuales se reducen.

El método del «ión-electrón» tiene sobre el anterior tres ventajas fundamentales. En primer lugar, permite diferenciar los componentes de un sistema que reaccionan de los que no lo hacen. La segunda, que permite componer ecuaciones incompletas, ya que la aplicación de éste método comporta la aparición de términos como el H^+ , o el OH^- o H_2 que son necesarios en la reacción y que pueden no aparecer escritos en la ecuación propuesta.

Finalmente, y esto es lo más importante, dado que la mayoría de las reacciones redox pueden ser llevadas a cabo como procesos de pilas galvánicas, la reacción que tiene lugar en cada vaso corresponde exactamente a una semirreacción ión-electrón; de aquí que estas semirreacciones sean de un innegable interés desde el punto de vista electroquímico.

Las semirreacciones ión-electrón resultan de otro lado muy útiles para analizar qué especies tienen influencia sobre la fuerza oxidante o reductora, así por ejemplo, la semirreacción de reducción del ión permanganato en medio ácido:



delata la decisiva influencia de los iones H^+ sobre la fuerza del ión permanganato como oxidante.

Sin embargo, las semirreacciones ión-electrón han sido criticadas porque en algunas ocasiones son ficticias; esta dificultad se agudiza si el proceso tiene lugar en disolución no acuosa, donde los modos de disociación, si los hay, no son los habituales. Ello determina a menudo que el usuario de este método, dude al decidir si una ecuación es correcta o no.

En multitud de ocasiones se presen-

tan en forma iónica especies químicas que en realidad no se encuentran como tales, bien por su baja solubilidad, bien por su estructura misma. Incluso las sustancias que en disolución están disociadas, no lo están al ciento por ciento, por lo que la semirreacción ión-electrón representa tan sólo a una parte de las moléculas. Al propio tiempo, muchas sustancias no solubles (sólidos y gases) por razones obvias no pueden ser escritas en forma iónica.

Tratándose de reacciones orgánicas redox, por las razones expuestas antes, la aplicación de este método presenta serias dificultades. Otro tanto ocurre con el método del cambio del número de oxidación.

Vamos a ver que algunas de las dificultades anteriormente señaladas pueden ser total o parcialmente eliminadas mediante la aplicación de un sencillo método sistemático de ajuste, basado en la pura y simple inspección de la ecuación propuesta.

El método, que puede ser resumido en tres reglas, se debe al Prof. Jason Ling, de Hong Kong,¹ siendo su aplicación extremadamente sencilla. Dichas reglas son:

1. Señalar convenientemente los términos que deberán tener el mismo coeficiente en la ecuación ajustada, esto es, aquellos elementos que aparecen sólo una vez en cada lado de la ecuación, y en igual número a ambos lados.

2. Determinar los elementos que aparecen tan sólo una vez a ambos lados de la ecuación, pero en desigual número de átomos. Ajustar estos elementos en primer lugar.

3. Si hay elementos que han de estar presentes en la misma proporción a ambos lados de la ecuación, ajustar esos elementos de forma que se mantenga dicha relación. Esta regla se aplicará siempre que dos o más elementos aparezcan sólo de una vez, y en el mismo compuesto, a uno de los lados de la ecuación.

Aceptando que todo método de ajuste de ecuaciones químicas se basa en el principio de la constancia del número de átomos de una misma especie, es un hecho evidente que el más universal y directo de los métodos ha de consistir en el planteamiento de sistemas de ecuaciones (balance de masa).² La apli-

cación del método algebraico se ha popularizado sobremedidamente en los últimos tiempos con la introducción de los microordenadores, existiendo en la actualidad abundante bibliografía a este respecto.³

El método de Ling es, en esencia, el método algebraico, si bien los primeros pasos para el establecimiento y resolución del sistema correspondiente de ecuaciones, han sido algoritmizados en forma de reglas de fácil comprensión y aplicación.

En efecto, la primera regla corresponde a ecuaciones del tipo

$$x = y$$

y la segunda a ecuaciones de la forma

$$ax = by$$

donde x e y representan los coeficientes estequiométricos desconocidos y a y b los subíndices que indican el número de átomos de una especie por molécula.

La tercera regla, al referirse al caso en que dos o más elementos están afectados por el mismo coeficiente estequiométrico, corresponde a ecuaciones del tipo:

$$\begin{aligned} \alpha x &= \beta y + \gamma z + \dots \\ \delta x &= \lambda l + \epsilon r + \dots \\ \dots & \dots \dots \dots \\ \xi x &= \phi m + \rho n + \dots \end{aligned}$$

donde los símbolos griegos representan los subíndices y los latinos los coeficientes estequiométricos. Salta a la vista que estas ecuaciones puedan ser simplificadas, tanto en número como en forma, por la vía de la igualación entre sí.

Queda patente de esta forma que el uso de las reglas de Ling supone una serie de pasos para simplificar al máximo la ejecución del método algebraico, siendo suficiente en muchos casos la mera aplicación de estas reglas para llegar al conocimiento de todos los coeficientes estequiométricos de una ecuación dada (ejemplo nº 1). Es en estas ocasiones cuando puede afirmarse que las reglas de Ling constituyen un verdadero «método de inspección» para el ajuste de muchas ecuaciones redox.

Sin embargo, existen bastantes ca-

En los casos en que las reglas de Ling han de ser complementadas con un planteamiento algebraico. Esto sucede cuando el ajuste de un elemento depende de dos o más coeficientes estequiométricos, lo que en términos algebraicos correspondería a una ecuación del tipo :

$$ax + by + \dots = cz + dt + \dots$$

Ello pudiera hacer pensar al lector que en estas ocasiones no tiene sentido la aplicación del método de inspección, ya que podrían conseguirse los mismos resultados mediante un planteamiento puramente algebraico. Hemos de hacer notar sin embargo, que ello supondría el establecimiento de sistemas de numerosas ecuaciones, con la consiguiente complicación, en tanto que la aplicación combinada de las técnicas de inspección y algebraicas da buenos resultados con un máximo de sencillez, según se muestra en el ejemplo nº 2.

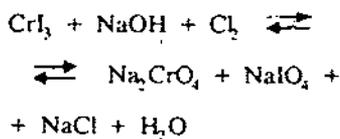
El método de inspección puede incluso ser utilizado para la igualación de ecuaciones iónicas, si bien será necesario introducir unos iones auxiliares —totalmente ficticios— que permitan convertir, sólo a efectos de ajuste, la ecuación iónica en una ecuación molecular. Estos iones deben ser eliminados una vez finalizado el ajuste (ejemplo 2).

Seguidamente aplicaremos las reglas del Ling a dos casos concretos. Estos han sido elegidos intencionalmente complicados al objeto de que se den, a ser posible, todas las incidencias más frecuentes en este tipo de ajustes. Quede bien entendido no obstante, que existen muchos casos más simples, pudiendo darse incluso ecuaciones cuyo ajuste requiera el uso de sólo dos, e incluso de sólo una, de las tres reglas.

Para una mayor información sobre el uso de este método, debe leerse el trabajo del Prof. D.J. Kolb.⁴

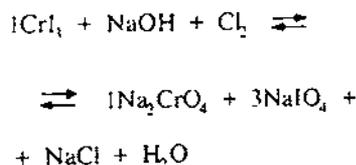
EJEMPLO nº 1

Se trata de la oxidación del yoduro de cromo (III) por el cloro gaseoso, en medio fuertemente básico:



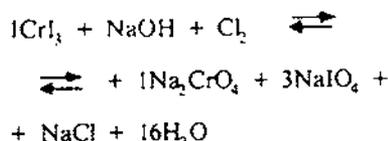
La primera regla es aplicable sólo al cromo, la segunda puede aplicarse solamente al yodo y la tercera afecta conjuntamente al oxígeno y al hidrógeno, debido a que estos elementos aparecen en el lado izquierdo exclusivamente juntos, en el NaOH.

Empezaremos pues ajustando el yodo. Para ello asignaremos un 1 al CrI₃ y antepondremos un 3 al NaIO₃:

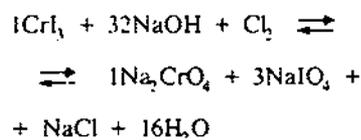


Procederemos luego al ajuste conjunto del hidrógeno y del oxígeno, lo cual llevaremos a efecto en dos pasos:

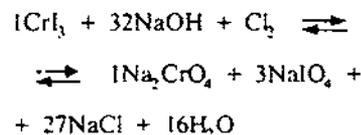
a) igualaremos el número de átomos de H y O en el lado derecho anteponiendo un 16 al H₂O.



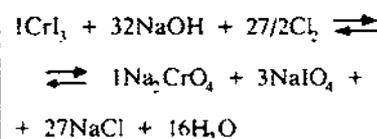
b) igualaremos el número de átomos de H y O a ambos lados de la ecuación a base de anteponer un 32 al NaOH.



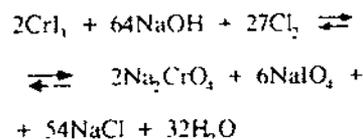
Seguidamente ajustaremos el sodio anteponiendo un 27 al NaCl.



Finalmente ajustaremos el cloro: para ello asignaremos un 27/2 al Cl₂.

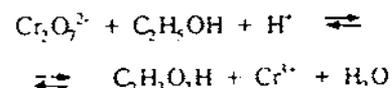


Multiplicando por 2 la ecuación ya ajustada:

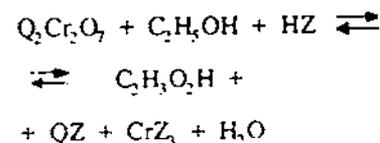


EJEMPLO nº 2:

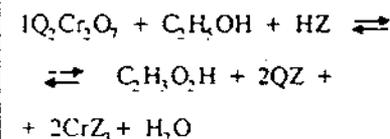
Sea el caso de la oxidación completa del etanol por el ión dicromato, en medio ácido:



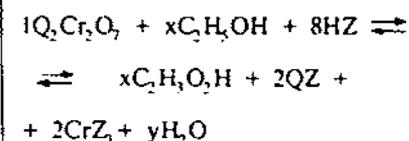
Introduciremos los iones ficticios Q⁺ y Z⁻, con lo que la ecuación queda de la siguiente forma:



Aplicaremos la primera regla al carbono, en tanto que la segunda será aplicada al cromo y al átomo ficticio Q. Comenzaremos pues el ajuste por estos últimos:



El ajuste del oxígeno y del hidrógeno será realizado conjuntamente, para ello asignaremos letras a los coeficientes aún desconocidos:



Balance del oxígeno:

$$7 + x = 2x + y$$

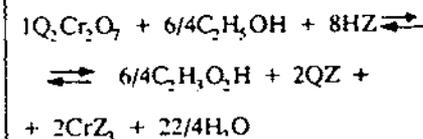
Balance del hidrógeno:

$$6x + 8 = 4x + 2y$$

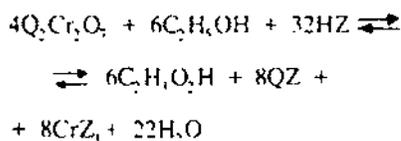
Una vez resuelto el sistema algebraico, se obtienen los valores:

$$x = 6/4; y = 22/4$$

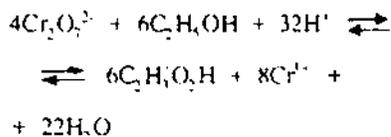
Por tanto, la ecuación ajustada será:



Multiplicando toda la ecuación por 4 tenemos:



Finalmente eliminaremos los iones ficticios, con lo que llegaremos a la ecuación iónica ajustada:



Todo lo expuesto anteriormente permite afirmar que, en principio, no existe ecuación redox que no pueda ser ajustada por el método de Ling, si bien este método no debe ser utilizado con exclusividad. Los métodos del «cambio del número de oxidación» y del «ión-electrón» presentan indiscutibles ventajas, y son numerosos los casos en que deben ser utilizados prioritariamente.

Desde el punto de vista didáctico, el método de inspección presenta la desventaja de no poner de relieve el trasiego de electrones de unos átomos a otros, lo cual es, en definitiva, la esencia del fenómeno redox; en este sentido llevan ventaja los otros métodos.

Hay sin embargo muchos casos, como por ejemplo los procesos redox en disoluciones no acuosas, o bien orgánicas complicadas, en los que el método Ling puede resultar casi imprescindible. Podemos al propio tiempo afirmar que este método da resultados óptimos en aquellos casos en los que los demás métodos de ajuste resultan difíciles o casi imposibles de aplicar, de suerte que, es precisamente en estas ocasiones donde su aplicación resulta particularmente gratificante y eficaz.

No existe, en definitiva, una técnica de ajuste ideal, adecuada para todos los casos. Debe, pues, confiarse a la sensatez y buen hacer del usuario la elección del método que permita llegar al resultado deseado con la máxima rapidez, sencillez y eficacia.

BIBLIOGRAFIA

1. LING, J., 1979, Easy Chemistry, Vol. 1, Goodman Publisher, Hong Kong, p. 105-112.

2. SMITH, W. R. Y MISSEN, R. W., 1979, *What is stoichiometry*, Chem. Eng. Ed., (winter).
3. KENNEDY, J. H., 1982, Balancing Chemical Equations with a Calculator, *J. Chem. Ed.*, 59, 6, p. 523.
4. KOLB, D.J., 1981, *J. Chem. Ed.*, 58, 8, p. 642.

PUNTOS Y POLIGONOS. ENSAYO GENERAL.

FRANCISCO HERNAN
(Grupo Cero de Valencia)

Debido a las exigencias de no pocos trabajadores de su plantilla, y reconociendo en ello un signo de los tiempos, una vasta empresa de arte dramático, propietaria de numerosos teatros que se extienden por todo el país, ha decidido —«a título experimental», señalan los empresarios con cautela— dar entrada en su repertorio a obras no sujetas a los cánones clásicos de dirección e interpretación, ni limitadas por unidades temporales prefijadas. Siempre, eso sí, que se ajusten a las condiciones materiales ya existentes y que no supongan un incremento de gastos.

Un ligero desacuerdo semántico hace que lo que aquellos llaman teatro de investigación, éstos gusten designarlo como teatro de improvisación. Sea cual fuere el género de la obra que aquí nos ocupa, su texto es muy breve:

«En una trama 4x4 se ha dibujado un polígono de 7 lados.

¿Cuál es el máximo número de lados que puede tener un polígono en esta trama?

Generalizar a otras tramas también cuadradas.»



Acompaña al texto una indicación: «El primer actor, claramente el de más edad, tendrá durante toda la representación cierto aire de extranjero entre sus compañeros más jóvenes. Mediante

gestos esporádicos (el intento de comenzar un largo monólogo, el esfuerzo por expresarse con la claridad de quien no está seguro de que va a ser entendido, una mirada fugaz por la ventana,...) transmitirá al público ese desajuste que trata de evitar. Por otro lado, tendrá una total libertad de movimientos; recorrerá el escenario aparentemente al azar; pero guiado en realidad por las acciones de sus jóvenes compañeros, acudirá a ver lo que hacen, a escucharles mientras hablan entre sí, a conversar casualmente con ellos».

Hay ensayo general. Las puertas del teatro están abiertas. Los curiosos pueden entrar e incluso, para su mayor entretenimiento, se ven animados a estudiar detenidamente el texto, hacer sus propias anotaciones y ayudar al director (que es también el primer actor) con sus sugerencias.

El escenario, rectangular y bien iluminado, tiene las cortinas abiertas de par en par. El decorado es sobrio, mesas y sillas en cierto desorden, un grupo aquí, un par de ellas allá; pero admite una distracción visual: un gran foco atrae la atención hacia un muñeco a medio hacer, disfrazado de modelo del proceso de aprendizaje. En su corazón se encierra una fase introductoria; en las manos despliega una frase exploratoria y en la cabeza (con signos difíciles de descifrar porque quieren representar circuitos lógicos y chispas de inventiva) se adivina la fase de resolución.

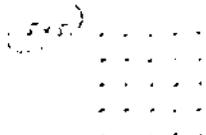
Un actor que no deja ver su cara pasea un bello estandarte de seda que señala el comienzo de la acción. En él está escrito en letras doradas de elegante diseño: «En los procesos de generalización, particularización, elaboración de hipótesis y justificación está encerrada toda la matemática».

Primer acto.

El extranjero (con voz nitida y grave, equilibrada con movimientos seguros, pero algo excesivos, que hacen dudar entre lo ensayado y lo natural) dice el texto.

Como si hubiesen recibido una contraseña, muchos de los más de treinta chicas y chicos de 15 y 16 años que componen el resto del reparto comienzan a hacer desordenadas preguntas que buscan aclarar y precisar el texto. El extranjero responde como puede a todas, tras lo cual hay unos minutos de silencio, pero de viva actividad.

De pronto, de entre una agitación de voces se destaca una,



Lo interesante aquí... A la espera de nuevas ideas.

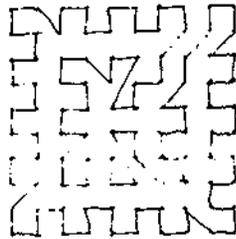
5x5



distintos de un nuevo acto de
muyos en los que quiero partir
del 5x5 "dejando una ventana"
y pasando una "campa" lo oblige.

10x10

Partir del 5x5
y hacer "ventana"
y "campa"



hacer una "campa" a par

7x7

Partir de un
cuadrado de
"7x7"

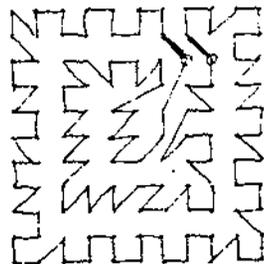
distintos de un
nuevo



11x11

Partir de 7x7
en "ventana"

13x15; 15x19; etc.

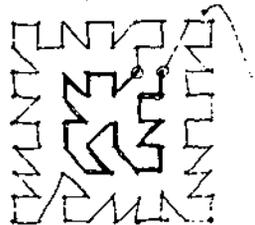


13x13

Partir de un cuadrado
de "13x13"

13x13 ventana en 7x7

Reduccion a impar
excepto...



Vuelta atrás: quedar sólo el caso 3x3 (no cumple la ley
general)
y el 5x5
que "parece" que no lo cumple.
Pero un momento lo demuestran.

A los pocos minutos —libre ya de su atadura de actor— continúa: «Vosotros sabéis que en este tipo de teatro experimental en el que las ideas nacen de los actores lo que un director de escena tiene que hacer es considerar bajo qué condiciones debe intervenir. Su trabajo consiste más que nada en identificar las ocasiones en las que es necesario que haga determinada sugerencia, corrija tal gesto o estimule movimientos originales. Pues bien, lo que deseo consultaros es lo siguiente, ¿cuál puede ser la duración razonable del tercer acto, razonable, quiero decir, para que los actores no se cansen y mantengan un ritmo ágil en la escena? ¿El primer actor debe llamar la atención de los jóvenes hacia la posibilidad de buscar esas «ventanas» de salida? Si es así, ¿en qué momento sería conveniente hacerlo? ¿Debe aprovecharse la ocasión que presenta el caso más complejo, el 5x5, para señalar la diferencia entre verificar, demostrar y refutar? ¿Y entre conjetura «razonable», pero poco contrastada (la inicial de 7x7) y conjetura «fuerte», que conlleva una creencia tan sólida como la que produce una demostración (parece que no hay 25 lados en la trama 5x5)? ¿Cuándo y de qué modo se emprende la necesaria precisión de la definición de polígonos; poco a poco —a medida que se presentan las preguntas— o todo de una vez?».

Un compañero que le tiene confianza dice sin titubeos que la obra es un fracaso desde el comienzo y que no merece la pena recomponer solamente el tercer acto, sino la totalidad, incluida la luminotecnia. En un tono aún más cortante, el único que no ha emborrionado papeles, afirma que lo que ha visto, simplemente no es teatro:

¿Qué sentido tiene —dice— que se pida a los actores que busquen polígonos sin que el director les haya instruido previamente y con toda precisión acerca de que cosas son polígonos y qué cosas no lo son? El director responde que precisamente uno de los fines que pretende es que sea durante la acción y no en su comienzo cuando se elucide lo que un polígono es. Esta observación no parece, sin embargo, convencer a su compañero.

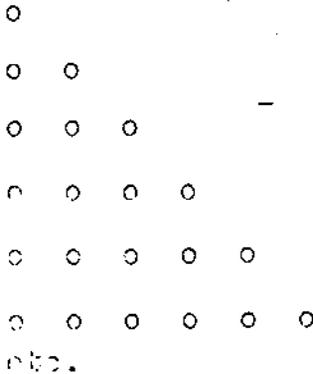
Los consejos de los más benévolos son abundantes, pero contradictorios. A punto ya de irse todos y dejar al director con más duda aún que al comienzo, alguien que no ha hablado en todo el tiempo se aventura: «Yo también dirijo una compañía de aficionados; inexpertos, pero buenos actores y con mu-

cha ilusión. Y hemos montado una obra en condiciones muy semejantes a las tuyas. El título lo conocerás de sobra, *El juego de Nim*. Pero la aparente sencillez de su texto esconde siempre nuevas posibilidades de montaje.

«En un tablero hay fichas colocadas en filas de manera que en cada fila hay tantas fichas como indica el lugar que ocupa la fila, es decir, en la fila 5 hay cinco fichas, en la fila n hay n fichas.

Dos jugadores retiran alternativamente fichas de la fila que quieran, pero cada vez de una sola fila. Pueden retirar incluso todas las de una fila, si lo desean.

Gana el jugador que retira la última ficha (o la última fila, claro) que quede.



Se supone que los dos jugadores saben jugar a la perfección, es decir, que no cometen errores.

Se trata de saber, sin necesidad de jugar, para cada valor de n qué jugador ganará.»

Mañana por la mañana haremos un ensayo. Tal vez te guste si vienes a verlo. Después podremos conversar con calma.

Lo hicieron, en efecto, y llegaron a algunas conclusiones. Puede que el lector prefiera adivinarlas, y discutir las a su vez con otros compañeros.

PAPEL DE LA HISTORIA DE LAS CIENCIAS EN LA ENSEÑANZA (ENTREVISTA REALIZADA AL PREMIO NOBEL DE FISICA DE 1980 PROFESOR VAL L. FITCH)

Extractamos a continuación la entrevista realizada al premio nobel de Física, profesor Val L. Fitch, durante el «1^o Internacional Meeting on the History of Scientific Ideas» y que creemos de interés en el debate que sobre el lugar de la Historia de las Ciencias en la Enseñanza viene produciéndose en nuestros país.

P.: Nos encontramos en un congreso sobre historia de las ciencias. ¿Hasta qué punto considera importante que los aspectos históricos de las ciencias sean incluidos en la formación de los estudiantes de ciencias?

R.: La enseñanza de la Física a los estudiantes de primer año en Princeton consiste casi exclusivamente en resolver problemas y prácticamente no se presenta ningún enfoque histórico. Creo que esto es de lamentar. Es muy importante conocer el contexto histórico en que aparecieron o se desarrollaron las ideas científicas. Es obvio que no hay, muchas veces, tiempo material para ello, pero creo que dedicar un quince o un veinte por ciento del tiempo al enfoque histórico sería muy deseable.

Por ejemplo, la idea aristotélica de que en un movimiento uniforme es necesaria una fuerza constante perduró durante más de 1.500 años en los que Aristóteles fue muy influyente. Los estudiantes deberían tener esto presente cuando escriben $F = ma$.

P.: ¿Le parece que esta formación histórica debería también proporcionarse a los futuros enseñantes de las ciencias?

R.: Por supuesto, y no sólo a los enseñantes. Creo que todo profesional de las ciencias e incluso cualquier persona que estudie las ciencias por su valor

cultural debería conocer minimamente los aspectos históricos de las mismas. La historia es un tema suficientemente interesante por sí mismo y su estudio acercaría tal vez los científicos a comunidades más amplias de profesionales de otros campos no científicos.

P.: ¿Podría comentar sobre las diferencias entre el sistema educativo americano y europeo?

R.: Creo que el nivel de la enseñanza secundaria es más alto en Europa que en Estados Unidos. Aquí, los estudiantes llegan a la universidad mejor preparados. Creo que es una lástima que la escuela secundaria no sea una época seria para el estudiante medio americano, aunque, por supuesto, siempre hay estudiantes altamente motivados.

Al contrario que en Europa el estudiante no se especializa al entrar en la universidad americana. La especialización se inicia en los dos últimos años y principalmente en los cursos de post-graduados. Es relativamente frecuente que estudiantes post-graduados de física hayan obtenido su grado en otro campo. Yo, por ejemplo, me gradué como ingeniero eléctrico, y estudié física en el periodo post-graduado. Hay incluso casos de físicos muy conocidos cuyo grado universitario fue sobre lengua inglesa o historia. En este sentido, el sistema americano es más flexible que el europeo. El estudiante al entrar en la universidad no se liga a un campo para el resto de su vida. Creo que esta flexibilidad del sistema americano debe conservarse. Pero, como he dicho antes, deberíamos seguir el sistema europeo en lo concerniente a la enseñanza secundaria.

Entrevista realizada por Antonio Méndez Vilaseca, profesor de Física Teórica de la Universitat Autònoma de Barcelona.

(Sant Feliu de Guixols, Septiembre de 1983).