

UN SISTEMA DESCONOCIDO PERO INTERNACIONAL

Antonio Joaquín Franco Mariscal ¹; Vicente Daries Lacorrea ²

¹ I.E.S. Javier de Uriarte - Rota (Cádiz). e-mail: antoniojoaquin.franco@uca.es

² I.E.S. Jaume I de Ontinyent (Valencia). e-mail: vicentdaries@telefonica.net

[Recibido en Febrero de 2008, aceptado en Abril de 2008]

RESUMEN **(Inglés)**

Se presenta en este trabajo un estudio sobre el Sistema Internacional de Unidades (SI) en la etapa de Educación Secundaria (13 a 18 años), cuyo objetivo es comprobar si el alumnado conoce las siete magnitudes y unidades fundamentales, que manejan habitualmente en el aula. A partir del currículum de ciencias se han analizado las posibles causas de las deficiencias encontradas en las magnitudes fundamentales y derivadas. Los resultados muestran que el sistema a pesar de ser internacional es desconocido.

Palabras clave: Sistema Internacional de Unidades; Magnitud fundamental; Magnitud derivada; Educación Secundaria.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha observado que el espíritu que propugna el carácter universal de la nomenclatura y símbolos de las unidades que constituyen el Sistema Internacional de Unidades (SI) se ha ido vulnerando con el paso del tiempo. Las reglas que incluye este sistema para magnitudes y unidades, y especialmente en lo que se refiere a estas últimas se ignoran con frecuencia en la práctica, designándose generalmente de manera incorrecta en todos los niveles desde libros de texto hasta publicaciones especializadas. Teniendo conocimiento de este deterioro, Puigcerver (1991) elaboró una guía para el uso correcto del SI donde incluía las reglas generales, bien conocidas por todos, pero a las que no se presta la suficiente atención.

Desde el punto de vista didáctico, un manejo correcto y con destreza del SI, contribuye a inculcar al alumnado el uso de unas unidades comunes para toda la comunidad científica, mientras que también le ayudará a entender que un problema resuelto sin unidades o con una usada incorrectamente no tiene un significado científico. Por esta razón, tiene interés averiguar el conocimiento de que disponen los estudiantes de Secundaria acerca del SI, porque permitirá comprobar si el deterioro citado ya existe desde su aprendizaje, así como analizar el origen de las posibles deficiencias que se pudieran detectar. En este sentido, esta

aportación a la investigación educativa puede servir de ilustración a otros profesores que desconozcan a fondo la selección de magnitudes fundamentales. Con estos objetivos, se ha realizado un amplio estudio en la etapa de Educación Secundaria, ya que algunos de sus estudiantes se convertirán en los futuros científicos del siglo XXI.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Para medir es necesario definir magnitudes y unidades, construir patrones y también instrumentos de medida. El SI, desarrollado a partir del antiguo sistema Giorgi o MKS (Sánchez del Río, 1987; Vidal, 1978, Villena, 1987), surge por la necesidad de que los distintos países utilicen unidades comunes. El SI se acepta universalmente y es de uso legal en España (Ley 88/1967 de 8 de noviembre; Decreto 1257/1974 de 15 de abril; Real Decreto 1317/1989 de 27 de octubre y corrección de errores; Real Decreto 1737/1997). La Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) y la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (UIFPA) se han preocupado, mediante sus publicaciones y las de las pertinentes comisiones nacionales (Comisión Nacional de Metrología y Metrotecnica, 1974; Centro Español de Metrología CEM, 2000), de dar a conocer las normas sobre símbolos, unidades y nomenclatura. Toda esta normativa y su uso, se puede encontrar en las páginas webs oficiales de algunas de estas instituciones como BIPM, NIST (National Institute of Standards and Technology) o ATI (Applied Technology Institute) (Nelson, 2000).

En la actualidad, estas instituciones también están manifestando cierto interés y preocupación ante la necesidad de la difusión y la mejor enseñanza del SI en las etapas de Educación Secundaria y en la universidad. Entre ellas, el CEM tiene previsto la distribución en los centros escolares de la última edición del SI o el montaje de un aula metrológica.

Asimismo se empiezan a publicar trabajos de investigación que abordan la problemática del proceso de enseñanza aprendizaje del SI. Así, Lee (1995) analiza el uso de las unidades en Geografía y disciplinas relacionadas. Por su parte, Pascual (1996) analiza el problema a nivel universitario planteando como factores que dificultan la asimilación de los conocimientos del SI, los escasos medios de enseñanza para esta unidad y la falta de motivación del estudiante.

A continuación se resumen las tres clases de magnitudes del SI.

- *Magnitudes básicas o fundamentales:* Se refieren a siete magnitudes independientes (Tabla I)
- *Magnitudes suplementarias:* Aquellas en las que su carácter fundamental no aparece claro a priori. De momento sólo hay dos puramente geométricas, *ángulo plano* y *ángulo sólido*, cuyas unidades son el *radián* y el *estereorradián*, respectivamente (Nelson, 1984).
- *Magnitudes derivadas:* A partir de las siete básicas se puede definir una larga lista de magnitudes derivadas, que pueden obtenerse como productos o cocientes de las fundamentales o suplementarias, sin utilizar coeficientes.

El SI ofrece múltiples ventajas sobre todos los demás sistemas de unidades. Entre ellas, destaca su carácter universal que abarca todos los campos de la ciencia, la técnica, la economía y el comercio; y su coherencia porque no necesita de coeficientes de conversión y todas sus unidades guardan proporcionalidad entre sí, simplificando la estructura de las unidades de medida y sus cálculos, lo que evita errores en su interpretación. Al igual que el Sistema Métrico Decimal, utiliza prefijos para la determinación de los múltiplos y submúltiplos de la unidad básica de cada magnitud, eliminando así la multiplicidad de nombres muy diferentes para una misma magnitud. Por último, permite formar unidades derivadas con mayor facilidad e integra en uno solo, varios subsistemas de medidas, facilitando así el proceso de enseñanza aprendizaje. A pesar de estas ventajas, en los últimos años, algunos autores han contribuido a una activa discusión al proponer redefinir las unidades básicas (Davis, 2005; Stock y Witts, 2006) o relacionarlas con constantes físicas fundamentales (Kononogov, 2007).

MAGNITUD	UNIDAD	SÍMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Intensidad de corriente	ampère	A
Intensidad luminosa	candela	cd
Cantidad de sustancia	mol	mol

Tabla I.- Magnitudes y unidades fundamentales del SI.

Desde el punto de vista didáctico, resulta interesante mostrar al alumno los criterios usados por el Comité Internacional para seleccionar algunas magnitudes. Así, la elección de *masa* en lugar de *fuerza*, se puede explicar a partir de la definición que estableció el Sistema Métrico Decimal. Según esta definición, la *fuerza* es el peso de una determinada *masa*, por lo que se requiere la aceleración de la gravedad como factor de definición, la cual como sabemos varía con la altura del lugar sobre la superficie terrestre donde se halle la *masa*. Por esta circunstancia, es evidente que de ambas, la *masa* es la magnitud más apropiada para considerarse fundamental, y la *fuerza*, derivada. Por otro lado, se puede indicar por qué la *cantidad de sustancia* no es redundante con la *masa*. Para apoyar nuestra explicación sobre qué significa medir, qué son las magnitudes y cuáles son las unidades del SI se pueden utilizar algunas páginas webs (Soto, 2002; Sistema Internacional de Unidades, 2002).

MUESTRA Y METODOLOGÍA

El presente estudio se ha llevado a cabo durante el curso 2004/2005 con alumnos que cursaban asignaturas de ciencias desde 2º ESO a 2º Bachillerato (BTO) (13 a 18 años) en dos centros diferentes de Valencia de la misma comarca, el I.E.S. Jaume I de Ontinyent y la Sección del I.E.S. José de Ribera de La Pobla del Duc. Los alumnos de 4º ESO estudian la optativa de Física y Química, y los de BTO, Ciencias de la Salud. El estudio se ha realizado a partir de 2º ESO, nivel en el que se utilizan algunas de las

unidades del SI pero donde se desconoce su carácter universal, ya que el currículum introduce el SI en el curso posterior.

En total han participado en la experiencia 217 estudiantes distribuidos de la forma indicada en la Tabla II. Los alumnos dispusieron de cinco minutos para resolver la tarea recogida en el **Anexo**. Dicha tarea fue realizada durante el mes de mayo, próxima a la finalización del curso escolar, época en la que el alumnado ya había trabajado las unidades.

	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO
I.E.S. ONTINYENT	42	33	33	33	30
I.E.S. POBLA DUC	19	15	12	---	---
TOTAL ALUMNOS	61	48	45	33	30

Tabla II.- Distribución de alumnos por cursos y centros.

RESULTADOS

Debido a que el conocimiento y manejo de las magnitudes fundamentales (salvo *intensidad luminosa* y *cantidad de sustancia*) se realiza desde la Educación Primaria hasta 3º ESO, donde se introducen formalmente, cabría esperar que los alumnos de todos los niveles analizados indicaran correctamente al menos cinco de las magnitudes, y en cursos superiores se dieran todas. Sin embargo, la distribución de porcentajes de estudiantes según el número de aciertos en las magnitudes básicas con sus correspondientes unidades, mostrada en la Figura 1, indica que nuestras expectativas no son ciertas.

Aproximadamente un 15% del total de alumnos no cita correctamente ninguna magnitud fundamental ni unidad. Además, la respuesta mayoritaria (un 28%) corresponde a alumnos que indican con acierto dos magnitudes básicas. Por otro lado, el 84,6% no indica correctamente más de tres magnitudes fundamentales, mientras que sólo un 6,1% identifica cinco o más magnitudes básicas.

Los porcentajes de acierto para cada nivel se muestran en la Figura 2. Así, el 34,4% de los estudiantes de 2º ESO desconoce todas las magnitudes y unidades fundamentales, mientras que el 37,7% sólo acierta una y ningún alumno indica con acierto más de tres magnitudes.

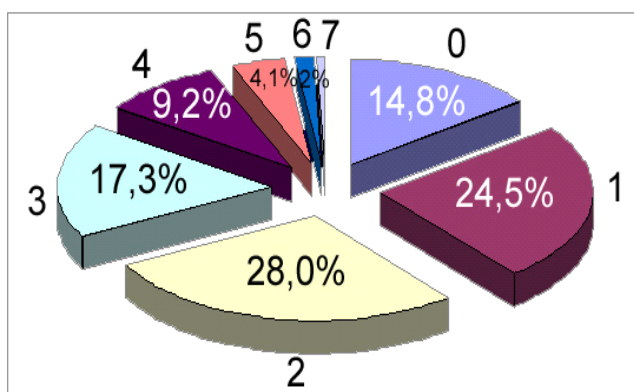


Figura 1.- Distribución de porcentajes de alumnos según el número de aciertos en las magnitudes fundamentales con sus unidades correspondientes.

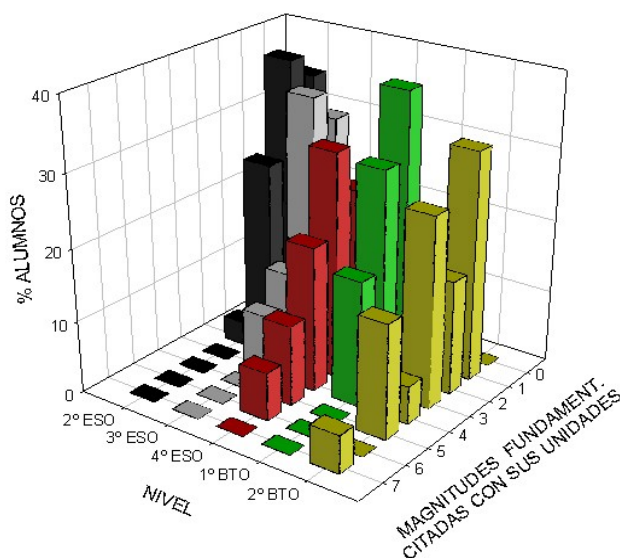


Figura 2.- Distribución de porcentajes de alumnos por curso y número de magnitudes y unidades básicas correctas.

En 3º ESO el porcentaje que desconoce todas las magnitudes básicas o que acierta una, es inferior al de 2º ESO, mientras que los correspondientes a dos, tres y cuatro magnitudes son superiores. En este curso el máximo número de aciertos es cuatro. Los datos de 4º ESO muestran tantos porcentuales inferiores al 5% para ningún y un acierto. Los porcentajes relativos de tres a seis magnitudes son muy superiores a los de 3º ESO y sólo el 6,7% identifica seis magnitudes. En general, los resultados de 1º BTO son peores que los de 4º ESO, observándose altos porcentajes en pocos aciertos. En 2º BTO, el 26,3% indica correctamente cuatro o más magnitudes y sólo en este nivel se indica de forma correcta las siete magnitudes y unidades básicas.

La Figura 3 ordena de forma porcentual las 20 magnitudes que el alumnado considera fundamentales. Entre ellas se encuentran, sombreadas en negrita, las siete magnitudes básicas, que como se verá, no siempre se corresponden con las siete mayoritarias.

La *longitud*, la magnitud más citada, ha sido nombrada por más del 80% de los alumnos y presenta un 22,5% de diferencia con la magnitud inmediatamente siguiente. Las cuatro primeras magnitudes (*longitud*, *tiempo*, *masa* y *temperatura*), citadas al menos por un 44% de los alumnos, son fundamentales. Sin embargo, las restantes magnitudes básicas (*intensidad de corriente*, *cantidad de sustancia* e *intensidad luminosa*) aparecen en las posiciones 10, 12 y 18, respectivamente. Las tres primeras magnitudes corresponden con las tres magnitudes fundamentales tradicionales con anterioridad al SI y que pertenecían al antiguo sistema MKS. Salvo las siete magnitudes básicas y la suplementaria *ángulo*, el resto de magnitudes citadas son derivadas. Entre ellas, las más citadas, *fuerza*, *velocidad* y *peso*, presentan porcentajes superiores al 40%.

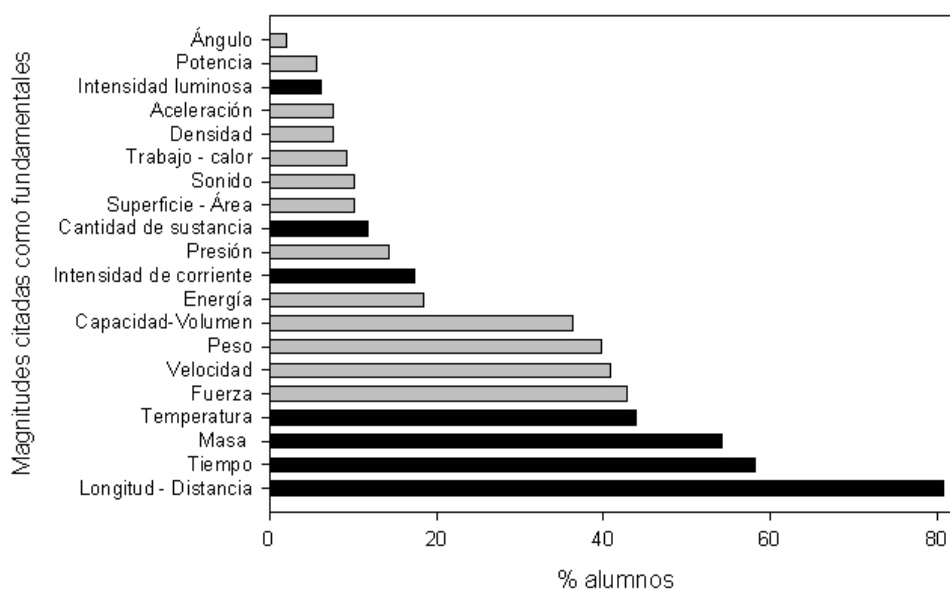


Figura 3.- Porcentaje de alumnos que cita cada magnitud considerada como fundamental.

MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES

Atendiendo al orden porcentual, se exponen a continuación los resultados obtenidos para las magnitudes y unidades básicas.

Longitud

Un 52,04% de los alumnos se refiere a esta magnitud con el término *longitud*, mientras que el 28,57% emplea distancia o espacio. La Tabla III recoge las frecuencias absolutas de estudiantes que citan cada respuesta por cursos y para el total de alumnos. Para facilitar su lectura, en ésta y en las sucesivas tablas, se han sombreado las respuestas mayoritarias.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO	TOTAL
Longitud	m	10	26	38	20	17	111
	Múltiplos o submúltiplos	0	3	0	0	0	3
Distancia	m	22	9	2	4	5	42
	Múltiplos	2	0	1	0	2	5
Espacio	m	1	0	0	7	5	13
Altura	m	0	2	2	0	0	4

Tabla III.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan la magnitud longitud.

Se observa que el término *longitud* se utiliza de forma mayoritaria en todos los cursos, salvo en 2º ESO, y que en todos los niveles se nombra de forma mayoritaria el *metro* como su unidad fundamental.

Tiempo

El *tiempo* ha sido la segunda magnitud básica más citada. Su unidad, el *segundo*, se indica de forma correcta en todos los niveles, excepto en 2º ESO donde se considera la *hora*. Sólo en 3º ESO y en BTO se propone el *segundo* como única respuesta.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO	TOTAL
Tiempo	s	7	20	36	29	20	112
	min	2	0	1	0	0	3
	h	14	0	1	0	0	15

Tabla IV.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan la magnitud tiempo.

Masa

Se observa confusión entre *masa* y *peso*, que se citan con elevados porcentajes y unidades erróneas en todos los cursos, y en ocasiones simultáneamente. El alumnado que cita *peso* en 2º y 3º ESO es superior al que indica *masa* y en ambas magnitudes, la unidad más citada es el *kilogramo*, siendo ésta la unidad fundamental de *masa* pero no la de *peso* que es el *newton*.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO	TOTAL
Masa	kg	11	12	25	6	12	66
	g	5	10	13	14	11	53
	N	1	0	0	0	0	1
Peso	kg	23	17	4	1	3	48
	g	7	5	0	11	0	23
	N	1	1	4	0	3	9

Tabla V.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan la magnitud masa.

Temperatura

Aunque los porcentajes de *grados Celsius* y *kelvin* son idénticos en el total de alumnos, la respuesta correcta, *temperatura (kelvin)*, es mayoritaria a partir de 4º ESO, predominando en 3º ESO *grados Celsius* y en 2º ESO, *grados*, término incompleto por el que habitualmente se hace referencia a °C. Se observa que algunos alumnos de BTO utilizan el concepto de *calor* para referirse a *temperatura*.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO	TOTAL
Temperatura	K	0	4	14	7	9	34
	°C	5	10	11	0	5	31
	°C o K	0	2	3	6	0	11
	grados	7	4	0	4	3	18
Calor	K	0	0	0	1	0	1
	grados	0	0	0	3	0	3

Tabla VI.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan la magnitud temperatura.

Intensidad de corriente

Los datos de la tabla VII muestran el desconocimiento de la magnitud *intensidad de corriente* y de su unidad, el *ampère*, que ningún alumno designa como tal, sino castellanizando el vocablo, perdiéndose así el carácter universal del SI.

A partir de 3º ESO, con la excepción de 1º BTO, se considera al *amperio* de forma mayoritaria como unidad de *intensidad de corriente*. En todos los cursos, especialmente en 2º ESO, existe confusión con conceptos relacionados con esta magnitud como voltaje, tensión o resistencia.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO	TOTAL
Intensidad de corriente	A	0	4	5	0	9	18
Relacionadas con intensidad	V	5	2	0	0	1	8
Electricidad	Varias unidades	1	3	3	6	1	14

Tabla VII.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan la magnitud intensidad de corriente.

Cantidad de sustancia

Esta magnitud no se cita en 2º ni 3º ESO, mientras que algunos alumnos que desconocen su nombre la denominan con conceptos relacionados como intensidad molar, molaridad o moles.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO	TOTAL
Cantidad de sustancia	Mol	0	0	9	7	8	24
Conceptos relativos mol	Mol	0	0	2	3	0	5

Tabla VIII.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan la magnitud cantidad de sustancia.

Intensidad luminosa

Por último, se muestran los datos correspondientes a *intensidad luminosa*.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO	TOTAL
Intensidad luminosa	cd	0	0	8	0	1	9
	A	0	0	1	0	0	1

Tabla IX.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan la magnitud *intensidad luminosa*.

MAGNITUDES Y UNIDADES SUPLEMENTARIAS

En la última posición, se indica la única magnitud suplementaria del SI, el *ángulo*, asociándole de forma incorrecta la unidad grados. Esta magnitud sólo se cita en 2º ESO (6,56%). El *ángulo* es una magnitud suplementaria cuya unidad es el *radián* o el *estereorradián*, según sea plano o sólido. Sin embargo, a pesar de que grados, minutos y segundos no son unidades propias del SI, su uso está permitido dentro de éste.

MAGNITUDES Y UNIDADES DERIVADAS

La tabla X recopila algunos resultados encontrados en las magnitudes derivadas más frecuentes citadas como fundamentales.

MAGNITUD	UNIDAD	2º ESO	3º ESO	4º ESO	1º BTO	2º BTO
Fuerza	N	20	5	17	30	23
Velocidad	m/s	10	2	13	17	17
Aceleración	m/s ²	0	0	1	9	0
Capacidad	L	22	12	4	0	0
Volumen	L	0	1	4	9	3
Superficie	m ²	10	0	2	0	0
Energía	J	8	2	15	3	9
Trabajo	J	1	0	1	12	3
Calor	J	1	0	0	1	0
Potencia	W	0	0	6	0	1
Presión	Pa	0	0	0	3	6
	atm	0	8	5	1	3
Sonido	Hz	2	0	0	0	0
Densidad	kg/m ³	0	0	1	0	0

Tabla X.- Frecuencias absolutas de alumnos que mencionan las diferentes magnitudes derivadas.

Más del 40% del total de estudiantes y 9 de cada 10 alumnos de 1º BTO considera la magnitud derivada *fuerza* (MLT⁻²) como fundamental, convirtiéndose así en la más citada. En todos los cursos se indica el *newton* como unidad, aunque algunos alumnos de 4º ESO lo confunden con el *joule*, la unidad de energía.

En cuanto a la *velocidad*, la unidad más citada en todos los cursos es m/s, salvo en 2º ESO que es km/h. Erróneamente también se indican en la ESO unidades de longitud.

Por otro lado, se citan como básicas magnitudes con relación directa con la *longitud*. Así, en la ESO se prefiere *capacidad* (23,46%) y en BTO, *volumen* (12,24%). Respecto a su unidad, e independientemente del concepto utilizado, se indica mayoritariamente, el *litro*. Por otra parte, y prácticamente limitado a 2º ESO, se emplean los sinónimos *superficie* y *área*, siendo el primero mayoritario. En las unidades de todas estas magnitudes es frecuente asociar erróneamente unidades lineales, superficiales o volumétricas.

También se indican como fundamentales *energía*, *trabajo*, *calor* y *potencia*, siendo el primer término el más nombrado en todos los cursos, salvo en 1º BTO donde es *trabajo*. Respecto a las unidades de *energía* y *potencia*, como ocurría con *ampère*, ningún alumno la designa como *joule* o *watt*, respectivamente, y los que la citan castellanizan el vocablo.

Por su parte, la magnitud *presión* no se cita en 2º ESO, siendo la unidad más nombrada la *atmósfera* porque el *pascal* sólo se indica en BTO. Respecto al *sonido* sólo se usa en 2º y 3º ESO y su unidad más citada, el *decibelio*, no se corresponde con la fundamental. Por último, la densidad se usa con unidades incorrectas en todos los niveles, salvo en 2º BTO donde no se incluye como magnitud básica.

DISCUSIÓN

A partir de los datos obtenidos se plantea el problema de investigar cuáles son los factores responsables de que los estudiantes identifiquen de una forma tan pobre las magnitudes fundamentales del SI. La hipótesis más probable que explica este

desconocimiento de magnitudes se debe al tratamiento que el currículum de ciencias da al SI, que sólo lo introduce como tal en dos de los cursos de la Educación Secundaria y luego va salpicando sus contenidos a lo largo de temas específicos. Esta distribución de contenidos hace que el alumno en determinados cursos no recuerde el SI y utilice magnitudes muy diversas, en las que no se insiste su carácter básico o derivado.

Para fundamentar esta hipótesis se analizará en detalle el SI y los contenidos relativos a cada magnitud que se incluyen en el currículum. Así, la tabla XI resume las magnitudes básicas que se trabajan en cada curso en las materias Ciencias de la Naturaleza (2º ESO), Física y Química (3º ESO, 4º ESO y 1º BTO), Física (2º BTO) y Química (2º BTO) atendiendo a los Reales Decretos 3473/2000 y 3474/2000, de 29 de Diciembre, que establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria y al Bachillerato, respectivamente, y por los que se rigen los libros de textos de los alumnos. La tabla XI es, por tanto, indicativa de los contenidos relativos al SI que han recibido los distintos grupos de alumnos al haber desarrollado la tarea al final del curso escolar. Se observa que las magnitudes más repetidas en el currículum (*longitud, tiempo, masa y temperatura*) son también las cuatro mayoritarias identificadas como básicas.

	Longitud	Tiempo	Masa	Temperatura	Intensidad de corriente	Cantidad de sustancia	Intensidad luminosa
2º ESO	X	X	X	X			
3º ESO	X	X	X	X	X	X	X
4º ESO	X	X	X	X		X	
1º BTO	X	X	X	X	X	X	X
2º BTO		X	X	X	X	X	

Tabla XI.- Magnitudes fundamentales que se trabajan en cada curso.

El SI, como tal, se introduce por primera vez en el currículum de ciencias en la unidad "Introducción al método científico" de la materia de Física y Química de 3º ESO. En este tema se establecen las magnitudes básicas y derivadas, sus definiciones, la medida de las mismas, la utilización de prefijos para múltiplos y submúltiplos y el uso de factores de conversión. El currículum no vuelve a tratar de forma completa esta unidad hasta 1º BTO en la asignatura de Física y Química. Por su parte, la mayoría de los libros de texto presentan el estudio del SI como un tema de introducción de la asignatura, lo que hace que en muchas ocasiones no se imparta, o que tanto docentes como estudiantes no presten la importancia que realmente posee en su enseñanza y aprendizaje. En nuestro caso, aproximadamente el 70% de los alumnos que desarrolló la tarea había estudiado dicha unidad.

Los datos de 3º ESO y 1º BTO de la Figura 2, precisamente los cursos en que se imparte el SI, muestra que ocho meses después de su estudio, su alumnado no ha asimilado todas las magnitudes, al ser sólo capaz de recordar cuatro de las siete básicas. Además, sorprendentemente, los cursos en los que no se imparte este tema, presentan mejores resultados. A partir de estos datos, debe plantearse si es necesaria o no la inclusión de un tema inicial sobre magnitudes y unidades en todos los cursos para favorecer la enseñanza aprendizaje del SI. Desde nuestro punto de vista, el aprendizaje de las magnitudes básicas se consigue con una secuenciación con repetición de los contenidos en todos los niveles. Así, si una magnitud se trabaja en profundidad en cierta unidad didáctica (por ejemplo, la *cantidad de sustancia* a través del cálculo con moles) y en la misma se insiste sobre su carácter internacional, permitirá evocarla con facilidad cuando se pida que se citen las magnitudes o unidades del SI. Por el contrario, en el caso de magnitudes derivadas, si no se indica este carácter, podría confundir al alumno y crear la idea de que se trata de una magnitud básica.

A continuación se justifican los datos de cada magnitud apoyándonos en los contenidos del currículum que el alumnado había recibido con anterioridad a la realización de la prueba.

Longitud

Existen diversas razones que explican por qué la *longitud* ha sido la magnitud más citada (80%). Entre ellas, destaca que siempre se ha considerado al *metro* como la unidad más significativa en los diversos sistemas que se emplean en la ciencia, la técnica, el comercio y en múltiples aspectos de nuestra vida diaria (Villena, 1984). Por otro lado, influye la forma práctica en que se trabaja en todos los cursos. Así, en 2º ESO, se introduce en la toma de medidas y en la resolución de problemas referidos a los cambios de posición de los sistemas materiales, mientras que el currículum de 3º ESO no incluye ninguna unidad específica que la trabaje. Por su parte, en 4º ESO y en 1º BTO se utiliza principalmente en la determinación de la posición, velocidad o aceleración de los distintos movimientos. Este hecho justifica que un elevado porcentaje de alumnos de 1º BTO indique *espacio* en lugar de *longitud*, al tratarse del término físico que se emplea en el estudio del movimiento.

Tiempo

Es probable que el *tiempo* (Orte, 1989) se identifique mayoritariamente por tratarse de una magnitud significativa para los alumnos, que emplean en múltiples aspectos de su vida cotidiana. El *tiempo* se introduce en todos los cursos a través de temas específicos, a excepción de 3º ESO donde se aborda con el resto de unidades del SI. Así, en el currículum de 2º ESO, 4º ESO y 1º BTO se trabaja simultáneamente con la *longitud* en el estudio de los distintos movimientos y en 2º BTO en la resolución de problemas de relatividad.

El *segundo* es la única respuesta o la mayoritaria a partir de 3º ESO por ser la unidad más usual en los problemas de movimientos. La distribución del currículum explica por qué en 2º ESO, donde no se estudia el SI, se propone *hora* como fundamental. En este caso, los aspectos de la vida diaria relativos a esta magnitud tales como la

división del día en horas o la velocidad de un coche en kilómetros por hora tienen gran influencia.

Masa

Los datos obtenidos destacan la confusión habitual entre los conceptos de *masa* y *peso*, estudiada desde hace años por diversos autores (Alonso, 1996; Bullejos, 1990), y que puede deberse a que el *peso* constituía una medida del sistema métrico decimal. Cabe recordar que la *masa* es una magnitud fundamental, mientras que el *peso* es derivada (MLT^{-2}).

En el currículum, la *masa* se trabaja en todos los cursos. En 2º ESO, se diferencia del *peso*, pero aún no se ha resaltado su carácter fundamental, lo que explica el elevado número de alumnos que cita ambas propiedades. En 3º ESO, además de presentarla como una de las siete magnitudes básicas en el tema SI, se trabaja como propiedad general de la materia en el bloque "Estructura y diversidad de la materia" donde se presenta de nuevo su definición, su unidad y los instrumentos de medida. A pesar de ello, se demuestra que pasados varios meses de la explicación de estos dos temas, no se asocia la *masa* con una magnitud fundamental.

A partir de 4º ESO, el porcentaje que indica *masa* es superior al que indica *peso*, debido probablemente a que el currículum trabaja durante más tiempo estas magnitudes en temas específicos. Así, en 4º ESO y en 1º BTO la *masa* se incluye en los bloques "El átomo y los cambios químicos" y "Naturaleza de la materia", respectivamente. En 1º BTO además se aborda en el tema inicial, y la Física de 2º BTO la incluye en "Interacción gravitatoria". La manera en que se trabaja la *masa* en 1º BTO en los cambios químicos explica que éste sea el único nivel donde se cita el *gramo* de forma mayoritaria como unidad básica. En las fórmulas empleadas para el cálculo con moles, no se utiliza el *kilogramo* como unidad de *masa*, sino el *gramo*, debido a que en las mismas también se han de usar los pesos atómicos o moleculares, definidos como g/mol. Si a esto se suma el hecho que el alumnado había estudiado este tema pocas semanas antes de realizar la tarea, los resultados están justificados.

Temperatura

La identificación del *Kelvin* como unidad de *temperatura*, a pesar de trabajarse en todos los cursos, sólo es mayoritaria a partir de 4º ESO. Esto se explica porque a partir de este nivel existen temas concretos que abordan esta magnitud con problemas prácticos, y en cuya resolución es obligatorio el cambio de unidades de grados *Celsius* a *Kelvin*. A modo de ejemplo, la ecuación de los gases ideales utiliza la constante R expresada en *Kelvin* y no en °C. Así, en 4º ESO, la *temperatura* se aborda en el bloque "Energía, trabajo y calor", y en la aplicación de las leyes de los gases en "El átomo y los cambios químicos". Por su parte, en 1º BTO se estudia en "Energía", donde se diferencia entre *calor* y *temperatura*; mientras que en la Química de 2º BTO, se trabaja en "Termoquímica".

La respuesta grados o grados *Celsius* es mayoritaria en 2º y 3º ESO porque la *temperatura* sólo se emplea de una forma cualitativa y cotidiana. Concretamente, en 2º ESO, el bloque "Materia y energía" la presenta con el uso de los termómetros y sus escalas, mientras que en 3º ESO únicamente se introduce de forma teórica en el tema

inicial. A estas edades, se observa de nuevo que la influencia de factores externos (la información meteorológica en televisión o el termómetro de casa que indican grados) es mayor que la influencia de la enseñanza reglada. La información extraída del currículum también justifica que sólo en 1º BTO algunos alumnos utilicen el concepto de *calor* para referirse a *temperatura*, ya que es en la unidad "Energía" de este curso donde se diferencia ampliamente entre estos dos conceptos, pero sin relacionarlos con el SI.

Intensidad de corriente

Es interesante analizar apoyándonos en el currículum el por qué la magnitud *intensidad de corriente* y su unidad el *ampère* son unas auténticas desconocidas, a pesar de que para el alumno el uso de la electricidad es habitual en su vida diaria. Quizás a todo esto contribuya la historia de las unidades del SI en electricidad (Kowalski, 1986), como ponen de manifiesto los datos de la tabla VII que resaltan la confusión existente entre las magnitudes relacionadas con la electricidad, especialmente en 2º ESO y 1º BTO donde no se identifica esta magnitud como básica. Dichos datos se explican a través del currículum, que no introduce esta magnitud hasta 3º ESO, lo que justifica la confusión en 2º. Así, en 3º ESO, además del tema específico del SI, esta magnitud se utiliza en el bloque "Energía y electricidad" con la aplicación de la ley de Ohm a circuitos eléctricos sencillos. Los datos de 1º BTO se explican si se considera que a pesar de que el currículum de este curso incluye esta magnitud en dos bloques diferentes ("La medida" y "Electricidad"), es habitual que en la práctica estos dos temas no se impartan debido a la extensión del temario, como realmente ha ocurrido en los grupos de BTO que han realizado la tarea. Por su parte, el bloque "Interacción electromagnética" que trabaja esta magnitud en la Física de 2º BTO es responsable de que se indique con acierto.

Cantidad de sustancia

La *cantidad de sustancia* fue la última magnitud fundamental que completó en 1971 el SI. El bajo porcentaje en que se cita, se interpreta por tratarse de una magnitud poco manejada en la ESO con uso limitado a los cálculos químicos, con carácter abstracto para el alumnado, que presenta dificultades en su aprendizaje al no ser intuitiva y no tener un claro significado para estudiantes y profesorado (Furió et al, 2002; Nelson, 2004, Andrade et al, 2006).

Debido a que esta magnitud no se introduce hasta 3º ESO en los bloques "La medida" y "Cambios químicos", los estudiantes de 2º no la nombran por desconocimiento. Por su parte, su no identificación en 3º ESO está causada porque los grupos de alumnos que realizaron la prueba aún no habían impartido el tema "Cambios químicos", lo que pone de manifiesto que la enseñanza de un listado de magnitudes básicas no produce aprendizajes significativos. Sin embargo, resulta muy efectiva la forma de trabajo del concepto de *mol* en los cursos posteriores a través de la resolución de problemas y cuestiones, lo que permite identificarla y es indicativo de su aprendizaje. Así, el *mol* se aborda de esta manera en los bloques de contenidos "El átomo y los cambios químicos" de 4º ESO, "Naturaleza de la materia" de 1º BTO y en "Equilibrio químico", "Reacciones de transferencia de protones" y "Reacciones de transferencia de electrones" en la Química de 2º BTO.

Intensidad luminosa

La *intensidad luminosa* es la magnitud fundamental que se trabaja de forma más pobre en la etapa de Secundaria, a pesar de ser su unidad, la *candela*, la única que está relacionada con las peculiaridades de la percepción humana (Greene, 2003). Así, se cita como magnitud únicamente en el tema "La medida" de 3º ESO y 1º BTO, y en ningún momento del currículum se resuelven problemas que impliquen su cálculo. Su escaso uso es responsable de que se identifique como última magnitud básica en una posición muy posterior a las otras seis. La poca atención que recibe, justifica que sólo unos pocos alumnos la recuerden por memorización de las magnitudes básicas, o que le asocien otros nombres o unidades. De nuevo, una magnitud sin aplicación práctica en el currículum conlleva a un mal aprendizaje de la misma.

Magnitudes derivadas

Se observa también que la repetición del mismo contenido en los diferentes cursos del currículum es responsable de crear la idea en el alumno de que ciertas magnitudes derivadas son fundamentales. El ejemplo más claro se encuentra en la *fuerza*, que al estudiarse en todos los cursos, el 40% del total de los alumnos la considera básica. Así, en 2º ESO el bloque "Materia y energía" estudia las fuerzas como causa del movimiento y la deformación, mientras que en 3º ESO se introducen las fuerzas eléctricas en "Energía y electricidad". El currículum de 4º ESO profundiza en "Fuerzas y movimiento" donde se estudian como responsables de las interacciones entre los cuerpos, sus tipos, la condición de equilibrio o de movimiento o las leyes de Newton. En 1º BTO, los contenidos son aún más amplios, y reciben un tratamiento más práctico. Así, la unidad "Dinámica" de este curso se ha dedicado a la resolución de problemas de situaciones de movimiento o equilibrio en cualquier medio (también en fluidos) en el que existen distintos tipos de fuerzas (peso, normal, rozamiento, tensión, centrípeta, empuje o eléctrica). Esta saturación por parte del currículum del mismo contenido en este curso es responsable de que más del 90% de los alumnos de 1º BTO consideren la *fuerza* como fundamental. Por su parte, en 2º BTO la *fuerza* se trabaja en "Interacción gravitatoria" e "Interacción electromagnética". Debido a que en todos los cursos, se aborda a través de problemas donde se aplica su unidad, la repetición justifica la identificación del *newton*.

También se han nombrado mayoritariamente las magnitudes derivadas *velocidad* (LT^{-1}) y *aceleración* (LT^{-2}) al tratarse el estudio cinemático en estos cursos. En 2º ESO, la unidad de *velocidad* es el km/h, de forma paralela a la consideración de la *hora* como unidad básica de *tiempo*, lo que muestra que estos alumnos aún asocian la unidad de *velocidad* con la que marca un automóvil o la que indican las señales de tráfico.

Por su parte, *volumen*, se utiliza para designar el espacio que ocupa un cuerpo y *capacidad* para aquello que cabe dentro de un recipiente, pero a pesar de ser magnitudes idénticas, los alumnos prefieren esta última. Sin embargo, la magnitud del SI que define este concepto es *volumen*, no estando recogida en el mismo la medida de *capacidad* que incluía el sistema métrico decimal y cuya unidad es el *litro*. El uso extendido del concepto *capacidad* en este antiguo sistema es probablemente responsable de que sea éste el más citado. De hecho, en el SI la magnitud *capacidad*

tiene otro significado y hace referencia al concepto electrostático que relaciona la carga eléctrica con la diferencia de potencial, y cuya unidad es el *farad*. En definitiva, por su relación directa L^3 con la *longitud*, no cabría esperar el *volumen* como fundamental, lo que es otra indicación del desconocimiento entre magnitud básica y derivada. Su unidad, el *litro*, indicada de forma mayoritaria, a pesar de no ser propiamente del SI (la unidad es *metro cúbico*), tiene permitido su uso dentro de éste para la magnitud *volumen*. De la misma manera, la relación directa entre *área* y *longitud* justifica que esta magnitud no se cite en BTO y su porcentaje quede limitado prácticamente a 2º ESO.

Probablemente muchos estudiantes de todos los niveles citan como magnitudes básicas la *energía* y algunos conceptos relacionados como las formas de transferir energía de un sistema a otro o la *potencia*, por tener una relación menos obvia para el estudiante (ML^2T^{-2} y ML^2T^{-3} para *energía* y *potencia*, respectivamente). El término *energía*, el más nombrado en todos los cursos, salvo en 1º BTO donde es *trabajo*, se explica por su inclusión en todos los niveles del currículum, pero con escasa información sobre su carácter no fundamental. En 2º ESO se introduce en "Materia y energía" como una propiedad de los sistemas materiales. Se presentan también sus tipos y sus fuentes. En 3º ESO, "Energía y electricidad" estudia las energías tradicionales, las fuentes, su conservación y degradación, mientras que en 4º ESO, "Energía, trabajo y calor" se centra en los intercambios y en el principio de conservación. Por último, el bloque "Energía" de 1º BTO trabaja principalmente en forma de problemas el *trabajo* mecánico, la *potencia*, el teorema de las fuerzas vivas, las transferencias de *energía* (*trabajo* y *calor*) y la conservación de la *energía* mecánica. Debido a que estos ejercicios se resuelven con el concepto de *trabajo*, este término es mayoritario en 1º BTO.

CONCLUSIONES

El estudio realizado muestra que el SI es prácticamente un sistema desconocido para el alumnado de Secundaria, donde el 84,6% no identifica correctamente más de 3 magnitudes y unidades fundamentales, a pesar de que están habituados a manejarlas. Además los alumnos tienen ideas confusas sobre qué diferencia a una magnitud fundamental de una derivada.

Tras el análisis de los datos, y debido a que el conocimiento de si una medida es fundamental o no, y cuál es su unidad específica en el SI, es importante para introducir al alumno en la formalidad de la ciencia, así como para servir de base a una formación científica posterior a la Secundaria y más especializada, creemos que es necesario un cambio metodológico en la enseñanza y aprendizaje del SI y en el propio currículum, que actualmente sólo incorpora en la ESO esta unidad en el tercer curso. Desde nuestro punto de vista, es conveniente que el currículum de cada curso de Secundaria incluya un tema inicial sobre SI, pero con un enfoque didáctico diferente al actual, ya que los resultados muestran que si se trata como un tema más, no se obtienen aprendizajes significativos y sus contenidos se olvidan fácilmente. Esto se debe a que habitualmente los docentes dedican demasiado tiempo en este tema, en comparación con los resultados que acaban obteniendo, no sólo por la dificultad de las

cuestiones que se tratan, sino porque no es un dominio atractivo para el alumno. A esto se suma que el currículum actual incluye el SI como un apartado de un tema más amplio en el que se deben tratar otros contenidos como el método científico, la medida o los errores, lo que supone dedicarle un máximo de dos o tres sesiones.

Por tanto, es preferible al principio del curso hacer un trabajo básico sobre estas cuestiones, sin dedicarle demasiado tiempo y plantear el estudio del SI de forma práctica cada vez que se tenga ocasión a lo largo del curso. En este sentido, el currículum nos ofrece la oportunidad de hacer un recorrido por cada una de las magnitudes en temas específicos. En dichos temas, el docente debe insistir en el carácter fundamental o no de las magnitudes y unidades, ya que esto mejorará sustancialmente el aprendizaje del SI, y evitará que el alumno caiga en el error de considerar como básicas magnitudes que no lo son, como se ha detectado.

En el tema inicial se deben dedicar algunas actividades a recordar lo que es una magnitud, una unidad, el SI y sus siete magnitudes y unidades básicas, recordando especialmente aquellas que el alumno conoce. En 3º ESO, por ejemplo no se explicarán en este tema el significado de magnitudes como la *intensidad de corriente*, la *cantidad de sustancia* o la *intensidad luminosa*, al no ser familiares para los alumnos. Es suficiente con saber que esas magnitudes forman parte de un grupo fundamental a partir de las cuales se puede definir cualquier otra. En este sentido, el docente debe realizar comentarios sobre las magnitudes y unidades derivadas más frecuentes. En 2º ESO, aquellas relacionadas con la *longitud* como la *superficie* y el *volumen*, y en cursos sucesivos aquellas que implican dos básicas, como la *velocidad* o la *aceleración*. Respecto a los múltiplos y submúltiplos se recordarán los más utilizados y se informará de la existencia de otros, por si fueran necesarios, como giga o mega, más frecuentes en la actualidad por su uso informático.

Debido a que si el conocimiento del SI es pobre se dificulta su utilización, se debe facilitar al alumno la comprensión y la adquisición del conocimiento y las habilidades necesarias para su trabajo con metodologías activas, contribuyendo a despertar el interés y la motivación en su aprendizaje, desarrollando su pensamiento lógico, evitando el carácter enciclopédico del tema, y prestando atención a la importancia del mismo en todas las áreas.

En cuanto a la magnitud *intensidad luminosa*, no incluida en ninguno de los bloques del currículum, sería conveniente introducirla en alguno de los cursos de la ESO, relacionándola con las peculiaridades de la percepción humana, y dándole un enfoque sencillo, por ejemplo, con las propiedades luminosas de las lámparas fluorescentes e incandescentes.

Los resultados ponen de manifiesto que tanto docente como alumno deben prestar una mayor atención en la enseñanza aprendizaje del SI para evitar el uso inadecuado que se está haciendo del mismo. Por último, desde todas las asignaturas de ciencias se debería insistir en la importancia que tienen las magnitudes y unidades de este sistema con carácter universal.

REFERENCIAS

- ALONSO, M. (1996). La enseñanza del modelo de masa a partir de un modelo de enseñanza por investigación. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 9,109-119.
- ANDRADE GAMBOA, J.J.; CORSO, H.L. y GENNARI, F.C. (2006) Se busca una magnitud para la unidad mol. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), pp 229-236. En línea en: <http://www.apac-eureka.org/revista>.
- BIPM: Bureau Internacional des Poids et Mesures. <http://www.bipm.org/> (Consulta: 01/06/07)
- BULLEJOS, J. y SAMPEDRO, C. (1990). Diferenciación de los conceptos de masa, volumen y densidad en los alumnos de BUP, mediante estrategias de cambio conceptual y metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 31-36
- CEM: Centro Español de Metrología (2000): BIPM: Sistema Internacional 7ª edición (Consulta: 04/06/07). http://www.cem.es/cem/es_ES/metrologia/sistemaunidades_basicas.jsp?op=sistemaunidades_basicas
- COMISION NACIONAL DE METROLOGÍA Y METROTECNIA (1974). *Sistema Internacional de Unidades SI*. Talleres de A.G. del Instituto Geográfico y Catastral, pp. 58.
- DAVIS, R. S. (2005): Possible new definitions of the kilogram. *Phil. Trans. Royal Soc.A.*, 363, 2249-2264
- DECRETO 1257/1974 de 25 de abril, sobre modificaciones del Sistema Internacional de Unidades, denominado SI, vigente en España por Ley 88/1967, de 8 noviembre. BOE nº 110 de 8 de mayo de 1974
- FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. (2002). Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 229-242
- GREENE, N. R. (2003): Shedding light on the candela. *Phys. Teach.* 41, 409
- KONONOGOV, S.A. (2007): Fundamental problems in metrology: Fundamental physical constants and systems of units for physical quantities. *Measurements Techniques*, 50(1),1-5
- KOWALSKI, L. (1986): A short history of the SI units in electricity. *Phys. Teach.* 24, 97
- LEE, J. A. (1995). The Internacional System of Units and its use in Geography and related disciplines. *Journal of Geography*, 94 (6), 592-598
- LEY 88/1967, de 8 de noviembre, declarando de uso legal en España el denominado Sistema Internacional de Unidades (SI). BOE nº 269 de 10 de noviembre de 1967
- NELSON, P.G. (2004): What is the mole? <http://www.hull.ac.uk/chemistry/mole> (Consulta: 02/06/07)

- NELSON, R.A. (1984): The supplementary units. *Phys. Teach.*, 22, 188
- (2000): The International System of Units: Its history and use in science and industry. Via Satellite, February 2000. http://www.atcourses.com/international_system_units.htm (Consulta: 01/06/07)
- NIST: National Institute of Standards and Technology. <http://physics.nist.gov/cuu/Units/index.html> (Consulta: 01/06/07)
- ORTE, A. (1989). La medida atómica del tiempo. *Revista Española de Física*, 3(2), 28-36
- PASCUAL, J.M. (1996): Sistema didáctico para el aprendizaje del Sistema Internacional de Unidades (SI). Comunicación en el Libro de Actas del 3º Congreso Iberoamericano de Informática Educativa (Comunicación). Barranquilla (Colombia) (Consulta: 04/06/07). <http://lsm.dei.uc.pt/ribie/docfiles/txt200352151026Sistema%20Did%C3%A1ctico%20para%20el%20Aprendizaje.pdf>.
- PUIGSERVER, M. (1991) Sobre el uso y desuso del SI. *Revista Española de Física*, 5(1), 23-25
- REAL DECRETO 1317/1989, de 27 de octubre, por el que se establecen las Unidades Legales de Medida. BOE nº 264 de 3 de noviembre de 1989
- REAL DECRETO 1317/1989 (Corrección de errores), de 27 de octubre, por el que se establecen las Unidades Legales de Medida. BOE nº 21 de 24 de enero de 1990
- REAL DECRETO 1737/1997, de 20 de noviembre, por el que se modifica Real Decreto 1317/1989, de 27 de octubre, por el que se establecen las Unidades Legales de Medida. BOE nº 289 de 3 de diciembre
- SANCHEZ DEL RIO, C., (1987). *Unidades físicas*. Madrid: EUEDEMA
- SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (2002). <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/unidades/unidades.htm> (Consulta: 01/06/07)
- SOTO, C. (2002): Un proceso muy corriente: medir. <http://roble.pntic.mec.es/~csoto/medida.htm#Magnitudes> (Consulta: 01/06/07)
- STOCK, M., WITT, T.J. (2006): International news: CPEM 2006 Round table discussion 'Proposed changes to the SI'. *Metrología*, 43(6), 583-592
- VIDAL, J. M. (1978). Las unidades de medida a partir del establecimiento del sistema métrico. *Mem. Real. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, XLVI, 9, 231-264
- VILLENA, L. (1984). El metro. *Investigación y Ciencia*, 88, 42-43
- (1987). Sistema Internacional de Unidades (SI). *Revista Española de Física*, 1(2), 52-56

ANEXO

¿Cuáles son las siete magnitudes fundamentales del Sistema Internacional de Unidades (SI)? Complétalas en esta tabla con sus unidades.

	MAGNITUD	UNIDAD		MAGNITUD	UNIDAD
1			5		
2			6		
3			7		
4					

AN UNKNOWN BUT INTERNATIONAL SYSTEM

SUMMARY

A study about International System of Units (SI) at secondary education (from 13 to 18 years old) is presented as a way to check the students' knowledge about the seven base quantities and units they usually use in the classroom. The possible reasons for the deficiencies found in the base and derived quantities have been analysed from the science curriculum. In spite of being international, the system offered has been proved to be totally unknown by a majority.

Keywords: *International System of Units; Base quantities; Derived quantities; Secondary Education*