

El Sistema Internacional de Unidades en la práctica médica

I. MEDICION, CANTIDADES Y UNIDADES

MAURICIO GARCÍA-SAINZ *

Reseña histórica

Para poder iniciar su integración social, el hombre primitivo tuvo necesidad de contar y numerar a sus contróbulos, animales, plantas, objetos manufacturados y a sus enemigos. En esta etapa inicial, anterior al desarrollo del lenguaje escrito y de los números, el hombre sólo se servía de los dedos para contar y sólo registraba los resultados mediante muescas talladas en piedra o marcas lineales en arcilla. Esta contabilidad primitiva hizo

posible, entre otros avances, la producción e intercambio de bienes, la división y asignación de tareas y la defensa del grupo.

El desarrollo de la medición como extensión y ampliación de la simple enumeración coincide con el inicio de los asentamientos agrícolas y con la intensificación y diversificación del trueque, dando origen al uso de cantidades en el sentido limitado de porciones, sin que se tenga prueba de que se usaran unidades en el sentido actual del término.

Los antecedentes históricos de los sistemas de medición modernos se inician en Egipto, donde se han encontrado los elementos más antiguos de verdaderos sistemas de unidades con sus registros numéricos correspondientes. Una breve reseña de lo que pudiera llamarse la metrología egipcia sirve de punto de partida para seguir a grandes rasgos el desarrollo histórico de las unidades en uso.

Presentado en sesión ordinaria de la Academia Nacional de Medicina el 18 de marzo de 1981.

* Académico numerario. Director General de Control de Alimentos, Bebidas y Medicamentos. Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Entre 7 000 y 8 000 años A.C., era predinástica de Egipto, se usaba ya la beqa, que es el patrón de referencia más antiguo que se conoce. Se trata de una unidad de peso que forma parte de un sistema con múltiplos y submúltiplos. Cada pesa es un cilindro corto con bases abombadas, finalmente tallado y marcado con un jeroglífico. Posteriormente se usaron otras unidades de peso como el peyem y el quedet. Contemporáneo de la beqa es el patrón de referencia para medir la longitud en forma de una vara de unos 75 cm, del período prehistórico medio, que representa una unidad derivada del sistema antropológico de unidades compuesto por el zebo (dígito), el shep (palmo) y el meh (codo), siendo este último la unidad base de la que también se deriva el pie.

Las unidades de capacidad de la época predinástica tardía tenían como patrón de referencia juegos de vasos tipo manufacturados en metal o tallados en piedra, que se usaban para medir líquidos o granos.

Los hallazgos arqueológicos permiten identificar patrones propios de cada tribu o grupo étnico, que se van acercando por aproximaciones sucesivas a un patrón aceptado por varias tribus o grupos étnicos. Este efecto de aceptación de unidades se llevó al cabo tanto por la conquista como por el simple comercio y persiste como mecanismo de diseminación de sistemas de medición a otros pueblos durante un largo período histórico.

La medición era de gran importancia en la vida de los egipcios, dándosele un valor trascendente hasta en sus creencias religiosas y sus concepciones cosmogónicas.

El destino de salvación o condenación del ka, alma inmortal del individuo, era decidido en un juicio en el que participaban una multitud de dioses, pero que consistía en esencia en pesar el corazón del difunto en la balanza de Maat, usando como unidad la pluma del propio dios, símbolo de la verdad, la justicia y el orden. Es decir, toda la vida del egipcio era descrita como una cantidad y por consecuencia, la salvación de su alma dependía del resultado de una operación clásica de medición.

Por otra parte, el elemento más importante para la producción de alimentos en el antiguo Egipto era la inundación anual provocada por la creciente del Nilo, por lo que la medición de su caudal era esencial para planear la agricultura, midiendo cuidadosamente las áreas de cultivo, y para fijar los impuestos. Mediante registros esculpidos en piedra, colocados a lo largo del curso del río, se medía el flujo del Nilo para predecir con precisión la magnitud de la inundación anual.

Las confrontaciones sucesivas de las unidades de medida más comunes en Egipto con las de Creta, Palestina, Persia, Babilonia, Grecia y Roma, permitieron la difusión de unidades de medida relacionadas entre sí, que dieron lugar a un sistema oriental que se extendió hasta la India y un sistema occidental que fue de uso común en Europa hasta la época moderna. En el continente ameri-

cano también se desarrollaron sistemas de unidades para satisfacer las necesidades propias de las culturas aborígenes, sin relación directa con los anteriores, pero basados en los mismos conceptos antropológicos.

El sistema métrico decimal se originó a partir de las propuestas de Gabriel Mouton en 1670 y Jean Picard en 1671, pero las características esenciales del sistema se definieron en un informe rendido por la Academia de Ciencias de París a la Asamblea Nacional de 1791. El nuevo sistema tardó muchos años para ser adoptado en forma obligatoria en Francia y aún más tiempo en difundirse a otros países. En 1875 se firmó el tratado internacional que estableció la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, con sede en Sévres, Francia, con la misión de mejorar el sistema métrico decimal y lograr su unificación internacional.

Como resultado de las acciones de esta Oficina se definieron nuevas unidades para el metro, en sustitución de las obtenidas por mediciones geodésicas y se inició la investigación para aumentar la precisión de elaboración de los patrones internacionales de referencia, quedando estos establecidos en 1901.

En 1954, después de la segunda guerra mundial, las unidades del Sistema Internacional fueron adoptadas por una Conferencia Intergubernamental de Pesas y Medidas. A partir de 1960 se llevó al cabo la expansión del mismo, siguiendo la propuesta de Giorgi y adoptando su nombre actual de Sistema Internacional de Unidades, abreviado SI. El uso del Sistema Internacional de Unidades fue avalado por la Organización Mundial de la Salud en 1977, recomendando su adopción después de un período de transición, que a partir de 1980 permita sustituir las unidades obsoletas por las vigentes, de manera que para 1985 a más tardar, sólo se usen las del SI.

Medición

Aristóteles distinguió entre lo "numerable" como conjunto de unidades concretas y lo "mensurable", como la división en partes de una magnitud continua; las partes iguales de esta división pueden considerarse como unidades.

En metrología moderna se considera tanto lo numerable como lo mensurable, pero como desde el punto de vista de la medición en las ciencias de la salud es más importante este último aspecto, en seguida se hacen algunas consideraciones fundamentales respecto a la medición, sin discutir los problemas de la enumeración.

El propósito general de un sistema de medición es la descripción precisa de los fenómenos naturales mediante su especificación numérica. Por lo tanto la medición es esencial para la adquisición y la aplicación del conocimiento, siendo como es uno de los elementos básicos del método científico. Sin embargo, es necesario reconocer que existen fenómenos que no pueden ser analizados mediante la medición cuantitativa.

Los sistemas de medición aceptables para uso científico deben tener ciertas propiedades indispensables:

a) Para lograr la mayor precisión posible, una medición concreta debería llevarse al cabo mediante el procedimiento descrito en su definición fundamental. Sin embargo, en la práctica las mediciones concretas pueden llevarse al cabo por medio de procedimientos diferentes del descrito en la propia definición, siempre y cuando los resultados numéricos obtenidos sean iguales a los que arroja el procedimiento definitorio o se relacionen con ellos por una constante de proporcionalidad. De ahí que se puedan usar distintos instrumentos de medición para un mismo fenómeno, *v.gr.* una regla o un interferómetro para medir la longitud.

b) La razón numérica de los resultados de la medición de un objeto concreto medido con dos patrones de referencia distintos es constante, independiente del objeto medido e igual a la razón numérica de los dos patrones de referencia.

c) La razón numérica de los resultados de la medición de dos objetos concretos, medidos con el mismo patrón de referencia es siempre la misma e independiente del patrón de referencia usado.

De las propiedades b y c se deriva que puedan usarse diversos sistemas de unidades, sin cambiar la naturaleza de la medición y que puedan convertirse los resultados numéricos de un sistema de unidades a otro sin modificar su valor relativo.

A pesar de que se cumplan con rigor los requisitos de precisión anotados, ninguna medición es absolutamente correcta debido a los errores experimentales sistemáticos y fortuitos. Para lograr una precisión aceptable para uso científico es necesario ajustarse al procedimiento de medición adecuado, teniendo una comprensión clara de la cantidad que se está midiendo y utilizando la unidad apropiada, definida en base a un patrón de referencia confiable.

Cantidades

En metrología el término cantidad se refiere a la caracterización de un fenómeno en términos que sean adecuados para la medición y especificación numérica sin incluir el concepto de cuantía con significado de tamaño o magnitud. Para cada fenómeno mensurable se da una cantidad específica, de manera que hay tantas cantidades como fenómenos caracterizados; sin embargo, sólo un grupo limitado de estas tiene uso común en las ciencias de la salud. Las cantidades base del Sistema Internacional de Medición son la longitud, la magnitud, el tiempo, la corriente eléctrica, la temperatura termodinámica, la intensidad luminosa y la cantidad de sustancia; en este caso el término cantidad está usado en su acepción común.

De estas cantidades base se derivan todas las demás, ya sea como desarrollo de una cantidad base, o como combinación de dos o más cantidades base.

Así el área y el volumen son desarrollos de la longitud, la velocidad es una combinación de longitud y tiempo y la concentración de sustancia una combinación de cantidad de sustancia y volumen.

Toda cantidad tiene una dimensión única que se expresa, en el caso de las cantidades base por sí mismas y en el de las cantidades derivadas por las cantidades base, que las caracterizan con sus exponentes. Es de notarse que en la formación de cantidades derivadas, las cantidades base que dan sus dimensiones sólo pueden multiplicarse o dividirse; así las dimensiones de la velocidad son LT^{-1} , que expresan longitud por la recíproca del tiempo; las dimensiones de la aceleración son LT^{-2} , que expresan longitud por la recíproca del cuadrado del tiempo y las dimensiones de la fuerza MLT^{-2} , que expresan masa por longitud por la recíproca del cuadrado del tiempo.

La importancia del concepto de dimensión de una cantidad estriba en que en toda ecuación entre cantidades, cada término, en ambos lados de la ecuación, debe tener las mismas dimensiones.

Unidades

Unidad es un concepto abstracto, por lo que una unidad no puede ser utilizada como base de medición hasta haber sido definida; la definición de una unidad puede hacerse refiriéndola a un patrón material manufacturado o bien a un fenómeno natural que se acepta como patrón de referencia.

La definición de las unidades debe ser tal que su precisión y constancia sean del mismo orden o mayores que la precisión, poder de resolución y estabilidad de los procedimientos de medición. De ahí la necesidad de revisar y modificar de tiempo en tiempo dichas definiciones con el objeto de adecuarlas a los progresos de la ciencia y de la técnica, creando nuevos patrones de referencia sin cambiar la unidad.

Una unidad ya definida es una muestra de referencia seleccionada para medir una cantidad, por lo que toda medición de una cantidad debe expresarse en la unidad apropiada de acuerdo con el sistema vigente. En el cuadro 1 se encuentran las definiciones de las unidades base del SI.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) cada cantidad base o derivada tiene asignada una unidad base o derivada, misma que se forma siguiendo las reglas expresadas al tratar de las dimensiones de las cantidades; así la unidad para medir la velocidad es $m \cdot s^{-1}$, la unidad para medir la aceleración es $m \cdot s^{-2}$ y la unidad para medir la fuerza es $m \cdot kg \cdot s^{-2}$.

Esta derivación se llama coherente porque la formación de unidades se hace directamente a partir de las unidades base sin la introducción de factores numéricos, o dicho de otra manera, el único factor numérico que se usa es la unidad.

Algunas unidades derivadas complejas tienen nombres especiales, generalmente los apellidos de

Cuadro 1. Definición de las unidades base del sistema internacional de unidades.

metro	La longitud de 1 650 763,73 longitudes de onda en el vacío de la radiación correspondiente a la transición de los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$ del átomo de criptón 86.	kelvin	La fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del triple punto del agua.
kilogramo	La masa del prototipo internacional del kilogramo.	candela	La intensidad luminosa, en la dirección perpendicular, de una superficie de $1/600\,000$ metros cuadrados de un cuerpo negro a la temperatura del platino congelado bajo una presión de 101 325 newtons por metro cuadrado.
segundo	La duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133.	mol	La cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos en 0,012 kilogramos de carbono 12. Cuando se usa el mol, las entidades elementales deben especificarse, ya que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de partículas.
ampere	La corriente eléctrica constante que si se mantiene en dos conductores rectos y paralelos de longitud infinita y corte de sección circular negligible, colocados a una distancia de un metro, en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newtons por metro de longitud.		

Cuadro 2. Unidades base del SI.

Cantidad	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 sustancia	mol	mol

hombres de ciencia que han contribuido con distinción al desarrollo de los sistemas de medición. Esta costumbre ayuda a evitar errores, ya que acorta el enunciado de la unidad y evita confusión en su interpretación cuando el contexto es claro. Sin embargo, es necesario conocer la fórmula de la unidad en cuestión para usarla correctamente. Por lo tanto no basta con saber que el newton es la unidad de fuerza, hay que recordar su definición como $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$. En los cuadros 2 y 3 se encuentran las unidades base y derivadas de interés para las ciencias de la salud.

En muchas ocasiones las unidades SI, base o derivadas, resultan demasiado grandes o demasiado pequeñas para medir ciertas cantidades, por lo que se han incorporado una serie de prefijos que permiten formar múltiplos y submúltiplos decimales de cada unidad SI como se muestra en el cuadro 4.

La Oficina Internacional de Pesas y Medidas ha convenido en aceptar para uso con el SI algunas unidades tan comunes que aunque no forman parte del sistema pueden aplicarse sin inconveniente; estas unidades se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 3. Unidades derivadas del SI, de interés para la práctica médica.

Cantidad	Unidad	Símbolo de la unidad	Derivación de la unidad
Área	metro cuadrado	m ²	m·m
Volumen	metro cúbico	m ³	m·m·m
Velocidad	metro por segundo	m·s ⁻¹	m·s ⁻¹
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m·s ⁻²	m·s ⁻²
Concentración de sustancia	mol por metro cúbico	mol·m ⁻³	m·m ³
Frecuencia	hertz	Hz	s ⁻¹
Fuerza	newton	N	kg·m·s ⁻²
Presión	pascal	Pa	kg·m ⁻¹ ·s ⁻²
Trabajo, energía, cantidad de calor	joule	J	kg·m ² ·s ⁻²
Temperatura	grados Celsius	°C	K
Radiactividad	becquerel	Bq	s ⁻¹
Dosis de radiación absorbida	gray	Gy	J·kg ⁻¹
Dosis de radiación equivalente	sievert	Sv	J·kg ⁻¹

Cuadro 4. Prefijos SI para formar múltiplos y submúltiplos.*

Factor	Prefijo	Símbolo del prefijo	Factor	Prefijo	Símbolo del prefijo
10 ¹⁸	exa	E	10 ⁻³	mili	m
10 ¹⁵	peta	P	10 ⁻⁶	micro	μ
10 ¹²	tera	T	10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁹	giga	G	10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁶	mega	M	10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ³	kilo	k	10 ⁻¹⁸	atto	a

* Los prefijos hecto, deca, deci y centi tienden a descartarse, porque no se conforman con el patrón de los demás, que se forman por multiplicaciones sucesivas por 10³ o 10⁻³.

Cuadro 5. Unidades comunes aceptadas para uso con el SI.

Cantidad	Unidad	Símbolo	Valor en unidades SI
Tiempo	minuto	min	60 s.
	hora	h	3600 s.
	día	d	86400 s.
Volumen	litro	l	1 dm ³

II. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES EN EL LABORATORIO CLINICO

LUIS MOUREY-VALDÉS *

El Sistema Internacional de Unidades (SI) afecta al laboratorio clínico más que a otras especialidades. Las cantidades y las unidades en que se expresan son numerosas y hacen necesario que el médico y el personal del laboratorio se esfuercen para comprenderlas, usarlas e interpretarlas.

Las organizaciones científicas internacionales han publicado recomendaciones para aplicar en la práctica este sistema de unidades en sus campos específicos de trabajo. Es de esperarse que estas recomendaciones sean atendidas, pues ofrecen una oportunidad para uniformar las técnicas de las pruebas y las unidades en los informes de los resultados de laboratorio.

Después de analizar los informes de resultados de exámenes de laboratorio clínico en unidades tradicionales y aplicar el Sistema Internacional de Unidades para informar estos mismos exámenes, se pensó que la manera más comprensible de exponer la aplicación práctica de las cantidades y unidades nuevas es agrupar los exámenes según las cantidades y unidades que se usan para informarlos.

Se establecieron diez grupos:

• masa o concentración de masa	kg o kg/l
• cantidad de sustancia	mol
• concentración de sustancia	mol/l
• concentración de partículas*	l ⁻¹
• tiempo	s, min, h, día
• concentración catalítica	kat/l
• fracción de: masa, sustancia, número o volumen	razón
• presión	pascal (Pa)
• volumen, densidad relativa, molalidad, limpia o	l, mol/kg,
velocidad	l/s, m/s
• cantidades arbitrarias	unidades arbitrarias

* Con frecuencia se traduce como concentración de número.

La Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) es el organismo que aprueba las unidades base y las derivadas del Sistema Internacional de Unidades. La unidad de actividad catalítica "kat" aún no es una unidad SI porque no ha sido aprobada por la CGPM; lo mismo se puede decir de las unidades arbitrarias y las internacionales que aquí mencionaremos pero que pueden ser usadas siempre que se definan.

Exámenes cuyos informes se darán en masa o concentración de masa

Los exámenes de este grupo son de sustancias de masa molecular relativa no conocida exactamente, o de mezclas de sustancias de masas moleculares relativas conocidas.

CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD
Masa	kilogramo	kg

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL- NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA- TRADICIONAL
Materias fecales de 24 horas	Grasas	masa	g	1	g	1

* Instituto Mexicano del Seguro Social.

CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD
Concentración de masa	kilogramo por litro	kg/l

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Suero	Proteínas	concentración de masa	g/dl	10	g/l	0.1

Ejemplos de factores de conversión:

$$\begin{aligned} \text{g/dl} \times 10 &= \text{g/l} \\ \text{mg/dl} \times 10 &= \text{mg/l} \\ \mu\text{g/dl} \times 10 &= \mu\text{g/l} \\ \text{ng/dl} \times 10 &= \text{ng/l} \end{aligned}$$

Cuando sea necesario expresar los resultados en unidades 1 000 veces más pequeñas o más grandes, entonces las unidades se multiplican por 1 000 o por 0.001 respectivamente.

Exámenes cuyos informes se darán en cantidad de sustancia

Los exámenes de este grupo son de sustancias de masa atómica o masa molecular relativas conocidas.

CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD
Cantidad de sustancia	mol	mol

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Orina de 24 horas	Calcio (II)	cantidad de sustancia	mg	0.024 95	mmol	40.08

Factores de conversión:

$$\frac{1}{M \text{ o } A} = \text{factor}$$

(g) gramos x factor = moles (mol)
 (mg) miligramos x factor = milimoles (mmol)
 (µg) microgramos x factor = micromoles (µmol)
 (ng) nanogramos x factor = nanomoles (nmol)
 (pg) picogramos x factor = picomoles (pmol)

(mol) x M o A = gramos (g)
 (mmol) x M o A = miligramos (mg)
 (µmol) x M o A = microgramos (µg)
 (nmol) x M o A = nanogramos (ng)
 (pmol) x M o A = picogramos (pg)

M o A = masa molecular relativa o masa atómica relativa.

En algunas ocasiones es necesario expresar los resultados en submúltiplos 1 000 veces más pequeños; en éste caso el factor se multiplica por 1 000.

(g) x factor x 1 000 = mmol
 (mg) x factor x 1 000 = µmol
 (µg) x factor x 1 000 = nmol
 (ng) x factor x 1 000 = pmol

Cuando sea necesario expresar los resultados en submúltiplos 1 000 veces más grandes, el factor se multiplica por 0.001.

Exámenes cuyos informes se darán en concentración de sustancia

Los exámenes de este grupo son de sustancias disueltas de masa atómica o masa molecular relativas conocidas.

Factor de conversión:

$$\text{factor} = \frac{1}{M \text{ o } A}$$

g/dl x factor x 10 = mol/l
 mg/dl x factor x 10 = mmol/l
 µg/dl x factor x 10 = µmol/l
 ng/dl x factor x 10 = nmol/l

Cuando sea necesario expresar el resultado en un submúltiplo 1 000 veces más pequeño o más grande, el factor se multiplica por 1 000 o 0.001 respectivamente.

M o A = masa molecular relativa o masa atómica relativa.

Exámenes cuyos informes se darán en concentración de número

A este grupo de exámenes pertenecen las cuentas de los eritrocitos, los leucocitos y las plaquetas de la sangre; las células del líquido cefalorraquídeo, los cilindros, los leucocitos y los eritrocitos de la cuenta de Addis de la orina y las bacterias vivas en la orina (urocultivo).

CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD
Concentración de sustancia	mol por litro	mol/l

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Plasma o suero Suero	Glucosa	concentración de sustancia	mg/dl	0.055 51	mmol/l	18.016
	Cloro	concentración de sustancia	mEq/l	1	mmol/l	1

CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD
Concentración de partículas	litro a la menos 1	l ⁻¹

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Sangre	Eritrocitos	Concentración de partículas	mm ³	1	10 ¹² /l	1
Sangre	Leucocitos	Concentración de partículas	mm ³	0,001	10 ⁹ /l	1 000

Sólo se recomienda que el valor numérico varíe entre 0.1 y 999.

Exámenes cuyos informes se darán en unidades de tiempo

La mayoría de los exámenes que pertenecen a este grupo son pruebas relacionadas con la coagulación y la hemostasia.

CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD
Tiempo	segundo, minuto, hora, día	s, min, h, d

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Paciente	Sangrado	tiempo	min. (')	1	min	1
Plasma	Protrombina	tiempo	seg. (")	1	s	1
Plasma	Protrombina	tiempo	seg. (")	0.001	ks	1 000

Exámenes cuyos informes se darán en concentración de actividad catalítica

La unidad es el katal; es la actividad catalítica de un catalizador que canaliza la velocidad de reacción a un mol por segundo en un sistema de prueba dado.

La concentración de la actividad catalítica se expresa como katal por litro.

		CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD		
		Concentración de actividad catalítica	katal por litro	kat/l		

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTÓR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Suero	Fosfatasa alcalina	Concentración de actividad catalítica	Bodansky	89.7	nkat/l	0.011 15

Los factores de conversión se calculan primero para convertir las unidades de "nombre" (por ejemplo: Somogyi, Bodansky) a unidades internacionales, y luego éstas a katal.

CONVERSIÓN DE LAS UNIDADES BODANSKY DE FOSFATASA ALCALINA EN UNIDADES INTERNACIONALES

$$\text{Unidad Bodansky} = \frac{1 \text{ mg de fósforo} \times 60 \text{ min}}{x 100 \text{ ml}}$$

$$\begin{aligned} \text{Al resolver esta ecuación se tiene:} &= \frac{1000}{31^*} \times \frac{1}{60} \times 10 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{l}^{-1} \\ &= 5.38 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{l}^{-1} \\ &= 5.38 \text{ unidades internacionales por litro (U/l)} \end{aligned}$$

$$\text{Unidad Bodansky} \times 5.38 = \text{unidades internacionales por litro (U/l)}$$

* Masa atómica del fósforo.

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Suero	Proteínas fracciones	Fracción de masa	%	0.01	kg/kg	100
Suero	Bromosulfaleína	Fracción de sustancia	%	0.01	mol/mol	100
Sangre	Leucocitos cuent. dif.	Fracción de número	%	0.01	razón	100
Sangre	Hematocrito	Fracción de volumen	%	0.01	l/l	100

El factor de conversión es 0.01.

Exámenes cuyos informes se darán en unidades de presión

Los exámenes de laboratorio que pertenecen a este grupo son los de gases CO_2 y O_2 de los cuales se informan las presiones parciales; además el líquido cefalorraquídeo.

CANTIDAD		NOMBRE DE LA UNIDAD		SIMBOLO DE LA UNIDAD	
Presión		pascal		Pa	

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Sangre arterial	Bióxido de carbono pCO_2	presión parcial (37°C)	mmHg	0.133 3	kPa	7.502
Paciente	Líquido cefalorraquídeo	Presión	mmH ₂ O	0.009 801	kPa	10.2

Factores de conversión:

$$\begin{aligned} \text{mmHg} &= 133.3 \text{ Pa} \\ \text{mmHg} &= 0.133 3 \text{ kPa} \\ \text{mmH}_2\text{O} &= 0.009 81 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Exámenes cuyos informes se darán en volumen, densidad relativa, molaridad, limpia o velocidad

Son prácticamente un examen por cada una de estas cantidades.

		CANTIDAD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SIMBOLO DE LA UNIDAD
		Volumen	litro	l
		Densidad relativa	unidad (uno)	1
		Molalidad	mol por kilogramo	mol/kg
		Limpia o depuración	litro por segundo	l/s
		Velocidad	metro por segundo	m/s

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD TRADICIONAL	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD NUEVA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-TRADICIONAL
Sangre	Eritrocito	volumen	μ^3	1	fl	1
Paciente	Orina (orina 20°C/agua 20°C)	densidad rel.	1	1	1	1
Paciente	Orina o plasma	molalidad	mOsm/kg	1	nmol/kg	1
Orina y plasma	Creatinina	depuración	ml/min.	0.016 67	ml/s	60
Sangre	Eritrocitos (sedimentación)	velocidad	mm/hr.	1	mm/h	1

Los factores de conversión son la unidad 1 "uno", excepto para la limpia que es 0.016 67.

Exámenes cuyos informes se darán en clases de cantidad de naturaleza arbitraria

Los exámenes que pertenecen a este grupo son los cualitativos que informamos tradicionalmente como positivos o negativos, o semicuantitativos que informamos en cruces (o a cuatro) o la dilución mayor en la que la prueba es positiva, o las unidades internacionales de un patrón internacional de referencia.

EJEMPLOS DE EXAMENES QUE SE INFORMAN EN CANTIDADES ARBITRARIAS

SISTEMA	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD ANTIGUA	FACTOR DE CONVERSION TRADICIONAL-NUEVA	UNIDAD ARBITRARIA	FACTOR DE CONVERSION NUEVA-ANTIGUA
Orina	Gonadotrofina coriónica (cualitativa)	Cantidad arbitraria de sustancia	Negativa o positiva	1	0-1	1
Orina de 24 horas	Gonadotrofina coriónica (cuantitativa)	Concentración arbitraria de sustancia	U (Unidades internacionales)		U (Unidad internacional)	
Suero	Anticuerpos	Id.	Negativa o positiva hasta la última dilución positiva		0, recíproco de la última dilución positiva	
Orina	Hemoglobina (semicuantitativa)	Id.	Negativa o positiva de una a cuatro cruces	1	0-1, 2, 3, 4	1
Sedimentos de orina	Leucocitos	Concentración arbitraria de número	Número por campo de x número de diámetros		Número por campo de x número de diámetros	
Materias fecales	Huevecillos o quistes de parásitos (semicuantitativa)	Id.	Negativa escasos numerosos abundantes		0 1 (0-3) 2 3	
Materias fecales	Hemoglobina (semicuantitativa)	Concentración arbitraria de sustancia	Negativa positiva (de una a cuatro cruces)	1	0, 1, 2, 3, 4	1
Orina	Glucosa (Clinistix®)	Id.	Negativa positiva		0-1	

Recomendaciones para informar resultados

Para informar los resultados de laboratorio clínico, se recomienda que se escriban:

1. El nombre del sistema o su abreviatura.
2. Un guión (de dos espacios de máquina de escribir).
3. El nombre del componente con letra inicial mayúscula.
4. Una coma.
5. El nombre de la cantidad, con letra inicial mayúscula, o su abreviatura.
6. Un signo de igual.
7. El valor numérico y la unidad.

ABREVIATURAS PARA NOMBRES DE CANTIDADES

Cantidad de sustancia	ams.
diferencia	diff.
concentración de masa	massc.
fracción de masa	massfr.
molalidad	molal.
concentración de número	numc.
fracción de número	numfr.
relativa	rel.
concentración de sustancia	substc.
fracción de sustancia	substfr.
volumen	vol.
fracción de volumen	volfr.

1. Organización Panamericana de la Salud: *Adopción del nuevo Sistema Internacional de Unidades (SI). Normas que facilitan la transición al nuevo sistema de unidades SI. Uso de unidades SI en Salud Pública*. Bol. Of. San. Panam. 85:161, 1978.
2. Bessey, O. A.; Lowry, O. H. y Brock, M. J.: *A method for the rapid determination of alkaline phosphatase with five millimeters of serum*. J. Biol. Chem. 164:321, 1946.
3. Bowers, G. N.: *The International Unit: Standardization of enzyme activity units*. En: *Standard methods of clinical chemistry*. Nueva York, Academic Press, 1970, p. 31.
4. *Diccionario de la Lengua Española*. 19a. ed. Madrid. Real Academia Española. 1970.
5. *Diccionario Técnico Pequeño Larousse*. Buenos Aires. Editorial Larousse. 1975.
6. Dybkare, R.: *Nomenclature of quantities and units*. En: *Op. cit.* en 3, p. 223.
7. Franke, H.: *Diccionario de física*. Barcelona, Editorial Labor. 1967.
8. Gordillo de Anda, R. y Gordillo Paniagua, G.: *El Sistema Internacional de Unidades*. Bol. méd. Hosp. infant. (Méx.) 37:1067, 1980.
9. Henry, R. y Taylor, H. M.: *Pancreatitis-Lipase*. En: *Op. cit.* en 3, 1958, vol. 2, p. 86.
10. Horecher, B. L. y Kornberg, A.: *The extinction coefficients of the related band of pyridine nucleotides*. J. Biol. Chem. 175:385, 1948.
11. Karmen, A.; Wroblewski, F. y LaDue, J. S.: *Transaminase activity in human blood*. J. Clin. Invest. 34:126, 1955.
12. Kumate, J.: *El Sistema Internacional de Unidades*. GAC. Méd. Méx. 115:383, 1979.
13. Lehmann, H. P.: *Metritication of clinical laboratory data in SI units*. Am. J. Clin. Path. 65:2, 1976.
14. Lippert, H. y Lehmann, H. P.: *Sistema Internacional de Unidades en medicina*. Barcelona, Editorial JIMS 1980.
15. Organización Mundial de la Salud: *Sustancias biológicas: patrones internacionales, preparaciones de referencia*. Ginebra, 1977.
16. International Committee for Standardization in Hematology (ICSH), International Federation of Clinical Chemistry (IFCC); World Association of (Anatomic and Clinical) Pathology Societies (WAPS): *Recommendation for use of SI in clinical laboratory measurements*. Br. J. Haematol. 23:787, 1972.
17. Rosalki, S. B. y Wilkinson, J. H.: *Alpha-hydroxybutyrate dehydrogenase*. Nature (Lond.) 188:1110, 1960.
18. Steinberg, D.; Baldwin, D. y Ostrow, B. H.: *A clinical method for the assay of serum glutamic oxalacetic transaminase*. J. Lab. Clin. Med. 48:144, 1956.
- 19a. World Health Organization: *The SI for the health professions*. Ginebra, WHO. 1977.
- 19b. Organización Mundial de la Salud: *Las unidades SI para las profesiones de la salud*. Ginebra, OMS. 1980.
20. Wroblewski, F. y LaDue, J. S.: *Lactic dehydrogenase activity in blood*. Soc. Exp. Biol. Med. 90:210, 1955.
21. Wroblewski, F.: *The clinical significance of alterations in transaminase activities of serum and other body fluids*. Adv. Clin. Chem. Nueva York, Academic Press, Inc., 1958, vol. 1, p. 313.
22. Young, D. S.: *Normal laboratory values in SI units. (Case records of the Massachusetts General Hospital)*. New Engl. J. Med. 292:795, 1975.
23. Young, D. S.: *Standardized reporting of laboratory data. The desirability of using SI units*. New Engl. J. Med. 290:368, 1974.
24. Wintrobe, M. M.: *Clinical hematology*. 7a. ed. Filadelfia, Lea & Febiger. 1974.

III. RAZON Y CONVENIENCIA DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES EN LA CLINICA

JESÚS KUMATE *

Todos los procesos vitales, las interacciones químicas del metabolismo, los procesos físico-químicos, las reacciones entre mensajes, señales y sus receptores, las operaciones inmunológicas, los efectos farmacológicos y tóxicos, se realizan sobre bases estequiométricas, i.e.: moléculas, átomos, iones o radicales libres, son los vectores cuya participación hace posible los procesos característicos de la biología. Son en esencia fenómenos cuánticos.

En la base de todas las interacciones vitales se tiene una relación cuantitativa, fija o variable pero conocida de las sustancias reaccionantes. De manera semejante, los productos de tales interacciones resultan entidades discretas, cuantitables que conforman un balance estricto, perfecto, de los elementos participantes.

Cualquier desviación de las partículas o masa activa participante resulta en defecto o insuficiencia del proceso, en saturación o inhibición por retroinhibición cuando ocurre un exceso de los reaccionantes. La homeostasis y la reserva funcional orgánica son sistemas que regulan, compensan y mantienen los procesos metabólicos dentro de los márgenes de variación compatibles con la vida.

Cuando las condiciones ambientales cambian drásticamente y es menester operar en otras condiciones interviene la capacidad de evolucionar, pero siempre se mantienen las relaciones numéricas discretas entre los nuevos sistemas participantes.

La capacidad de cuantiar en biología se adelantó a nuestra posibilidad de conocer la naturaleza y desde luego la magnitud física de los participantes. La consecuencia fue expresar los resultados de nuestros métodos de laboratorio y gabinete en la forma de cantidad de sustancia por volumen o unidad de peso, i.e.: concentración de masa, y perdimos de vista o no contamos con la expresión de masa activa.

En la práctica resulta imperativo memorizar concentraciones poco informativas de los mecanismos operantes, de los niveles óptimos, inconvenientes o peligrosos. La farmacocinética no se antoja racional y la homeostasis parece una providencia misteriosa. El empleo de los miliequivalentes, milimolas y osmolaridad por los fisiólogos renales introdujo racionalidad en el campo y ciertamente

contribuyó al mejor entendimiento de interacciones complejas que hubieran hecho abstruso el manejo de agua y electrolitos.

Algunas de las incongruencias e inconvenientes del empleo de concentraciones como masa absoluta y no-activa son:

1. Las diferencias en pesos moleculares son muy amplias, v.gr.: desde 18 daltons para el amoníaco hasta más de 1 000 000 en algunas macroglobulinas, con toda la gama intermedia: urea 60, alanina 89, glucosa 180, insulina 6 000, albúmina 70 000, IgG 160 000, fibrinógeno 350 000 e IgM 900 000. ¿Qué sentido tiene expresar la concentración de los metabolitos tan dispares en magnitud molecular, en forma de masa absoluta?
2. La expresión de masa absoluta torna nugatorios los avances del número de receptores, de la estequiometría de las reacciones antígeno-anticuerpo y de los componentes producidos por las reacciones que actúan liberando efectos.
3. Los resultados se registraban en la forma más caótica, v.gr.: gramos, miligramos, microgramos, nanogramos y picogramos por 100 ml o por 1 000 ml, partes por millón, etc. De nuevo la necesidad de memorizar y ninguna oportunidad de visualizar la naturaleza de los procesos en marcha.
4. En la radiación, la unidad de actividad el curie fue fijada artificialmente en relación con las desintegraciones del radón y ajustada arbitrariamente a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo. La utilización de mili y microcuries no simplificaba los cálculos. La proposición del becquerel en forma de segundos recíprocos permite conocer instantáneamente la actividad de cualquier isótopo.
5. En los procesos metabólicos, tanto catabólicos como anabólicos, la transformación de metabolitos que resulta en otros compuestos de diferente peso molecular torna inútil o poco útil la expresión de masa absoluta. El uso de masa activa resulta didáctica y hace ver de inmediato la relación cuantitativa de las transformaciones degradativas y sintéticas.

Ventajas del nuevo sistema

El clínico que use las unidades SI podrá visualizar mejor muchos de los procesos fisiológicos y algunos procedimientos diagnósticos, v.gr.:

- a. La relación entre la albúmina y la bilirrubina plasmáticas aparentemente no tiene sentido si se las ve como masa absoluta; en cambio sobre la base molar se puede conocer cuántas moléculas de bilirrubina se ligan con una de albúmina. Consideración similar se extiende a todas las moléculas (hormonas, antimicrobianos, iones) que se combinan con las proteínas plasmáticas y limitan su difusión a

* Académico titular. División de Inmunoquímica. Unidad de Investigación Biomédica. Centro Médico Nacional. Instituto Mexicano del Seguro Social.

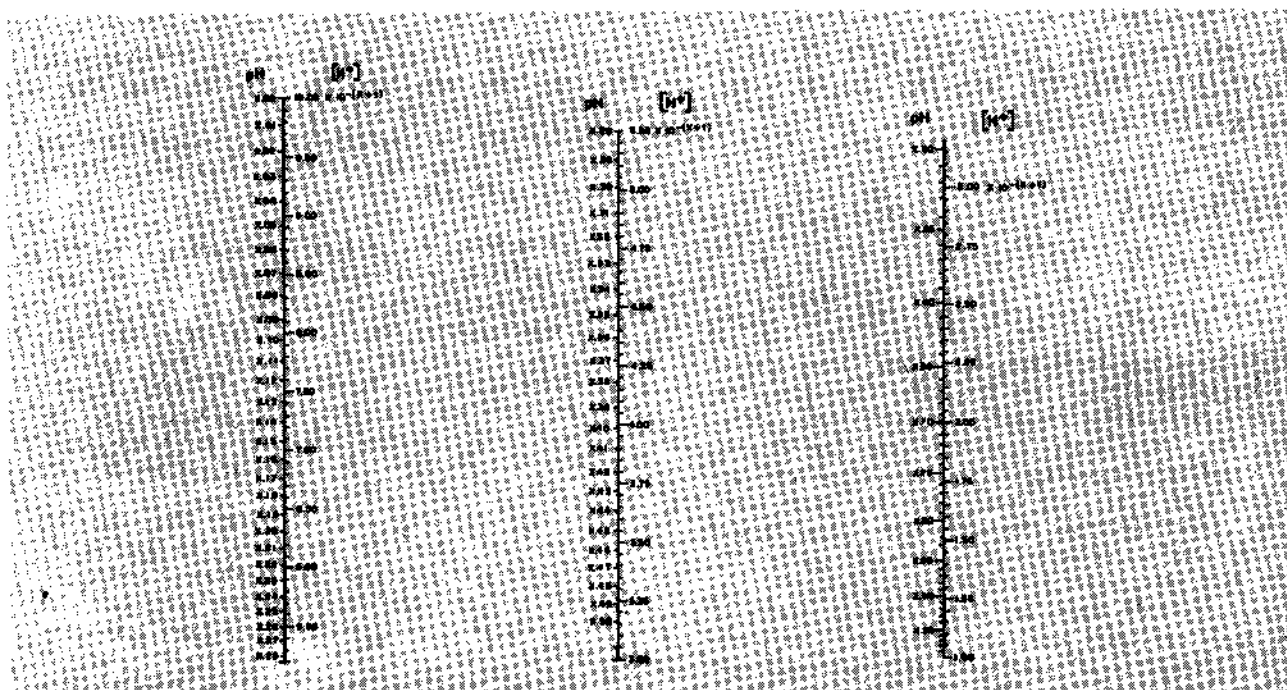


Fig. 1.

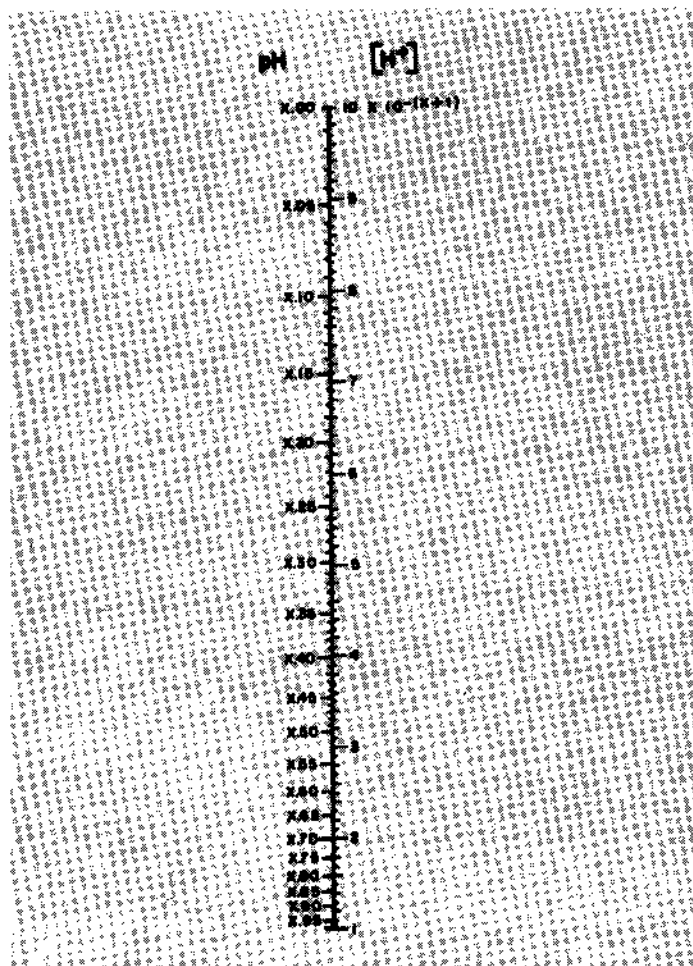


Fig. 2.

otros compartimentos orgánicos extravasculares.

- b. En los procesos secuenciales que generan o liberan metabolitos medibles, como en el caso de la producción de urobilinógeno, la expresión molar señala de inmediato la relación 1:1 con la hemoglobina degradada, en lugar de los mg/24 horas y los factores de conversión adicionales que recordar.
- c. Las relaciones molares entre glucosa, potasio y fosfatos harán más fácil la comprensión cuantitativa de los cambios ocurridos durante las pruebas de tolerancia, con la administración de esteroides y en la regulación de la glicemia y la glucogénesis.
- d. La hemoglobina y el 2,3 difosfoglicerato, en base molar, expresan muy claramente la dependencia cuantitativa en la disociación de la hemoglobina; tal relación se pierde cuando se expresan las concentraciones en la forma de masa/volumen.
- e. La retención de la bromosulfaleína, expresada en concentración molar de la bilirrubina, permite reconocer la magnitud del sistema en la depuración del colorante en lugar de los niveles artificiosos de tanto por ciento.
- f. La eliminación urinaria de aminoácidos, dada la diferencia en pesos moleculares desde 75 para la glicina hasta 240 para la cistina (un dipéptido) o 181 en la tirosina, se comprende mejor en la expresión molar que en la ponderal absoluta.
- g. Los estados hiperosmolares del alcoholismo agudo y del coma diabético resultan difíciles de apreciar en la cuantificación absoluta pero resaltan de inmediato en las concentraciones molares del plasma. Así, una glicemia de 400 mg/l impone un exceso de osmolaridad de casi 20 mosm/l y en la intoxicación etílica que lleve al coma se agregan más de 85 mosm/l con un nivel de 400 mg/dl. En un sobreviviente de coma alcohólico se alcanzaron 700 mg/de (152 mosm/l).
- h. Las relaciones de saturación del sistema de la transferrina plasmática con el hierro deben memorizarse en cantidades, condición que es innecesaria cuando la concentración es molar.
- i. En las reacciones de precipitación cuantitativa, la expresión habitual de miligramos de N/ml de suero, no tiene ninguna información útil de los reaccionantes. La conversión molar informa de cuántas moléculas de antígeno se combinan con una de inmunoglobulina y de si el anticuerpo es monovalente o polivalente.

Con todo y lo racional que resulta simplificar los sistemas previos de medición, algunas conversiones no han sido bien aceptadas como la presión y en el caso del pH, aun cuando se recomienda que continúe, el manejo estadístico no es aplicable y las diferencias aritméticas no tienen la misma proporción en el término de una escala entre cada número entero.

pH. La concentración de iones de hidrógeno $[H^+]$, desde Sorensen se expresa en forma de pH, i.e.: el logaritmo negativo de las concentraciones de hidrogeniones. El resultado es una magnitud conveniente, de manejo fácil, que evita exponentes por el expediente de las cifras de números enteros que jalonan en base 10, una variación de 14 escalas logarítmicas.

Sin embargo, la magnitud resulta de aportaciones disímolas, positivas y negativas cual corresponde al valor de un logaritmo, con lo que se cometen frecuentemente los siguientes errores:

1. Creencia de que los intervalos en la escala comprendida por la unidad de pH son iguales. La diferencia entre 7.00 y 7.05 corresponde a 1.09×10^{-8} , en tanto que entre 6.95 y 7.00 es de 0.12×10^{-8} ; es decir, la diferencia de 0.05 puede corresponder a diferencias hasta nueve veces mayores o menores dentro del mismo valor entero. En el caso de mediciones dentro de límites colindantes, v.gr.: entre 7.05 - 7.00 y 7.00 - 6.95 las diferencias son: 1.09×10^{-8} y 1.2×10^{-8} , i.e.: 10 por ciento de diferencia.
2. El manejo de series de valores de pH como si se tratara de valores homogéneos. La obtención de medias y desviaciones estándar por el sistema convencional arroja errores de los que están plagados muchos de los trabajos publicados.
3. El olvido de que la desviación estándar en magnitudes geométricas es el antilogaritmo del valor calculado y no la simple adición y resta de las magnitudes aritméticas.

La incorporación del sistema de pH al SI puede lograrse por la conversión de los valores de pH a las $[H^+]$ mediante la tabla y escalas anexas (cuadro 6 y figs. 1 y 2). La conversión obliga al uso de exponentes, en lugar de los números enteros del pH y aunque a simple vista es más complicada, informa de inmediato de la magnitud real y mantiene la uniformidad de las diferencias. La observación de una seguridad inexistente de que se está midiendo la verdadera $[H^+]$ se aplica tanto al sistema del pH como al SI propuesto.

Presión. La presión expresada en mm de mercurio debe transformarse en pascuales o kilopascuales, según el caso. Siendo la presión fuerza entre área y la fuerza expresada como masa por aceleración, la nueva unidad es el newton que sustituye a la dina del sistema cegesimal; por tanto la presión se expresa como newtons entre metros cuadrados = pascuales, o kilos por metro entre segundos al cuadrado por metros cuadrados.

Las conversiones en el campo, i.e.: mm de Hg, cm de agua y atmósfera se obtienen por los factores: 1 mm de Hg = 133.332 Pa o 0.133 kPa, 1 cm de H_2O = 98.0665 Pa o 0.098 kPa; y 1 atmósfera = 101.324 kPa; se recomienda usar siempre el mismo múltiplo, en este caso el kPa.

Cuadro 6. Equivalencia del pH en $[H^+] \times 10^{-(x+1)}$ m/l.

pH	0.00	0.01	0.02	0.03	0.4	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
X.00	10.000	9.773	9.550	9.333	9.121	8.913	8.710	8.512	8.318	8.129
X.10	7.944	7.763	7.596	7.414	7.245	7.080	6.918	6.761	6.607	6.457
X.20	6.310	6.166	6.026	5.889	5.755	5.624	5.496	5.371	5.249	5.129
X.30	5.012	4.898	4.787	4.678	4.571	4.467	4.366	4.266	4.169	4.074
X.40	3.982	3.891	3.862	3.716	3.631	3.549	3.468	3.389	3.312	3.236
X.50	3.163	3.091	3.020	2.951	2.884	2.819	2.755	2.692	2.631	2.571
X.60	2.512	2.455	2.399	2.344	2.291	2.239	2.188	2.138	2.089	2.042
X.70	1.996	1.950	1.905	1.862	1.820	1.788	1.738	1.698	1.660	1.622
X.80	1.585	1.549	1.514	1.479	1.445	1.413	1.381	1.349	1.318	1.288
X.90	1.259	1.230	1.202	1.175	1.148	1.122	1.096	1.072	1.048	1.023

El sistema hace desaparecer el *torr*, equivalente a 1 mm de Hg y el *milibar* (mbar), ya que es un hectopascal (hPa), usado para calibrar los esfigmomanómetros en la República Federal Alemana. La calibración de los baumanómetros en kPa no proporcionaría la misma separación que los mm de Hg pero en la práctica clínica, los intervalos de la escala en kPa dan toda la información cuantitativa necesaria.

Radiación. En la actividad radiactiva, las desintegraciones por segundo y la adopción del *curie* se cambian por la racional de segundos recíprocos y se introduce el *becquerel* (Bq). El factor de conversión es: 1 curie = 3.7×10^{10} Bq; 1 Bq = 2.703×10^{-11} Ci.

El Bq es una medida de la velocidad de transformación nuclear de un núclido radiactivo. El *rad* como medida de energía transferida a un sistema, expresaba la absorción de 100 ergios por gramo. En el sistema SI, las unidades son joules por kilogramo, por lo que a petición de la Comisión Internacional de Unidades y Mediciones de Radiación, el *rad* se transformó en *gray* (Gy). La transformación es: 1 Gy = 100 rads.

En la exposición, el *roentgen* (cantidad de radiación X o gamma que produce, en 1 cm³ de aire, iones que llevan una unidad electrostática de cualquier signo), se expresa como *coulomb/kg* (C/kg). El factor de conversión es 1 R = 0.258 mC/kg. En el equivalente de dosis (*rem*), la expresión es de joule/kg y no se realiza la transformación a Gy.

Energía. La energía, como capacidad de efectuar un trabajo se define como fuerza por distancia (newton-metro) y la unidad es el *joule* (J), equivalente a newton-metro (M·kg·S⁻²). En clínica sustituye a la caloría y la transformación es: 1 cal =

4.186 J. No se avizora otra ventaja que el manejo de la unidad representativa del equivalente mecánico del calor, calculado por J. P. Joule en 1843.⁶

Publicaciones diversas en México y en el extranjero pueden ayudar en la transición de los sistemas anteriores al de SI.¹⁻¹⁶

REFERENCIAS

1. World Health Organization: *The SI for the health professions*. Ginebra, WHO, 1977.
2. Kappagoda, C. T. y Linden, R. J.: *The use of SI units in cardiovascular studies*. Cardiovasc. Res. 10:141, 1976.
3. Rose, J. C.: *Pressures on the millimeter of mercury*. New Engl. J. Med. 298:1361, 1978.
4. Sellers, E. M. y Kalant, H.: *Alcohol intoxication and withdrawal*. New Engl. J. Med. 294:757, 1976.
5. Efron, A.: *El mundo del calor*. México-Buenos Aires, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1969.
6. Young, D. S.: *Standardized reporting of laboratory data. The desirability of using SI units*. New Engl. J. Med. 290:368, 1974.
7. Young, D. S.: "Normal laboratory values" in SI units. New Engl. J. Med. 292:795, 1975.
8. Organización Panamericana de la Salud: *Adopción del nuevo sistema internacional de unidades (SI)*. Bol. Of. San. Panam. 85:161, 1978.
9. Lehmann, H. P.: *Metricalization of clinical laboratory data in SI units*. Am. J. Clin. Path. 65:2, 1976.
10. Lippert, H. y Lehmann, H. P.: *SI units in medicine*. Munich, Urban & Schwarzenberg, 1978.
11. Kumate, J.: *El Sistema Internacional de Unidades*. GAC. Méd. Méx. 115:383, 1979.
12. Piña Garza, E.: *Empleo en medicina de las unidades del Sistema Internacional de Unidades*. Rev. Fac. Med. 23: 27, 1980.
13. Velásquez Jones, L.: *Sistema Internacional de Unidades (SI)*. Rev. Mex. Pediat. 47:653, 1980.
14. Barclay, W. R.: *Medicine, metrications and SI units*. J. A.M.A. 244:241, 1980.
15. Gordillo de Anda, R. y Gordillo Paniagua, G.: *El Sistema Internacional de Unidades*. Bol. méd. Hosp. Infant. (Méx.) 37:1067, 1980.

IV. PLANTEAMIENTO PROGRAMATICO EN LA ENSEÑANZA DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES A LOS FUTUROS MEDICOS

ENRIQUE PIÑA-GARZA *

Al adoptar la Organización Mundial de la Salud el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) en medicina, en mayo de 1977, formuló varias recomendaciones, una de ellas dirigida a las escuelas de medicina que a la letra dice: 'Recomendamos que todas las escuelas de medicina y las escuelas que proporcionan entrenamiento en disciplinas relacionadas con la medicina, incluyan en sus *curricula* cursos sobre la teoría y el uso del Sistema Internacional de Unidades'. México aceptó su uso en el área de la salud, por lo que las escuelas de medicina del país y las escuelas que proporcionan entrenamiento en disciplinas relacionadas con la medicina, han adquirido en forma tácita el compromiso social de preparar a sus estudiantes para emplearlo adecuadamente.

En el presente, el compromiso es de las escuelas de medicina y de las que proporcionan entrenamiento relacionado con la medicina, con sus actuales alumnos. En el futuro sería deseable que los alumnos venideros a las citadas escuelas tuvieran las bases y hubiesen trabajado con el SI antes de iniciar sus estudios profesionales. Por consiguiente, aparte de ofrecer algunas sugerencias sobre el *modus operandi* de cursos acerca de la teoría y el uso del Sistema Internacional de Unidades en las escuelas de medicina y las relacionadas con la medicina, se invita a las autoridades responsables de la educación del país a que mediten sobre la conveniencia de organizar e instrumentar un programa para incorporar la enseñanza paulatina y el empleo razonado del SI desde la primaria.

El SI es un esfuerzo a nivel internacional para facilitar la comunicación entre los hombres y en un futuro próximo, pocas actividades humanas se sustraerán a su influencia y aplicación. Algunos grupos como el de los científicos, entre ellos los médicos, habrán de hacer un manejo racional y extensivo del SI; progresivamente en ciencia el ejercicio del SI se ha tornado inevitable. Otros grupos como el de los técnicos especializados, probablemente limiten su práctica en su actividad profesional a unas cuantas unidades del sistema; la industria a nivel internacional ha sentido el impacto y tanto la tecnología desarrollada en México como la importada, cada vez más se rigen por el

SI; el caso de la industria farmacéutica es un ejemplo del cambio de viejos sistemas por el nuevo.

El resto de la población también empleará de manera regular algunos aspectos del Sistema Internacional de Unidades. Así por ejemplo, el manejo del metro, el kilogramo, el segundo, el metro cuadrado y el litro se efectúa empírica y cotidianamente por grandes masas de la población. Múltiples oficinas gubernamentales habrán de adoptar la aplicación del SI: la Dirección General de Control de Alimentos, Bebidas y Medicamentos de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, la Dirección de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio y varias dependencias en la Secretaría de Educación Pública son sólo unos ejemplos, entre los cuales destaca por su trascendencia futura el último mencionado.

De ahí, la introducción temprana del concepto de un Sistema Internacional de Unidades a partir de la educación primaria ofrece ventajas. El niño desde un principio oíría y ejercitaría, en años sucesivos, la misma idea de un sistema internacional de magnitudes y las mismas unidades del sistema para referirse a ellas. En los primeros años de la primaria y de acuerdo con los programas vigentes se podría ofrecer al educando una concepción simplificada del SI, así como la introducción en el manejo de una o dos unidades de uso común. A lo largo de la primaria se insistiría en el concepto y se emplearían todas las unidades, sus múltiplos y submúltiplos, que de acuerdo con la experiencia, resulten las utilizadas por el público en general. Desde luego, habrá que convencer a los maestros de primaria en el hábito del SI, actualizar los libros de texto, sobre todo los de distribución gratuita preparados por la SEP, tal vez adicionándoles uno o dos capítulos sencillos sobre el tema.

Sería adecuado que a lo largo de la enseñanza secundaria, el docente se percatara de la conveniencia, vastedad, alcances y coherencia del Sistema Internacional de Unidades. Sus clases de química, física, biología y geografía traerán de continuo ejemplos donde se aplique el SI y cada vez será más anacrónica la práctica de cualquier otro sistema de unidades de las diferentes magnitudes. El curso inicial de física puede ser el adecuado para revisar más a fondo de cómo se efectuó en la primaria, el concepto del SI, los principios en que se apoya, las unidades básicas y las derivadas, sus múltiplos, submúltiplos y prefijos, para conseguir lo más importante: su práctica en todos los ejercicios en que ha menester. Habría que persuadir sobre la elección del SI en los cursos conducentes impartidos a nivel de las escuelas normales superiores del país. Los actuales profesores de secundaria de las áreas apropiadas serían incitados en el dominio de SI y actualizados los libros de texto recomendados por los profesores; en resumen, una labor de varios años.

El ciclo medio superior (Preparatoria, Colegio de Ciencias y Humanidades, Colegio de Bachilleres), no deberá escaparse a las definiciones más es-

* Académico numerario. Departamento de Bioquímica. Facultad de Medicina. Universidad Nacional Autónoma de México.

trictas y la práctica exclusiva del Sistema Internacional de Unidades. Sería deseable que en poco tiempo, alumnos, profesores, libros de texto y libros de consulta, preconicen sus bondades.

De ocurrir una adopción del SI como la aquí esbozada, su ejercicio en los primeros años a nivel universitario en general, y en las escuelas de medicina en particular, será un evento espontáneo y natural. Mientras tanto, se pueden sugerir algunas medidas globales para instrumentarse, según las conveniencias locales, en las distintas escuelas de medicina y en las escuelas que ofrecen entrenamiento relacionado con la medicina. Es conveniente puntualizar que sólo se trata de sugerencias, puesto que serán los organismos colegiados previstos en la legislación específica de las diferentes universidades, los responsables de decidir los pasos a seguir para demandar la difusión y ejercicio del tantas veces mencionado Sistema Internacional de Unidades.

En las escuelas que ofrecen cursos preparatorios para seleccionar sus alumnos, la enseñanza del SI puede establecerse en tales cursos. De haber examen de admisión se prevendría a los aspirantes la exigencia en el conocimiento del sistema como parte de los requisitos para aprobar el examen.

A nivel de licenciatura se habrá de realizar una labor de persuasión, con la intención de sensibilizar y convencer a autoridades, profesores y alumnos sobre las ventajas de adoptar el SI. Entre ellas destaca, por su significado funcional, el entender el manejo de la unidad, mola/l, al referirse a la concentración de sustancia (o materia): permite visualizar con facilidad las relaciones cuantitativas de las moléculas contenidas en los líquidos biológicos.

Como parte de la labor de persuasión se insinúa enviar el documento surgido en esta sesión de la Academia Nacional de Medicina a los directores de las escuelas de medicina del país y de ser posible a las escuelas, facultades o institutos que dan entrenamiento relacionado con la medicina. En la Universidad Nacional Autónoma de México, por ejemplo, serían: la de Enfermería y Obstetricia, la de Química, la de Medicina Veterinaria y Zootecnia, la de Odontología, la de Psicología, el de Investigaciones Biomédicas y las Escuelas Nacionales de Estudios Profesionales de Zaragoza, Iztacala y Cuautitlán.

Otro paso más comprende el análisis de la situación del Sistema Internacional de Unidades en medicina por el grupo colegiado responsable de las decisiones académicas; en el caso de la Facultad de Medicina de la UNAM, su Consejo Técnico. Cuando menos una sesión del Consejo Técnico podría ser dedicada al tema en cuestión y se sometería a la opinión de los consejeros un conjunto de medidas cuyo objetivo sería la adquisición, por parte de los alumnos, de los conocimientos y habilidades para el uso del Sistema Internacional de Unidades en medicina. Dichas medidas, ponderadas por los consejeros, enriquecidas con proposiciones salidas del seno del Consejo y de la comunidad universi-

taria, llevarían al grupo colegiado a señalar los rumbos hacia la consecución del objetivo indicado.

Algunas ideas sujetas a la consideración de los consejeros son las siguientes:

1. Instrumentar actividades: (seminarios, exposiciones, conferencias, etc.) para concientizar a los profesores sobre los beneficios del SI y la conveniencia de su pronta adopción.
2. Encargar la elaboración de un folleto sobre el empleo del SI en medicina para ser distribuido entre profesores y alumnos. El folleto en cuestión podría ser el emanado de esta reunión de la Academia u otro preparado *ex profeso*, tal vez de los llamados de "autoenseñanza".
3. Solicitar la organización de un "taller" sobre el Sistema Internacional de Unidades en medicina. El Centro Universitario de Tecnología Educativa para la Salud (CEUTES) podría encargarse de la organización del taller. Habría de resolverse la conveniencia de la asistencia, obligatoria o no, de los profesores o de los alumnos.
4. Incluir un curso corto del SI en medicina dentro de los programas de enseñanza extracurricular, auspiciados activamente por la Secretaría de Educación Médica, en el caso de la Facultad de Medicina de la UNAM. El curso comprendería los orígenes, ventajas, aplicaciones y esencia del Sistema Internacional de Unidades en la medicina.
5. Considerar el manejo del SI en medicina dentro de los cursos de educación médica continua, ofrecidos por la División de Estudios de Posgrado, en el ejemplo de la Facultad de Medicina de la UNAM.
6. Incluir el uso del SI en medicina dentro de los objetivos terminales del médico general. Para la Facultad de Medicina de la UNAM se propone, por ejemplo, introducir una pequeña adición al objetivo D, punto 6, último inciso. En la actualidad dice: El alumno, al terminar sus estudios, tendrá la capacidad de: "aplicar las medidas específicas e inespecíficas de prevención a nivel primario, secundario (diagnóstico temprano y tratamiento oportuno) y terciario (rehabilitación) con los medios del programa a que pertenece o con la coordinación de los recursos extra, intra o interinstitucionales". El punto 6 del objetivo anterior dice: "Ejecutar los procedimientos médicos quirúrgicos que se detallan". A continuación vienen 22 ítems, el último de los cuales dice: "...toma de productos e interpretación de resultados: biometría hemática, química sanguínea...". Este último ítem podría quedar así: "...toma de productos e interpretación de resultados de acuerdo con las normas propuestas por el Sistema Internacional de Unidades en (todos los casos donde sea aplicable): biometría hemática, química sanguínea...".

7. Explorar, en cuanto a magnitudes y unidades exclusivamente, las del SI en todas las evaluaciones (parciales, finales, profesionales, de selección para internado, etc.) efectuadas por las facultades o escuelas de medicina.
8. Manejar celosamente a lo largo de todos los cursos las magnitudes y unidades del SI.
9. Modificar la manera de informar resultados de los análisis clínicos. Un factor decisivo para hacer expedito el uso de SI, particularmente en la clínica, es el informe adecuado de los exámenes de laboratorio. La difusión y el empleo de una "comunicación uniforme de resultados del laboratorio" se recomienda ampliamente. En él habrán de colaborar químicos y técnicos de laboratorio. Para su establecimiento podrán prepararse tablas de equivalencias. La elaboración de un patrón modelo que lleve a la "comunicación uniforme de resultados del laboratorio" podría ser propuesta a la comunidad médica del país por la Academia Nacional de Medicina.
10. Organizar seminarios en los programas formales a nivel de posgrado sobre la superioridad del empleo del Sistema Internacional de Unidades. Esta actividad sería provechosa para los estudiantes de posgrado, los profesores de esos cursos y en general el personal asociado al sitio donde se desarrolla el curso.
11. Recomendar la actualización de libros de texto y de consulta en lo relativo a magnitudes y unidades solicitando explícitamente el acatamiento al SI. La recomendación será aplicable a todos los documentos oficiales suscritos por las autoridades de las escuelas de medicina; en la situación de la Facultad de Medicina de la UNAM, incluye desde luego su revista.
12. Apremiar a ciertos departamentos, por ejemplo los de Fisiología y Bioquímica, para que estudien la conveniencia de incluir en sus objetivos educacionales, los referentes al empleo del Sistema Internacional de Unidades en medicina. Su uso y significado cabal obviará futuras explicaciones relativas a la utilidad en la adopción.

Finalmente para prohiar el Sistema Internacional de Unidades en áreas de la salud, seamos conscientes del relevante papel que juegan los profesores de las escuelas de medicina y de las escuelas que ofrecen entrenamiento en disciplinas relacionadas con la medicina. Con su decidido apoyo, la meta propuesta será un logro y se facilitará la comunicación técnica entre el personal médico y paramédico.

V. LAS REVISTAS PERIODICAS Y EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

SILVESTRE FRENK *

Necesariamente, la implantación del Sistema Internacional de Unidades (al que de aquí en adelante nos referiremos como "el Sistema") ha debido reflejarse en las publicaciones científicas. Justo es reconocer que desde mucho antes de que la Convención de Vancouver o su llamado comité timonel recomendaran la adopción del Sistema en todas las revistas médicas, hubo ya algunas que lo utilizaron y que además publicaron tablas de valores normales en química clínica, expresados tanto de la manera usual como con la nueva notación.

No es en realidad tan nueva. Desde los albores de la era de James Gamble, se han impuesto orden y concierto en la ciencia de los gases, líquidos y iones aplicada a la medicina; cuando de ellos se habla, mucho ha que no cabe ya expresarse en términos de concentración de masa (p. ej., mg en cien mililitros) y no prevalece, para este fin al menos, más idioma que el de la concentración de molas y equivalentes o sus submúltiplos en un decímetro cúbico, vulgarmente conocido como litro. Así también una pequeña cohorte de nutriólogos mexicanos tratamos de sustituir, desde el año 1969 y con éxito efímero por cierto, la caloría termoquímica por el joule o sus múltiplos.

Enormes han sido siempre las dificultades para remontar aquello que tan a la ligera llamamos tradición. Aun de aquellas regiones del mundo en que, épocas oscurantistas aparte, se mantiene la inamovilidad docente y florece un genuino y permanente espíritu académico; donde, como obligada consecuencia, todos los médicos reciben y mantienen una sólida preparación científica; donde, por ende, debiese resultar relativamente fácil adaptarse al Sistema, sabemos que se ponen reparos a su instauración generalizada.

* Académico titular. Editor de la GACETA MÉDICA DE MÉXICO.

Una pequeña encuesta del autor acerca de cuál ha sido el impacto del Sistema en las revistas médicas, ha merecido respuesta por parte del Prof. Dr. Arnold S. Relman, editor del *New England Journal of Medicine*:

"Hemos encontrado cierta resistencia a la adopción del SI, pero hemos evitado una rebelión, haciendo las cosas más fáciles para nuestros lectores. Como usted sabrá, permitimos a los autores comunicar sus hallazgos de laboratorio, sea en unidades 'tradicionales' o en unidades SI. Sea cual fuere el sistema que elijan, deben al mismo tiempo proporcionar el valor equivalente en el sistema alterno. Así, quien informe sobre glicemia ha de escribir: 'la glucosa sanguínea fue de 180 mg/l (10 mmol/l)'".

"Pienso que usted va a reconocer, como editor, un elemento interesado para fundamentar nuestra decisión a convertirnos. Con más de 40 000 suscriptores de fuera de los Estados Unidos (y un saludable por ciento de contribuidores no norteamericanos), cobrará mayor sentido emplear un sistema que todos puedan entender. A mayor abundamiento, los estudiantes de medicina aprenden ahora el SI y hemos de asumir que lo seguirán utilizando, una vez que empiecen a ejercer (y espero, a renovar sus suscripciones)".

"Hay algunas cosas acerca del SI que considero más bien impracticables. Por ejemplo, no nos podemos imaginar que nadie emplee kilopascales para indicar los valores de la tensión arterial, ya que la mayor parte de los esfigmomanómetros que conocemos están calibrados en milímetros de mercurio; por lo tanto, ignoramos esa parte del Sistema. También objetamos recorrer puntos decimales, sólo en nombre de la uniformidad; en sus recomendaciones para 'convertir' las cuentas sanguíneas diferenciales, el SI nos indica multiplicar las unidades porcentuales tradicionales por 0.01. Cabe preguntarse a qué propósito se sirve con lo anterior".

"Quizás sus lectores se apaciguarían si usted adoptase nuestro enfoque bilingüe. En todo caso, mis mejores deseos para usted y la venerable GACETA".

Hasta aquí el profesor Relman.

Fuerza es decir que en México, las publicaciones periódicas que desde este año se someten al Sistema, se vienen adelantando a su adopción general por parte de los laboratorios de patología clínica, así como también a la instrucción en el manejo de aquel, en escuelas universitarias y en cursos para técnicos y graduados. Desempeñarán pues las revistas un papel relevante, cuando no como instrumento de aprendizaje, sí como vehículo de divulgación y de visibilización del Sistema y de sensibilización hacia el mismo por parte de los médicos, tanto de los que leen como de los que escriben.

Son estos últimos los que por ahora han de llevar la carga mayor de este esfuerzo colectivo internacional. De aquí en adelante, los textos y las ilustraciones de sus artículos se tendrán que ajustar al Sistema.

La experiencia personal ha demostrado que nuestros médicos en ejercicio clínico, aun los que han recibido una buena preparación básica, todavía no comprenden bien lo que se espera de ellos cuando se les devuelve su trabajo, con la indicación de que corrijan la forma en que comunican los datos de laboratorio. Como consecuencia, ha debido ser el editor quien realice las conversiones respectivas, como una más de las múltiples labores relativas a la producción de la revista puesta a su cuidado. Hay visos de que las cosas continuarán así por largo tiempo.

Por ahora los puntos de mayor dificultad son:

- Habituar al empleo de exponentes positivos y negativos.
- Decidir cuándo se han de referir los resultados en términos de concentración de masa y cuándo, como concentración de sustancia.
- Abandonar los porcientos, inclusive su reciente traducción a decilitros, la que, valga decirlo, también dio lugar, en su tiempo, a malos entendidos.
- Olvidar la convención de referir las cuentas de elementos formados de la sangre a su concentración en un milímetro cúbico.
- Sustituir las unidades arbitrarias en que se miden las actividades de diversas enzimas, por unidades internacionales y estas, por katalas o sus submúltiplos.
- Emplear signos de puntuación de modo diferente al usual entre nosotros; por ejemplo, la coma en vez del punto decimal, cuyo uso queda limitado a indicar la operación aritmética de la multiplicación.
- En suma, dejar de resistirse al cambio y estudiar el asunto con dedicación y convencimiento.

La GACETA MÉDICA DE MÉXICO ya emplea el Sistema, como se decía, en su actual volumen 117; escritos entre paréntesis, como concesión, indica por ahora los valores y unidades con que todavía estamos familiarizados, pero que muy pronto no serán sino los "emisarios del pasado" en materia de la información científica y técnica.

Día llegará pronto, en que a fuerza de ver que en las publicaciones quedan expresados los valores de las constantes de laboratorio en un nuevo lenguaje numérico y con una referencia hasta ahora no utilizada, el médico se adapte al Sistema. Por supuesto que para los nuevos médicos, que como estudiantes ya han recibido adiestramiento en la técnica de conversión de unas unidades en las otras, el cambio será más natural y considerablemente menos traumático.

VI. PROGRAMA DE LA ACADEMIA NACIONAL DE MEDICINA PARA LA ADOPCION DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES EN LA PRACTICA MEDICA

MAURICIO GARCÍA-SAINZ

La Academia Nacional de Medicina, por decisión de su presidente, el doctor Felipe Mendoza, ha preparado un programa de carácter educativo para contribuir a la implantación del Sistema Internacional de Unidades (SI) en la práctica médica.

México adquirió el compromiso internacional de utilizar las unidades SI en la práctica médica, de acuerdo con el calendario propuesto por la Organización Mundial de la Salud, de manera que para el año 1985 se hayan sustituido totalmente las unidades métricas en uso actual.

Vale la pena mencionar que el sistema métrico decimal fue adoptado por México en el año 1900, es decir, un año antes de que quedaran totalmente revisados y redefinidos los patrones internacionales de referencia, propuestos en aquel entonces por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas. Este antecedente alienta a la Academia Nacional de Medicina en su programa educativo, con la certeza de que el cambio de unidades que se ha pactado por consenso internacional, se podrá llevar a buen fin en el tiempo previsto.

Las actividades que integran este programa son:

Difusión de la importancia práctica que tiene el uso del Sistema Internacional de Unidades.

Sensibilización de los interesados en la prác-

tica médica para que realicen el esfuerzo necesario para lograr la implantación del sistema.

Estas dos actividades se desarrollarán mediante conferencias con apoyo audiovisual y distribución de documentos informativos.

Capacitación de personal responsable de llevar al cabo, en forma directa, los cambios y adaptaciones necesarias para que pueda usarse el sistema en la práctica médica.

La capacitación se hará mediante laboratorios y seminarios que permitan a los participantes adquirir un conocimiento teórico y práctico suficiente. Como apoyo a la implantación al SI se hará la distribución de publicaciones y documentos técnicos de consulta para los usuarios del sistema.

La Academia Nacional de Medicina invita cordialmente a las secretarías de Estado e instituciones del Sector Salud, a las universidades, escuelas, facultades de medicina, a las sociedades, colegios y federaciones profesionales relacionadas con la educación y con las ciencias de la salud, para que participen activamente en este programa, que está dirigido a médicos, odontólogos, enfermeras, químicos y técnicos en áreas de la salud.