

Empleo en medicina de las unidades del "sistema internacional de unidades"

Dr. Enrique Piña Garza,
Departamento de Bioquímica,
Facultad de Medicina, U.N.A.M.

Durante la trigésima Asamblea de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en mayo de 1977, se resolvió adoptar el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) en Medicina. Entre las recomendaciones de resolución (resolución 30.39 de la OMS¹) se encuentra la siguiente: "RECOMENDAMOS que todas las escuelas de medicina y las escuelas que proporcionan entrenamiento en disciplinas relacionadas con la medicina, incluyan en sus currícula cursos sobre la teoría y el uso del SI". Este trabajo pretende llamar la atención de los estudiantes en el área de la salud, de los profesores participantes en la formación de tales estudiantes y de los médicos en general, sobre la resolución adoptada por la OMS y a la recomendación que incide directamente en las escuelas ligadas al sistema de salud del país. El trabajo también intenta presentar algunos puntos sobresalientes del SI y de la recomendación de la OMS, pero no aspira a sustituir el folleto que la propia OMS ha preparado al efecto.¹

Razones para el cambio

El empleo de unidades más o menos arbitrarias para referirse a la cantidad de alguna sustancia en un soluto se fue haciendo paulatinamente más desigual e inconsistente, lo cual estableció barreras artificiales de comunicación entre los científicos y estudiosos de las ciencias naturales. Con el objeto de obviar esta desven-

taja y de proporcionar un sistema más lógico de unidades para referirse a la cantidad de una sustancia en un soluto, se decidió establecer el uso del SI en medicina.

Pero, además, vale la pena aclarar que el SI representa algo más amplio, ambicioso y útil. Tal como se indica en el folleto mencionado de la OMS, el SI es la culminación de más de una centuria de esfuerzo internacional para desarrollar un sistema de unidades de medida universalmente aceptable. El desarrollo del SI adquirió ímpetu por el aumento de intercambio científico y comercial después de la Segunda Guerra Mundial, si bien es una versión ampliada del "sistema métrico decimal", en uso desde finales del siglo pasado.

Del reporte del director de la OMS, sometido en conformidad con la resolución 29.65 de la propia OMS, se copia lo siguiente:¹ "Cuando las sustancias químicas interactúan, ya sea *in vitro* o *in vivo*, las proporciones en las cuales lo hacen están relacionadas a sus relativas masas moleculares ('peso molecular'). Este se mide en términos de 'cantidad de sustancia' por medio de la mola.² Por tanto, para un adecuado entendimiento de las reacciones químicas, ya sea que ocurran en el laboratorio o en el cuerpo, el uso de la mola es esencial. Es uso de unidades de masa (tales como miligramos por litro) no sirve a otro propósito que el puramente arbitrario de decidir si un valor dado es mayor o menor que un cierto valor de referencia. La expresión de concentraciones de sustancias en los líquidos biológicos en términos moleculares también sirve a este propósito, pero, además, da valiosa comprensión del balance de los constituyentes. Tal comprensión no se puede obtener de las

Tabla 1. Unidades básicas del SI

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura termodinámica*	kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd
Cantidad de sustancias	mola	mol

* Basado en las interrelaciones entre calor y trabajo mecánico, independientemente del sistema que genere calor o realice trabajo. La unidad es el kelvin y no el grado kelvin.

Tabla 2. Unidades derivadas del SI con aplicación en la práctica general de la medicina

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Definición de la unidad
Fuerza	newton	N	m. kg. s ⁻²
Presión	pascal	Pa	N/m ²
Trabajo, energía	joule	J	N.m
Temperatura Celso	grado Celso	°C	K
Concentración de sustancia	mola por metro cúbico*	mol/m ³	mol.m ⁻³

* En la práctica diaria se prefiere el uso de un submúltiplo de la unidad anotada y a ese submúltiplo se le da un nombre especial. El submúltiplo que se usa es mola por decímetro cúbico (mol/dm³) y el nombre especial, consagrado por el uso, que se le da al dm³ es el de litro (símbolo de la unidad l). Por lo tanto, aun cuando la unidad de la concentración de sustancia es la mola por metro cúbico, en la práctica cotidiana la unidad que se usa es la mola por litro (mol/l).

unidades de masa". Una explicación más amplia, particularmente ligada al caso de los líquidos biológicos, se encuentra en la referencia número 3. Además, algunas razones expresadas para adoptar el nuevo sistema en Medicina las resu-

me con claridad y sencillez Kumate.⁴

Características del SI

El SI incluye tres tipos de unidades y una serie de prefijos para referirse a los múltiplos y

Tabla 3. Prefijos del SI

Factor	Prefijo	Símbolo del prefijo
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto*	h
10^1	deca*	da
10^{-1}	deci*	d
10^{-2}	centi*	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	u
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	ato	a

* No se obtienen como los otros, por multiplicaciones sucesivas de 10^3 o de 10^{-3} . La tendencia es evitar su uso en el lenguaje científico.

submúltiplos decimales de las unidades. Las unidades son: básicas, derivadas y suplementarias.

Las unidades *básicas* sirven de fundamento al sistema y se definen de la manera más precisa que permite el continuo avance de la ciencia. En la tabla 1 se incluyen las siete unidades básicas con un símbolo y con la magnitud (propiedad física medible) que miden. A manera de ejemplo, se proporciona a continuación la definición de algunas de las unidades básicas. Metro es la longitud igual a 1 650 763. 74 veces⁵ la longitud de onda al vacío de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $2d_5$ del átomo de kriptón 86. Kilogramo es la masa del prototipo internacional de kilogramo. Segundo es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado basal del átomo de cesio 133. Kelvin es la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del triple punto del agua. Mola es la cantidad de sustancia de un sistema la cual contiene tantas

entidades elementales como hay átomos en 0.012 kilogramos de carbón 12; cuando se usa el término mola deben especificarse las entidades elementales y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos especificados de tales partículas.

Las unidades *derivadas* se forman al multiplicar por sí misma una unidad básica o al combinar dos o más unidades básicas por multiplicación o división. En la tabla 2 se dan unos cuantos ejemplos de unidades derivadas, preferentemente con aplicación en la práctica general de la medicina.

Las unidades *suplementarias* sólo son dos, no tienen relación con la medicina y ocupan una situación anómala al no haberse decidido si son unidades básicas o unidades derivadas.

Es una práctica común constatar que las unidades básicas y las derivadas sean demasiado grandes o pequeñas como referencia para una medición dada; por ejemplo, indicar el tamaño de un eritrocito en relación con el metro. Para

solucionarlo, el SI incluye una serie de prefijos (Tabla 3).

Hay algunas unidades no incluidas en el SI cuyo uso continúa. Se asocian en dos grupos, el primero se refiere a unidades de uso general como el minuto, la hora, el día y el litro.⁶ El otro grupo se refiere a unidades muy difundidas en ciencia pero cuyo uso no se recomienda por el SI. Como ejemplos se tienen el angstrom como unidad de longitud, la atmósfera como unidad de presión, la caloría como unidad de cantidad de calor, de trabajo o de energía, y el curie como unidad de radiactividad.

Aplicaciones generales en Medicina

Uno de los cambios sobresalientes en medicina, entre el sistema antiguo y el recomendado SI, se refiere a la sustitución del gramo o miligramo por la mola. Y, al referirse a la concentración de una sustancia, la recomendación expresa es de indicarlo en molas (o alguno de sus sub-múltiplos) por litro. Tal como se dijo antes, habrá de aclararse la entidad participante: moléculas, átomos, iones o electrones. Por ejemplo, para el caso del ion sodio habrá de precisarse: "ion sodio, concentración de la sustancia 144 mmoles/l", lo cual aclara que se trata de 144 mmoles por litro de solución. De no ponerse "concentración de la sustancia" dejando sólo "ion sodio, 144 mmoles/l" pudiera confundirse por litro de solvente.

Otra probable confusión sería substituir la concentración de la sustancia dada en mol/l por la "concentración molar" o por la "molaridad". Los símbolos mmol/l y nmol/l, los cuales se refieren a la concentración de una sustancia, no se debe substituir por M (solución molar), mM (solución milimolar) o nM (solución nanomolar), las cuales se refieren a la concentración molar o a la molaridad. La razón es que, en química, se acepta internacionalmente que el adjetivo "molar" está dividido por la cantidad de sustancia, o sea, dividido por mola; de donde resulta incongruente dividir la concentración de una sustancia en mol/l, entre mola, para tener así la molaridad.

Factores de conversión

A pesar de las ventajas que ofrece el uso del SI, su aplicación a nivel práctico, especialmente en el área de los análisis de laboratorio, ha encontrado cierta resistencia. Algunos datos al respecto se revisan en el editorial de Kumate.⁴ Otro aspecto lo constituye la labor de persuasión, claramente manifestada desde 1976 en Canadá,⁷ y, a pesar de ello, establece como dato realista la implantación del SI en todos los hospitales de provincia de Quebec para el 1o. de enero de 1981;⁸ no obstante la preparación de un folleto⁹ con datos, tablas y conversiones tendientes a facilitar el cambio, así como de un comité gubernamental de estandarización, organizado con el mismo objeto.⁸

Desde luego, un aspecto fundamental para el éxito es la disposición de los clínicos a pagar el precio que representa el uso del SI, en lugar de las unidades actuales cuyo uso resulta menos conveniente. La tabla 4 ofrece los valores normales de algunos componentes sanguíneos dado en las unidades actuales,¹⁰ y en las del SI; también se da el factor de conversión de las unidades actuales para obtener las del SI.

En relación con los resultados de los análisis de orina, el folleto en cuestión¹ recomienda que pueden expresarse en términos de flujo de sustancia, o sea, la cantidad de sustancia eliminada dividida por el tiempo, por ejemplo mmol/s. No obstante, en la práctica, la mayor parte de los resultados se expresan en la cantidad de sustancia, en un múltiplo de mola, eliminada diariamente. La tabla 5 ofrece una información semejante a la de la tabla 4 para algunos componentes de la orina.¹¹ Este par de tablas de ninguna manera es suficiente para la adopción del SI, sólo sirve de ejemplo.

Futuro del SI en México

México ha prometido la adopción del SI para 1980.⁴ Dada la bondad del SI y algunas de las dificultades que ofrece,¹ se pueden proponer algunas medidas que desarrolladas y aplicadas de manera simultánea faciliten la adopción del SI y minimicen los probables errores en su ma-

Tabla 4. Valores normales de algunas sustancias presentes en la sangre, plasma o suero. Se dan valores en las unidades actuales, en las unidades del SI y el factor de conversión de las unidades actuales a las del SI.

Substancia	Valor normal en las unidades actuales
Glucosa	70 a 100 mg en 100 ml
Urea	16 a 32 mg/100 ml
Acido úrico* hombres	2.6 a 7.5 mg en 100 ml
mujeres	2.0 a 5.7 mg en 100 ml
Creatinina	0.5 a 1.5 mg/100
Amonio	30 a 70 mcg en 100 ml
Creatinina sangre total	2 a 7 mg en 100 ml
plasma	0.2 a 0.6 mg en 100 ml
suero	0.16 a 0.4 mg en 100 ml
Acidos grasos no esterificados	200 a 600 microequivalentes
Colesterol total**	170 a 240 mg en 100 ml
Bilirrubina directa	0 mg por ciento
Bilirrubina indirecta	0 a 0.8 mg por ciento
Proteínas totales	6 a 8 g/100 ml
seroalbúminas	3.6 a 5.0 g/100 ml
Fósforo [□]	2.4 a 4.7 mg/100 ml
Calcio	9 a 11 mg/100 ml
	ó
	4.5 a 5.5 mEq/l
Cloro	98 a 109 mEq/l
Sodio	132 a 144 mEq/l
Potasio	3.8 a 5.1 mEq/l

* Se recomienda el nombre de urato en lugar del de ácido úrico.
 ** Se sugiere usar el plural colesterol para el colesterol y sus ésteres.



Valor normal en las unidades del SI	Factor de conversión de las unidades actuales a las unidades del SI
3.6 - 5.5 mmol/l	0.055
2.6 - 5.3 mmol/l	0.166
154 - 446 μ mol/l	59.48
119 - 339 μ mol/l	
44 - 133 μ mol/l	88.4
17.6 - 41.1 μ mol/l	0.587
153 - 534 μ mol/l	76.26
15.3 - 45.8 μ mol/l	76.26
12.2 - 30.5 μ mol/l	76.26
200 - 600 μ mol/l	76.26
4.4 - 6.2 mmol/l	0.026
0 μ mol/l	17.1
0 - 13.7 μ mol/l	17.1
60 - 80 g/l [▷]	10
36 - 50 g/l [▷]	10
0.8 - 1.5 mmol/l	0.32
2.25 - 2.75 mmol/l	0.25
2.25 - 2.75 mmol/l	0.5
98 - 109 mmol/l	1
132 - 144 mmol/l	1
3.8 - 5.1 mmol/l	1

▷ Nótese que se continúa empleando g/l en lugar de mol/l.
 □ Se prefiere el nombre de fosfato inorgánico.

Tabla 5. Valores normales de algunas sustancias eliminadas por la orina en 24 horas. Se dan los valores en las unidades actuales, las unidades del SI y el factor de conversión de las unidades actuales a las del SI.

Substancia	Valor normal en unidades actuales	Valor normal en unidades del SI	Factor de conversión de las unidades actuales a las unidades del SI
Cloro	110 a 225 mEq	110 a 225 mmol	1
Sodio	130 a 215 mEq	130 a 215 mmol	1
Potasio	50 a 100 mEq	50 a 100 mmol	1
Fósforo*	700 a 1500 mg	22.4 a 48 mmol	0.032
Calcio	55 a 220 mg	1.4 a 5.6 mmol	0.025
Creatinina	800 a 1200 mg	7.04 a 10.56 mmol	0.0088
Urobilinógeno	0 a 4 mg	0 a 6.75 μ mol	1.687
Acido úrico*	200 a 500 mg	1.49 a 4.46 mmol	0.005948

* Véanse las notas correspondientes en la Tabla 4.

nejo con serio detrimento para el enfermo. Posiblemente, habrá que preparar un folleto adecuado a las características y necesidades de la República Mexicana, y habrá que asegurar su distribución masiva en el área de la salud. Las Escuelas y Facultades de Medicina del país deberán poder ofrecer asesoría y pequeños cursos al respecto. El personal idóneo de los grandes hospitales tendrá un papel semejante. Las distintas sociedades médicas del país difundirán el SI, y podrán persuadir a sus asociados sobre las ventajas de su uso. Pero, sobre todo, es de esperarse que cada uno de los médicos del país tenga la disposición para invertir el tiempo suficiente que le permita comprender racionalmente el empleo del SI.

Para finalizar, se transcribe el último párrafo del multicitado artículo de Kumate.⁴ “La introducción del SI, sus problemas y ventajas, ilustran un aspecto de la educación médica continua en Medicina, a la que todo profesional del campo está comprometido en razón de lo mu-

cho por hacer y sobre todo lo mucho por mejorar en la práctica de nuestra profesión”. □

Referencias y notas

1. The SI for the Health Professions. World Health Organization. Ginebra, 1977.
2. La palabra mola es la traducción libre del inglés “mole” y no existe en el Diccionario de la Lengua Española, 19a. edición, publicada por la Real Academia Española en 1970. También se emplean en español las palabras mole o mol y los plurales que se usan son molas o moles. En este artículo se han preferido las palabras mola y molas para las unidades de cantidad de sustancias del SI, y la palabra mol como el símbolo de la unidad.
3. Laguna, J. y Piña, E. Bioquímica 3a. ed., La Prensa Médica Mexicana, México, 1979.
4. Kumate, J. El Sistema Internacional de Unidades. Editorial. Boletín Informativo, Dirección de Estudios de Posgrado, Facultad de Medicina, UNAM. 4:1-5 (1979).
5. El folleto de la referencia 1 también incluye reglas para la escritura de los símbolos y los números que acompañan un informe de laboratorio. He aquí un resumen de dichas reglas. Los símbolos de las unidades no cambian con el plural y no llevan punto, a menos de que se encuentren al final de una frase: se debe escribir 1.73 m y no 1.73 m., ni tampoco 1.73 mts. sino 1.73 mts; al escribir los números la marca del punto decimal se pone como un punto o una coma a nivel de la