

Acerca de los números y las duraciones de un fenómeno fisiológico

El editorial de Basilio A. Kotsias¹ es por lo menos para un simple médico, de una fascinante y deliciosa lectura. Lo interpreto como un intento de unificación del conocimiento por intermedio de una escala temporal. La unificación de las ciencias, aun de las sociales es quizás el intento más arriesgado y de tener éxito el más productivo de la mente humana. Esta idea surge en Jonia 600 años AC con Tales de Mileto quien creía que toda la materia era finalmente agua. El físico Gerald Holton² denominó "encanto Jónico" a esta creencia en la unidad de las ciencias. Ultimamente E. Wilson³ usa el término "consilience" para expresar la coherencia o entrecruzamiento de relaciones causales a través de las disciplinas cuya zona más conflictiva es la complejidad de los organismos vivos. Me atrevo a comentar y hasta agregar algunos de los innumerables datos proporcionados por los físicos de nuestro siglo apurándome porque ya se acaba y quizá también el transcurrir de los que, por haber sobrepasado el log 9.37 (75 años expresados en segundos) estamos en mayor riesgo de morir que un combatiente en los arrozales de Vietnam, siempre que estemos sanos.

La notación logarítmica de la $[H^+]$ o pH no es tan compleja. Si a 1 litro de agua a 25°C ($pK_w = 14$) y pH 7 le agregamos 10 mEq de HCl obtendremos 0.01 Eq/l o sea 1×10^{-2} Eq/l de H^+ y $pH = 2$. Si consideramos la diferencia entre pH 7.40 y 7.10 es decir 0.3, como éste es el log de 2 habrá una diferencia del doble en la concentración de H^+ es decir de 40 a 80 nM/l. La visión del pH como un log permite ver que el pH urinario mínimo es 4.5 y la excreción de H^+ igual a 0.03 mEq/l; por supuesto la capacidad de excreción renal de ácidos es mucho mayor considerando los restantes mecanismos de acidificación urinaria, aunque sigue siendo insignificante en relación con los 14 400 mEq de H^+ excretados diariamente por el pulmón. En 1900 Høber⁴ introdujo la estimación potenciométrica de la acidez del plasma con electrodos recubiertos de platino; en 1909 Henderson⁵ presentó su ecuación $H^+ = k \frac{H_2CO_3}{NaHCO_3}$, la práctica de usar H_2CO_3 para representar al CO_2 total duró hasta la década del 20 cuando se comenzó a reconocer que H_2CO_3 era (a 37°C) $\cong 1/400$ del CO_2 total. Finalmente en 1909 Sørensen⁶ distingue la acidez total, medida por titulación, de la intensidad de la acidez para cuya medida introduce el $\log 1/[H^+]$ o sea $-\log [H^+]$ al que denomina pH y más tarde Hasselbalch la ecuación: $pH = pK + \log \frac{HCO_3^-}{H_2CO_3}$. En la década del 60 se preconizó⁷ el uso

de la $[H^+]$ aduciendo que la expresión como pH obedecía a la holgazanería para transformarla en esa notación una vez realizada la medición en unidades más naturales. También que se ahorraría así la necesidad de comprender la notación logarítmica que si bien se aprendía en el secundario en la década del 30-40 sería demasiado engorrosa para los alumnos que vinieron después. Es posible que esta filosofía sea similar a la de aquellos que impusieron ingreso irrestricto, ciclo básico facilitador, exámenes sólo limitados en frecuencia por la aprobación y como resultado: creación del proletariado médico que es aprovechado sin concesiones por las gerencadoras de salud. No faltan los que se preguntan por qué no expresar en forma potenciométrica las concentraciones de otros componentes de los líquidos fisiológicos. Estos tienen sin embargo importancia fisiológica por su significación química. La concentración, próxima a la actividad informa de la contribución de cada soluto a las propiedades coligativas de las soluciones dependientes del número y no de la calidad de las partículas. Por el contrario OH^- y H_3O^+ no son solutos ni contribuyen apreciablemente a la osmolaridad del líquido extracelular. Su concentración en plasma u orina no disminuye agregando H_2O como ocurre con los solutos. Una muestra enfrentada, en un electrodo de vidrio permeable a los protones, a una solución buffer conocida desarrolla un gradiente de protones y una proporcional diferencia de potencial eléctrico que es el pH. Esta es una medida de la actividad y no de la concentración de H^+ ; sin embargo la relación entre actividad y concentración es muy próxima a la unidad en soluciones ideales diluidas como la mayoría de los líquidos corporales. En resumen parece que la notación logarítmica debe preservarse y simplemente deben conocerse las propiedades de los logaritmos. Alguna cualidad de ácidos y bases débiles como su acción "buffer" óptima cuando su pK es igual al pH de la solución en la que actúan está muy bien descrita por la igualdad $pH - pK = \log \frac{anión conjugado}{ácido}$ pues siendo $pH - pK = 0$ y éste el log de 1 se implica el 50% de disociación y el máximo poder amortiguador. Un buen ejemplo es el urato/ácido úrico urinario con pK de 5.6 similar al pH urinario normal.

Cuando el tiempo es considerado, surgen comparaciones con diversos fenómenos del mundo que nos rodea. Una partícula elemental, tamaño 10^{-13} cm se mueve a 10^{10} cm/seg es decir que en 10^{-22} seg recorre una distancia de 10 veces su tamaño. Ya que vive alrededor de 10^{-10} seg puede recorrer 1 cm es decir 10^{12} veces su tamaño. El pión y el muón con vidas de 10^{-8} y 10^{-6} seg recorren mucho más y el neutrón con sus 17 min compa-

rativamente infinita una distancia. Dado que la distancia más corta medida experimentalmente es de 10^{-14} cm es posible decir según los físicos que el intervalo más corto conocido es de 10^{-24} seg⁶ pero quizá esto ya haya cambiado. En 1658 el obispo anglicano James Ussher sumando las generaciones enumeradas en la Biblia estimó simplísticamente que la Creación ocurrió 4 004 años AC, es decir hoy hace 6 000 años⁹. La vida del universo, para los físicos que he leído, es de 10^{18} seg o sea 30 000 millones de años, usando la notación logarítmica sería 9.48 expresado en años y 17.98 en segundos. La relación entre ambos tiempos 10^{24} y 10^{-18} es 10^{42} . Por otra parte el tamaño de un protón es 10^{-13} cm (distancia llamada fermio en homenaje a Enrico Fermi (1901-1954) pionero del estudio de las partículas nucleares) aparentemente la menor distancia medida es un décimo de fermio o sea 10^{-14} . Comparando el mundo sub-atómico con el cosmológico: el universo conocido media, por lo menos hasta hace poco, 10^{10} años luz es decir 10^{28} cm. El hombre, cuya altura es de un orden de magnitud algo mayor de 10^2 cm, sería 10^{26} veces menor que el universo y 10^{15} veces mayor que un protón. El universo sería tanto mayor que el sistema solar como lo es el hombre respecto al protón. Entonces, de la menor distancia conocida a la mayor la relación sería también de 10^{42} . Esta es la misma y enorme proporción que entre los tiempos, antes citada⁸. Las porciones más distantes del universo se expanden a la velocidad de la luz, similar a la adoptada por las partículas sub-atómicas. Esta velocidad sería quizá el vínculo entre distancia y tiempo. Mientras que en la física del siglo XIX el tiempo y el espacio eran valores absolutos e independientes, Einstein puso fin a esta cómoda percepción y hoy es difícil asegurar si tiempo y espacio son relaciones entre cosas o existen independientemente. La teoría de la relatividad estableció fundamentalmente que las leyes de la ciencia deberían ser las mismas para todos los observadores independientemente de la velocidad a la que se movieran. De esta simple idea surge la equivalencia entre masa y energía ($E = mc^2$) y la ley que nada puede viajar más rápido que la luz.

Es posible que estas comparaciones sobre el tiempo sean abstrusas para el atareado médico que hoy debe agradecer, so pena de enfadarlos, las intrincancias tremendamente consumidoras de tiempo a que los "gerenciadores, economistas, organizadores, analistas, etc" han sometido la relación médico-paciente, haciéndola cada vez más próxima a la que había entre el auto y el obrero de la línea de montaje.

Como cualquiera de mis eventuales lectores podrá imaginarse, me atrevo a escribir estas nociones, elementales para un físico, sólo porque confío en que los

lectores de Medicina sepan tan poco de estos temas como yo sabía antes, y probablemente también después de leerlos.

Aquiles J. Roncoroni

Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari,
Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires

1. Kotsias BA. Acerca de los números y las duraciones de un fenómeno fisiológico. *Medicina (Buenos Aires)* 1999; 59: 398-402.
2. Holton G. Einstein, history and other passions. Woodbury, NY. *American Institute of Physics Press*, 1995. Citado en Wilson³.
3. Wilson E. Consilience. Alfred A. Knopf: New York 1998, p 8-13.
4. Höber R. Über die Hydroxylionen des Blutes. *Pfluegers Arch Gesamte Physiol* 1900; 84: 532-9.
5. Henderson LJ. Das Gleichgewicht swisches Basen und Säuren im tierischen Organismus. *Ergeb Physiol* 1909; 8: 254-325.
6. Sørensen SPL. Etudes enzymatiques. II Sur la mesure de l'importance de la concentration des ions hydrogène dans les réactions enzymatiques. *Comptes Rendues Lab Carlsberg* 1909; 8: 1-168.
7. Huckabee WE. Henderson vs Hasselbalch. *Clin Res* 1961; 9: 116-9.
8. Ford KW. The large and the small. The world treasury of physics astronomy and mathematics. Boston: Little, Brown & Company, 1991, p 18-37.
9. Schramm DN. The age of the elements. The world treasury of physics, astronomy and mathematics. Boston: Little, Brown & Company, 1991, p 170-83.

Agradezco al prof. Aquiles J. Roncoroni los conceptos, la atención y el interés con que ha leído mi editorial. Quiero reiterar que para el caso del pH plasmático, con un rango de valores tan limitado, la expresión logarítmica es innecesaria y caprichosa, ya que la expresión de la $[H^+]$ en nM/l es más simple y directa. La notación logarítmica es más compleja que la lineal, sin embargo esto no impide que deba ser usada cuando el rango es muy amplio, como por ejemplo al comparar la $[H^+]$ en los diferentes líquidos corporales. Para finalizar, aclaramos que en el cuarto año de las escuelas secundarias se sigue enseñando logaritmos. Si los alumnos aprenden es otro tema.

Basilio A. Kotsias

Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari,
Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires