

El conocimiento de los profesores de Ciencias Naturales de secundaria: un estudio en tres niveles

FERNANDO FLORES-CAMACHO
LETICIA GALLEGOS-CÁZARES
ALEJANDRA GARCÍA-FRANCO
EDUARDO VEGA-MURGUÍA
BEATRIZ GARCÍA-RIVERA

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM, México

Introducción y planteamiento del problema

Entre los problemas más señalados sobre la enseñanza de las ciencias naturales en la educación básica se encuentra la preparación de los profesores y, en específico, su comprensión del conocimiento científico. Por conocimiento de los profesores no sólo se debe entender los conceptos científicos, sus teorías y relaciones matemáticas, sino debe contemplarse sus ideas en torno a la comprensión del conocimiento científico o naturaleza de la ciencia (Palmquist y Finley, 1997; Pomeroy, 1993; McComas, Clough y Almazroa (2000) como también sus concepciones acerca de cómo se aprende la ciencia y las relaciones de esta con otros aspectos del entorno social y cultural. En la actualidad se cuenta con un conjunto amplio de investigaciones que nos proporcionan algunos referentes que muestran la estrecha relación entre el conocimiento de los profesores y sus posibilidades educativas (Shulman, 1987; Gallegos, García y Calderón 2007). En este reporte, sin embargo, nos referiremos a la comprensión que muestran los profesores con relación a los conceptos científicos que enseñan, así como a su nivel de dominio de los temas del programa escolar. Este análisis, aunque es parcial, muestra que aún en esta parte del conocimiento de los profesores y en la que, usualmente se piensa que es donde hay menos problemas, también se encuentran serias dificultades. En otros documentos damos cuenta de otros aspectos del conocimiento de los profesores como las concepciones sobre naturaleza de la ciencia (Flores, *et al.*, 2004; Flores, *et al.*, 2007).

Nos enfocamos en este estudio en el conocimiento de los contenidos científicos de los programas de ciencias en la secundaria porque hay diversos indicios que provienen tanto de indicadores directos como indirectos que hacen notar que los profesores de secundaria no cuentan con los conocimientos disciplinarios requeridos para enseñar en ese nivel escolar y enfrentar los problemas y retos que demandan los nuevos enfoques para la enseñanza de la ciencia.

Para el caso mexicano los factores o indicadores directos se encuentran en los resultados de los Exámenes Nacionales de Acreditación correspondientes a los Cursos Nacionales de Actualización que han sido aplicados desde 1999 (PRONAP, SEP) como se ha descrito en trabajos de análisis en torno a estos resultados (v. g. Flores, *et al.*, 2003; Gallegos, Flores y Valdés, 2004) y que dan cuenta, de manera general, que los profesores de secundaria tienen un dominio insuficiente de sus disciplinas, con porcentajes de aprobación muy bajos en todos los rubros —concepciones de ciencia y de aprendizaje, comprensión de los

enfoques del programa, etc.—, pero en especial en los referentes a sus conocimientos científicos. También se tiene evidencia directa proporcionada por otros estudios (Chamizo, Nieto y Sosa, 2004) de que esta situación parece ser generalizada. Otra muestra de esta percepción se encuentra en acciones como el programa “La Ciencia en tu Escuela” impulsado por la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) con el fin de que estudiantes universitarios de ciencias apoyen a los profesores de secundaria pues se identifica como preocupante y urgente la formación de los estudiantes de secundaria.

Por lo que toca a los factores o indicadores indirectos se encuentran, entre los más importantes, los resultados de evaluaciones a alumnos como PISA (OECD, 2003) y las del CENEVAL (CENEVAL, 2006), en las que el área de ciencias naturales presenta resultados muy poco alentadores. Otros indicadores indirectos se encuentran en estudios que analizan y caracterizan las concepciones de ciencia de los profesores (Flores, *et al.*, 2007) así como los estudios que muestran que los profesores comparten ideas previas de los alumnos (Martins y Ogborn, 1997; Canino, 1995; Heller y Finley, 1992; Schibeci y Hickey, 2000).

Finalmente, y no menos importante, un indicador de esta problemática es la dificultad de comprensión e implantación de reformas educativas que ha sido ampliamente documentada tanto en el nivel internacional como en el nacional (Ball y Cohen, 1993; Flores y Barahona, 2003, Serna y Valdez, 2003, García, Flores y Gallegos, 2005) y que si bien, no es sólo debido a la comprensión de los conceptos científicos, éstos son importantes en el momento de llevar al aula las propuestas que demandan mayores y mejores conocimientos de las disciplinas científicas.

Ante este panorama la formación y actualización de los docentes en el ámbito nacional se convierte en uno de los problemas más importantes. Para que esta problemática pueda ser abordada, es necesario contar con un diagnóstico, lo más preciso posible, entre otros tipos de conocimientos, de los niveles de comprensión de los conocimientos científicos por parte de los docentes.

Algunos de los problemas que emergen como urgentes de responder son: ¿es esta situación generalizable a todos los profesores del país?, ¿hay diferencias significativas debido a la formación de los docentes?, ¿existen diferentes niveles de comprensión de los contenidos científicos básicos?, ¿hay temas más complejos que otros?, ¿cuáles son los principales problemas conceptuales que presentan los profesores?

Una primera aproximación a la solución de los problemas planteados brindará un referente para dimensionar la magnitud y tipo de esfuerzo que será necesario llevar a cabo en los procesos de formación y actualización docente, así como los de transformación curricular (sobre todo en escuelas formadoras de docentes).

En el presente documento se da cuenta de un estudio donde, a través de tres niveles en torno a la comprensión de los contenidos científicos, se analiza una muestra de profesores de secundaria de biología, física y química de varias regiones del país.

Metodología y criterios de análisis

Muestra

Se convocó a los profesores de secundaria a través de la Coordinación General de Formación Continua para Maestros en Servicio de la Secretaría de Educación Pública (SEP) quienes reunieron profesores

en cada uno de los estados participantes. En total se aplicaron los instrumentos a 438 profesores de las tres asignaturas analizadas. En la tabla 1 se presenta una relación de la muestra por estado participante y por materia que enseñan.

TABLA 1
Muestra de profesores que participaron en el estudio

ESTADO	POBLACIÓN		
	BIOLOGÍA	FÍSICA	QUÍMICA
Aguascalientes	21	13	25
Guerrero	19	17	18
Hidalgo	18	15	17
México	8	9	8
Nayarit	24	20	21
Sinaloa	5	6	5
Sonora	19	13	20
Tabasco	12	11	9
Tlaxcala	10	17	13
Veracruz	16	13	16
Total por estado	152	134	152
Población total	438		

Instrumentos

Cuestionarios

Se elaboraron tres cuestionarios, correspondientes a biología, física y química. Los cuestionarios contienen preguntas abiertas y cerradas. Todas las preguntas guardan correspondencia y están orientadas por el programa oficial de estudios vigente (SEP, 1993) al momento de hacer el estudio.

Cada cuestionario fue dividido en dos partes, por lo que para cada disciplina se aplicó un cuestionario A y uno B, cada uno con cinco temas. El número de preguntas por cuestionario es de 15 reactivos. Cada tema fue organizado de manera que las preguntas cubrieran los tres niveles de dominio que se describirán más adelante. En el anexo se presenta una muestra del tipo de preguntas pues dada su extensión no es posible presentar los cuestionarios completos.

Validación de los cuestionarios

Los cuestionarios fueron elaborados por especialistas tanto en la disciplina como en educación. Para precisar las preguntas los cuestionarios se pilotearon con estudiantes de bachillerato y licenciatura. El número de sujetos que participó en el pilotaje fue de 20 para cada disciplina. La tabla 2 muestra la confiabilidad para los dos tipos de cuestionario.

TABLA 2
Confiabilidad de los instrumentos

	BIOLOGÍA (Alpha Chronbach)	FÍSICA (Alpha Chronbach)	QUÍMICA (Alpha Chronbach)
Cuestionario A	0.844	0.883	0.856
Cuestionario B	0.786	0.852	0.762

Entrevistas

Se llevaron a cabo entrevistas a los profesores después de la aplicación de los cuestionarios para ver la consistencia de sus respuestas pero, sobre todo, para precisar la comprensión de algunos conceptos científicos. Las entrevistas se aplicaron inmediatamente después de que los profesores contestaron el cuestionario y las preguntas estaban orientadas por las respuestas que los profesores habían dado en el cuestionario.

Conocimientos y niveles de comprensión

Para conocer el nivel de dominio que tienen los profesores de ciencias naturales se eligieron los temas en los que las investigaciones con alumnos han mostrado mayores problemas de comprensión y de ideas previas (Flores, *et al.*, 2002; Base de datos Ideas Previas).

- a) TEMAS Y CONTENIDOS. Los temas seleccionados por disciplina son:
- *Biología*: Origen de la vida, seres vivos, biomoléculas, ecología, biodiversidad, clasificación, célula, genética, evolución y reproducción humana.
 - *Física*: Movimiento acelerado, fuerza, movimiento ondulatorio, naturaleza de la materia, estructura de la materia, gravitación, electrostática, calor, electromagnetismo y energía.
 - *Química*: Disoluciones, reacción química, mol, termoquímica, estructura atómica, clasificación de las sustancias, teoría cinética, enlace, estequiometría y tabla periódica.
- b) NIVELES DE COMPRENSIÓN. Para determinar el nivel de comprensión que tienen los profesores de los conceptos básicos, para cada uno de los temas se elaboraron reactivos correspondientes a tres niveles. Los niveles se determinaron a partir del Atlas of Scientific Literacy (2001). Sus características son:
- *Nivel 1*. Implica un conocimiento mínimo de los fundamentos y conceptos básicos de cada disciplina, lo que correspondería a un programa introductorio de secundaria.

- *Nivel 2.* Se refiere a un conocimiento básico de la disciplina que le permita al profesor moverse con solvencia en los cursos de los tres grados de la secundaria.
- *Nivel 3.* Corresponde a un nivel de conocimiento más amplio que le permitiría al profesor abordar temas y nivel correspondiente al bachillerato.

Análisis

Los resultados se analizaron en base a los siguientes rubros: Promedios generales obtenidos; promedios por género, nivel de estudios y tipo de escuela; promedio por los estados participantes; promedios por cada uno de los temas analizados y un análisis cualitativo sobre los problemas conceptuales detectados. El análisis cualitativo se basó en la interpretación de las justificaciones que los profesores expresaban en los cuestionarios y que fueron confirmados y ampliados por las entrevistas. Las entrevistas contribuyeron a precisar los problemas conceptuales que presentan los profesores y a encontrar relaciones que ellos establecen con otros conceptos dando así un panorama más completo de sus interpretaciones y representaciones de los conocimientos científicos.

Resultados

PROMEDIO GENERAL. Un primer aspecto que resulta de la aplicación de los cuestionarios es el promedio que para cada asignatura obtienen los profesores lo que da un indicio de la situación que guardan, en general, sus conocimientos. Como puede notarse de la tabla 3, lo obtenido está muy lejos de lo deseable, en todos los casos por debajo del 6 de promedio. Esta situación da indicios de que hay problemas conceptuales importantes entre la población de profesores, como iremos mostrando.

TABLA 3
Promedios generales de las tres disciplinas

DISCIPLINA	PROMEDIO	DESVIACIÓN TÍPICA
Biología	48.8	15.2
Física	33.2	14.4
Química	36.4	17.3

Es usual que, como se ha propuesto de manera generalizada, se piense que las características de la población como género, tipo de escuela en la que se enseña, etc., sean factores diferenciadores de las características de los profesores, incluyendo el nivel de dominio de la disciplina. En los resultados que se obtuvieron en el presente estudio este no es el caso. No se encuentran diferencias significativas entre profesores y profesoras o entre profesores de poblaciones urbanas o rurales. En la tabla 4 se muestran los promedios obtenidos para las variables: género, nivel de estudios y tipo de escuela.

TABLA 4

Promedios obtenidos por los profesores en los cuestionarios para las variables: sexo, nivel educativo y tipo de escuela. (m = masculino; f = femenino; B = bachillerato; L = licenciatura; M = maestría; R = rural y U = urbana)

DISCIPLINA	GÉNERO		NIVEL DE ESTUDIOS			TIPO DE ESCUELA	
	m	f	B	L	M	R	U
Biología	51.1	47.2	41.7	48.4	53.7	46.2	48.0
Física	35.3	29.5	19.0	32.6	39.1	29.2	34.4
Química	37.1	36.0		35.1	36.4	38.2	36.9

Como podrá notarse en cuanto a género los resultados muestran ligera tendencia de que los hombres tienen mejor promedio, sin embargo estas diferencias no son estadísticamente significativas (en el caso donde hay mayor diferencia es en física, $F = 5.058$; $p \leq 0.026$). Algo semejante ocurre entre las poblaciones de profesores por su nivel educativo, contra lo que pudiera esperarse tampoco hay diferencias significativas (el caso de mayor diferencia es en química $F = 4.577$; $p \leq 0.034$). Cabe notar que los profesores que tienen maestría, en general, corresponden a alguna rama de la educación y no en las disciplinas que enseñan. Para los profesores de escuelas rurales y urbanas tampoco se encuentran diferencias significativas (el caso más notorio es en química $F = 2.282$; $p \leq 0.106$). Debe notarse que en todos los casos las poblaciones para cada variable no son del mismo tamaño, por ejemplo hay 295 profesores de escuelas urbanas por 94 de profesores de escuelas rurales. Sin embargo utilizando los promedios ponderados los resultados no se modifican.

PROMEDIOS POR ENTIDAD FEDERATIVA. Una de las interrogantes era saber si esta situación es la misma en los diversos estados que participaron en el estudio. Los resultados muestran que, salvo el caso de química que muestra diferencias significativas para los estados de Sonora y Veracruz, (ANOVA, $F = 6.158$; $p \leq 0.001$) en las demás disciplinas no hay diferencias importantes (ver tabla 5). Sin embargo, hay que remarcar la anotación de que en tres Estados, Sinaloa, Tabasco y el Edo. de México, las poblaciones fueron menores que en el resto como se puede observar en la tabla 1.

TABLA 5

Promedios y desviación típica obtenidos por estado y asignatura

ESTADO	BIOLOGÍA (promedio, desviación típica)		FÍSICA (promedio, desviación típica)		QUÍMICA (promedio, desviación típica)	
Aguascalientes	50.3	14.1	37.1	10.5	31.3	15.9
Guerrero	51.4	15.1	35.9	18.2	41.6	19.1
Hidalgo	45.9	13.2	35.8	12.4	31.2	13.4
Tlaxcala	49.6	13.7	34.9	12.2	36.1	11.2
Edo. de México	44.8	15.7	32.9	9.1	34.8	12.8
Nayarit	46.4	13.4	31.6	17.1	26.4	13.7
Sonora	55.0	14.9	32.4	13.6	51.3	18.2
Sinaloa	35.7	17.1	35.3	20.6	28.0	17.5
Tabasco	45.4	20.3	26.4	13.9	23.4	13.8
Veracruz	51.1	16.2	29.0	14.7	49.5	11.2

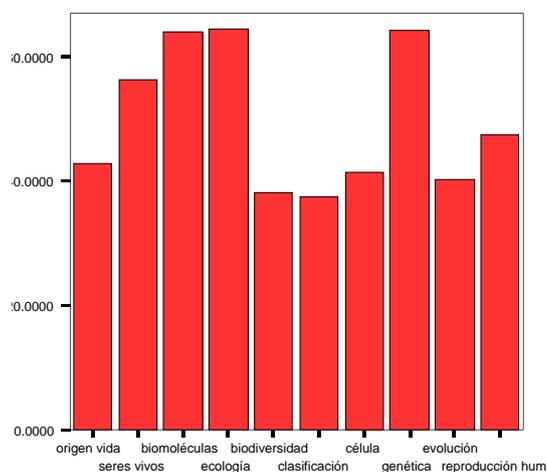
PROFESIÓN. Otro de los factores que pudieran influir en el dominio disciplinario es la profesión de origen de los profesores. En especial se encuentra el antiguo debate entre normalistas y universitarios (Sandoval, 2000). En nuestra muestra, un poco más de la mitad son profesores normalistas, 61.87%. Los profesores de origen universitario provienen de diversas profesiones y como se verá del espectro de disciplinas, no siempre son las idóneas para la asignatura que enseñan. Los resultados muestran que a pesar de la diversidad no hay diferencias significativas ni entre profesiones ni entre la distinción normalista vs. universitario. La tabla 6 muestra los promedios y sus desviaciones típicas.

TABLA 6
Promedios y desviación típica obtenidos por profesión

PROFESIÓN	BIOLOGÍA (promedio, desviación típica)		FÍSICA (promedio, desviación típica)		QUÍMICA (promedio, desviación típica)	
Agronomía			32.9	10.6	25.5	15.6
Biología	58.6	16.2	28.1	19.7	42.0	19.5
Física			34.7	5.0		
Ingeniería	54.9	11.1	37.3	17.0	36.6	13.1
Medicina	44.1	16.5				
Normalista	46.3	14.6	33.4	14.9	34.4	16.3
Odontología	47.0	15.8			27.1	21.5
Pedagogía			25.2	7.0		
Química					48.0	16.9
Veterinaria	55.1	1.5			20.5	7.0

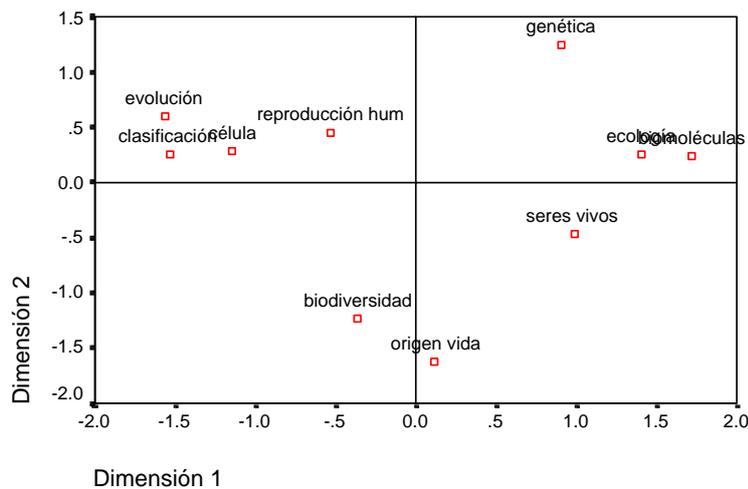
TEMAS DE LAS DISCIPLINAS. Para cada disciplina o asignatura se evaluaron diez temas. Como era de esperarse, hay temas que tradicionalmente se han considerado difíciles por profesores y alumnos y los resultados presentados confirman esta situación. En Biología temas como biodiversidad, clasificación, evolución y célula tienen los promedios más bajos. En Física los temas menos comprendidos por los profesores son movimiento ondulatorio, electromagnetismo, movimiento acelerado y electrostática y, en el caso de Química, tabla periódica, enlace y mol. La gráfica 1 muestra para cada uno de los temas de Biología la media obtenida.

GRÁFICA 1
Promedios por tema para el área de Biología



Un análisis de la semejanza en cuanto al dominio de los temas que los profesores tienen, se obtuvo por la determinación de clusters como muestra en la gráfica 2. En ella pueden verse diversos agrupamientos temáticos como el grupo constituido por los temas origen de la vida y biodiversidad que tiene un dominio deficiente o el que agrupa los temas de ecología y biomoléculas que presenta un mayor nivel de dominio.

GRÁFICA 2
Distribución del nivel de dominio de los temas de Biología



Lo anterior se ve corroborado en el análisis sobre los problemas conceptuales específicos de cada tema. Por ejemplo, del análisis conjunto de cuestionarios y entrevistas, se obtiene que los profesores presentan problemas conceptuales para identificar las características de los organismos microscópicos en temas como Clasificación y Seres Vivos. Estas limitantes en el nivel básico tienen relación directa con la dificultad que tienen los profesores de la muestra para comprender procesos evolutivos como el de diversidad biológica, los cuales son frecuentemente explicados utilizando elementos no deseables como la teoría evolutiva de Lamarck.

En genética, en un nivel muy básico los profesores saben lo que es un gen, dónde se localiza y su función, pero tienen problemas en utilizar el Cuadro de Punnett para realizar cruces e interpretación de los resultados de éstos. Además al tratar de indagar sobre los distintos conceptos, se evidenciaron serios problemas para diferenciar claramente entre gen, alelo, cromosomas y ADN, por lo que tampoco logran integrar estos conceptos en los procesos implicados en los mecanismos de la herencia. No todos los profesores explican los cambios en las poblaciones a través de las generaciones mediante las mutaciones, pues utilizan, como en el caso anterior, elementos de la teoría lamarquiana.

La dificultad más evidente que se encontró para reconocer las características que definen a los seres vivos se observó al cuestionar sobre organelos y estructuras derivadas de las células, lo que conlleva a considerar que hay una incomprensión sobre las características de los seres vivos, en particular el hecho de que éstos están conformados por células con elementos funcionales. Esto mismo se refleja en la dificultad para ubicar a las estructuras pertenecientes al nivel de organización de organelos donde la mayoría las refiere al nivel de célula, como también ocurre con profesores de bachillerato (Flores, Tovar y Gallegos, 2003).

Un ejemplo de las entrevistas que ilustra problemas conceptuales como los descritos es el siguiente (E entrevistador; M maestro):

E. ¿Qué hay sobre el corcho?

M. Yo siento que es una célula que ya no tiene vida, ahorita en este momento... El gen como parte de la célula yo considero que es vivo, aparte, no se forma, lleva información hereditaria y todo eso y pienso que tiene vida.

Con relación a otros temas se hicieron evidentes otros problemas conceptuales en los que persisten ideas previas relativas a generación espontánea, procesos químicos de la evolución y a los eventos que dieron origen a la vida en el planeta.

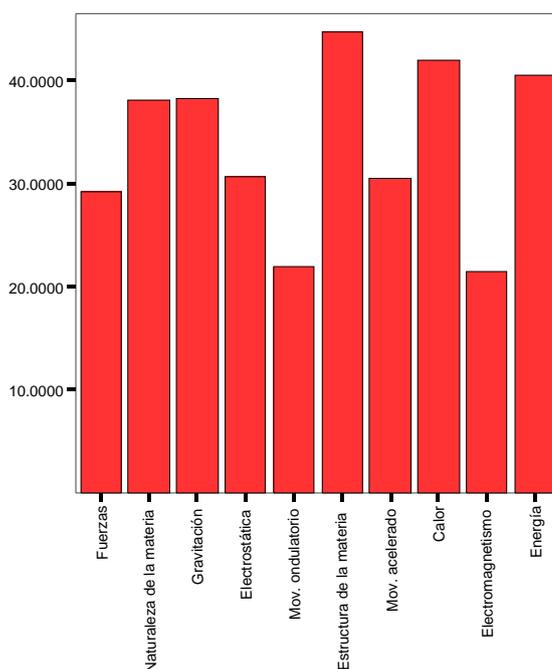
También se observaron problemas de ubicación de los organismos en los distintos reinos. Los mayores problemas estuvieron relacionados con los Reinos Monera y Protista, de los cuales la única característica que toman en cuenta es que están conformados por organismos microscópicos. En temas de ecología resalta el hecho de que no se conocen las características que definen los factores abióticos y pocos profesores consideran a las cadenas alimentarias como un proceso cíclico. La idea previa de que "las plantas se alimentan de manera heterótrofa" que es frecuente en los estudiantes, también aparece en los profesores. En temas sobre biomoléculas también se presentan serios problemas, por ejemplo, aunque saben que el VIH afecta al ser humano, no explican adecuadamente el proceso que éste realiza.

En el caso de las otras asignaturas se encuentran situaciones semejantes. A continuación se muestran los valores medios y las agrupaciones obtenidas para Física y Química en los diversos temas que fueron analizados y una breve descripción de los problemas conceptuales más importantes.

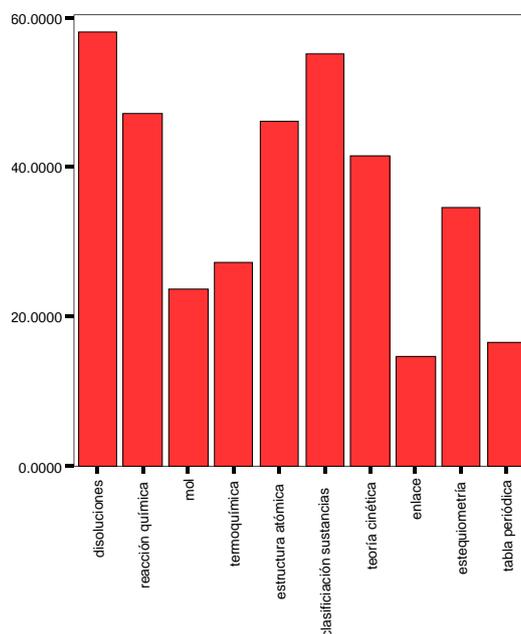
Las gráficas 3 y 4 muestran los promedios por temas para Física y Química. Aunque se hizo un tratamiento estadístico de cluster como en el caso de Biología, estos no se presentan por razones de espacio.

GRÁFICA 3

Valores medios obtenidos para los temas de Física



GRÁFICA 4
Valores medios de los temas de Química



En lo que respecta a los principales problemas conceptuales detectados tenemos que, para el caso de Física se encuentran aquellos que tienen que ver con la interpretación de definiciones y conceptos operacionales como la aceleración, donde sólo toman en cuenta el cambio de magnitud de la velocidad pero no consideran, ni el tiempo ni su carácter vectorial y donde, además, se encontraron confusiones al relacionarlo con otros conceptos como el peso y la presión, como se muestra en el siguiente fragmento de una entrevista.

E: En el caso de un cuerpo a velocidad constante ¿hay aceleración o no hay aceleración?

M: Yo considero que si hay aceleración porque en el caso de un automóvil pues tiene que vencer la fuerza del peso del automóvil o la masa del automóvil y también la presión del aire. Necesariamente porque si no hubieran esas fuerzas que lo estuvieran impidiendo y también la gravedad, el automóvil continuaría como si fuera una nave espacial

También se encuentra que el dominio de aspectos operativos y matemáticos no es el esperado. Esto se ve reflejado en los problemas que presentan con los vectores en los temas de movimiento y fuerza o en electromagnetismo, específicamente en el caso de la inducción. Por ejemplo, la característica vectorial de la aceleración no se menciona ni aparece el manejo en su nivel más elemental. Otro ejemplo de los problemas operativos es que pocos profesores, en la ley de gravitación, relacionan correctamente el producto de las masas y el inverso del cuadrado de la distancia entre ellas, y aún quienes la enuncian de manera correcta, no logran utilizarla para explicar la caída de los cuerpos.

También aparecen lo que podemos denominar problemas conceptuales de mayor escala y son los que tienen que ver con las confusiones encontradas de los conceptos y leyes fundamentales de la Física. Tal es el caso del concepto de fuerza y su interpretación bajo las leyes de Newton. Por ejemplo la aceleración la asocian al efecto de una fuerza sin fundamentarla en la 2ª ley de Newton; la primera ley de Newton la

relacionan con el estado de reposo dejando de lado la parte correspondiente al movimiento, y la tercera ley no es comprendida en absoluto. En otras áreas encontramos el mismo tipo de problemas de conceptos básicos como en la polarización eléctrica, en el concepto y aplicación de energía, en la interpretación del sonido y en la interpretación microscópica de variables macroscópicas en un gas.

Un caso especial es la "sustancialización" que los profesores hacen de la mayoría de los conceptos. Por ejemplo argumentan que la energía es una sustancia que se gasta, que el calor es otra sustancia que pasa de un cuerpo y traspasa los objetos. Lo mismo puede decirse de la carga eléctrica y del campo eléctrico o del sonido. Si bien la sustancialización es un problema que se ha tratado y reportado de manera amplia en las investigaciones sobre ideas previas en estudiantes, resulta, particularmente grave, la gran proporción que alcanza entre los profesores de este estudio (61%). Otro tipo de confusiones se encuentra en el reconocimiento y comprensión de diversas leyes, en especial resalta la confusión con la ley de inducción de Faraday la cual confunden con la de Ohm y con la de Coulomb. Como puede notarse el pobre dominio de los temas del electromagnetismo, de estructura de la materia y de las ondas corresponde a las calificaciones más bajas obtenidas.

Las relaciones de transferencia macro-micro es otro de los problemas recurrentes y consiste en la atribución de propiedades macroscópicas a entidades como átomos y moléculas. Por ejemplo, decir que las moléculas se dilatan por el calor o, en el caso atómico, que la rapidez del movimiento de los electrones es la que hace que se vean como una nube. Otro ejemplo es la interpretación de que las mismas formas de energía referidas a los objetos macroscópicos se identifiquen en las estructuras atómicas y subatómicas, por ejemplo en una entrevista el profesor expresa:

E. ¿Qué hay entre las partes que forman el átomo? O sea, ya vio que en el núcleo, usted lo considera casi como de una sola pieza, pero también menciona protones y neutrones, ¿qué habría entre los protones y neutrones?

M. Es una forma de energía, que puede variar de acuerdo a las condiciones físicas como es la temperatura, como es la combinación de otro elemento.

E. ¿Entonces considera usted que las condiciones físicas externas afectan a los núcleos de la materia?

M. Sí, porque se supone que la energía cinética de las moléculas está en movimiento, y ese movimiento va a depender de la temperatura, a mayor temperatura habrá mayor movilidad.

De manera semejante, en Química se encuentra que los profesores hacen alusión a que un fenómeno sucede debido a que hay alguna ley o modelo en particular que lo rige. Así, pareciera que el profesor, por sólo enunciar una ley o principio, considera que el fenómeno se ha explicado.

Los profesores tienden a utilizar, en temas más difíciles, lenguaje complejo que incorpora parte del lenguaje científico, pero que, en algunas ocasiones, acaban siendo oraciones sin sentido, como si el lenguaje especializado de la disciplina pudiera subsanar los problemas en la comprensión. En el siguiente fragmento se tiene un claro ejemplo.

E. ¿Cómo es el proceso de disolución? Cuando yo le agrego azúcar al agua, ¿qué procesos pasan ahí?

M. ... las sustancias tienen cierta (...) pues cierta energía, por ejemplo, el átomo tiene energía, los átomos tienen sus electrones, tienen protones, neutrones y para empezar la valencia que hace que se atraigan de manera eléctrica por decirlo así... entonces se da como una atracción entre ellas, eso da como resultado una unión íntima a nivel molecular (...)

En este nivel la mayoría de los fenómenos para poder ser explicados requieren del conocimiento de la teoría cinético-corpúscular, sin embargo, es difícil para los profesores recurrir a ella para dar explicaciones aún cuando sea solicitada expresamente como en varias de las preguntas del cuestionario. Por ejemplo ante la solicitud de una explicación en términos microscópicos de la disolución de sal en agua, la mayoría de los profesores no logra expresar sus ideas en términos microscópicos como se muestra en la gráfica 5.

GRÁFICA 5
Proporción de profesores que utilizan explicaciones
microscópicas y macroscópicas



Otro problema importante es que consideran que la materia se encuentra estática hasta que un factor externo incida en su estado, por ejemplo, la razón de que ocurran las reacciones químicas es la presencia de calor o bien, las causas de la disolución son la agitación o el calentamiento y no las propiedades intrínsecas y dinámicas de las partículas.

También se encontró que los profesores tienden a pensar en los cambios de la materia como producto de cambios en las configuraciones o distribución de las partículas —por ejemplo, aumento en el espacio entre éstas en los cambios de fase— y mucho menos en términos de la interacción entre ellas. En este sentido consideran que las propiedades de las partículas son iguales que las de las sustancias, lo cual impide, entre otras cosas, que puedan elaborar explicaciones sobre algunas de las propiedades de las sustancias como el punto de fusión o la densidad, porque las consideran como propiedades intrínsecas de las partículas (sin posibilidad de ser explicadas).

En los temas de estequiometría, reacción química y enlace químico, es notoria la dificultad que presentaron los profesores para relacionar las fórmulas de una sustancia con su estructura química. Es usual que piensen la materia como una mezcla de sustancias, cuya estructura es irrelevante para dar cuenta de

los fenómenos en los que toma parte. Sólo el 20% de los profesores que participaron en el estudio puede representar una reacción sencilla utilizando un modelo de partículas. Del análisis de los resultados sobre el tema enlace químico, fue posible darse cuenta de que los profesores desconocen la estructura interna de sustancias de uso común como la sal y el azúcar, lo que da indicios de la escasa importancia que le confieren a la estructura de las sustancias con relación a sus propiedades. Otro hallazgo importante es el hecho de que el número de Avogadro (el número de partículas que hay en un mol de sustancia), puede considerarse como un número muy relevante siempre que se habla de átomos, moléculas o moles, sin que los maestros puedan explicar el por qué de su utilización (que parece indiscriminada). Los profesores no tienen, por ejemplo, una noción clara del tamaño de los átomos.

Como puede apreciarse los profesores tienen problemas conceptuales semejantes a los que tienen los estudiantes de este y otros niveles educativos. La correlación entre los resultados numéricos y los derivados del análisis conceptual muestra que hay mayores problemas donde los valores medios son más bajos. Estos resultados dan indicios de que hay problemas fundamentales en los procesos de formación docente y profesional que es necesario atender.

RESULTADOS DIFERENCIADOS POR NIVEL DE DOMINIO. Uno de los propósitos principales de este estudio era conocer el dominio que alcanzan los profesores de las disciplinas que enseñan en los tres niveles propuestos y que dan indicios del estadio que guardan sus conocimientos de manera correspondiente a los conocimientos básicos que se espera alcancen las personas en los ciclos de enseñanza básica y media superior. De manera indirecta, también nos da indicios de las posibilidades reales que tendrían los profesores de enseñar en distintos ciclos escolares y que, de manera muy gruesa, corresponden a los niveles de primaria, secundaria y bachillerato. La tabla 7 muestra los promedios obtenidos para cada disciplina en los tres niveles de dominio.

TABLA 7
Promedio por nivel y disciplina

NIVEL	BIOLOGÍA (promedio)	FÍSICA (promedio)	QUÍMICA (promedio)
Nivel 1	69.3	41.5	43.2
Nivel 2	47.9	33.4	36.9
Nivel 3	29.2	24.2	28.5

Como puede apreciarse sólo en Biología se alcanza calificación aprobatoria para el nivel más elemental (nivel 1), las disciplinas restantes están muy por debajo. Estos resultados corroboran el serio problema en la formación y actualización de los profesores que motivó este estudio.

Conclusiones

El análisis cuantitativo señala que los problemas detectados son aplicables a todos los estados participantes (si bien en algunos la población es muy pequeña y habrá que tomar con cuidado la generalidad de este estudio) y que aspectos como la formación inicial de los profesores —normalista o

profesionista en alguna disciplina— no tiene implicaciones significativas. En el único aspecto en el que las características de la población muestra diferencias es en el nivel de estudios aunque aún quienes tienen estudios de maestría (no se determinó en qué fue obtenida esa maestría) presentan resultados lejos de lo esperado.

Relación entre los resultados cuantitativos y cualitativos

Los promedios tan bajos obtenidos en cada una de las disciplinas se ven confirmados por las concepciones y problemas conceptuales y de otro tipo determinados tanto en las respuestas abiertas en los cuestionarios como en entrevistas. La descripción y los ejemplos que se han mostrado se correlacionan de manera positiva con los promedios más bajos y con las distribuciones de las temáticas que muestran las gráficas de cluster como la gráfica 2. Estos problemas están asociados a temas que las investigaciones en el campo también han mostrado como problemáticos, sin embargo, los niveles encontrados en la población de profesores mexicanos analizada resulta aún más preocupante.

Los niveles de dominio de la disciplina

En el estudio se propuso conocer los conocimientos de los profesores en tres niveles de dominio. Cada uno de ellos corresponde de manera progresiva a un mayor dominio de los conceptos y de sus posibilidades explicar fenómenos así como de solucionar problemas de corte escolar. El resultado es que aunque en el primer nivel —que corresponde a los aspectos más básicos, descriptivos— el dominio mostrado por los profesores fue mejor, sigue siendo deficiente. En el nivel 2, que en principio, sería suficiente para enseñar su materia en la secundaria, los resultados numéricos son muy bajos mostrando las deficiencias ya anunciadas en el nivel 1. Cabe resaltar que, en ambos casos, los resultados cualitativos expresados de manera sintética en los párrafos precedentes, muestran los orígenes de esos resultados cuantitativos. En cuanto al nivel 3 como es de esperar, los resultados son aún más deficitarios.

En resumen, los resultados de los tres niveles muestran una situación de deficiencias en el conocimiento disciplinar de los profesores no deseable que puede explicar, en parte, los problemas que se ven en los alumnos y que se ven reflejados en los resultados de mediciones estandarizadas, internacionales o nacionales, pero que, sobre todo, se puede relacionar con los problemas a los que se enfrentan en el ciclo inmediato superior y, posiblemente, en su desempeño en la vida cotidiana y laboral.

Estos resultados son una muestra parcial de lo que ocurre con la formación de los profesores y dan cuenta sólo de una parte del conocimiento que requiere un profesor para abordar la enseñanza de la ciencia. Los otros aspectos que no sólo complementan sino que están estrechamente vinculados a la visión de la ciencia que implican los enfoques educativos actuales, son principalmente las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia y las ideas sobre el aprendizaje. Otros factores como las relaciones del conocimiento con el entorno social y económico son también relevantes. Aunque, como se ha descrito, los aspectos relacionados con las concepciones de ciencia no se analizan en el presente reporte, nos adherimos a la hipótesis de que el conocimiento de la disciplina deja ver que también en esos otros campos del conocimiento puede haber problemas tanto o más graves como los que aquí se han reportado y que se muestran en estudios complementarios llevados a cabo en México (Carvajal y Gómez, 2002; Flores, *et al.*, 2007; Verjovsky y Waldegg, 2005).

Estos resultados y los de otras investigaciones que han sido referidas, dan cuenta de un panorama que requiere de una atención especial y urgente en la formación y actualización de los profesores, de una revisión amplia y profunda de lo que ocurre tanto en escuelas normales como en los criterios de aceptación y permanencia de los profesores que provienen de las universidades. También parece necesario plantear esquemas adecuados de evaluación y acreditación docente que impulsen a los profesores para elevar el estado actual de sus conocimientos en las temáticas que enseñan. Sin embargo esto no será suficiente, se requieren programas de formación y apoyo a los docentes que fortalezcan otros aspectos del conocimiento, en especial las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, de aprendizaje y el desarrollo de procesos y estrategias didácticas. Cabe señalar, por último que los esfuerzos que se establezcan en una formación integral de los profesores no podrán fructificar si el nivel de comprensión de los conceptos científicos no mejora.

Bibliografía

- AAAS y NSTA (2001): *Atlas of Science Literacy*. Project 2061. Washington D.C.
- ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS: La Ciencia en tu Escuela, <www.amc.unam.mx/lacienciaentuescuela.htm> [Consulta: abr. 2007].
- BALL, D. L., y COHEN, D. K. (1996): "Reform by the book: what is – or might be – the role of curriculum materials in teacher learning and instructional reform?", en *Educational Researcher*, 25, 9, pp. 6-14.
- CANINO, N. (1995): "Ideas previas y cambio conceptual en astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la Luna", en *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 1, pp. 81-96.
- CARVAJAL, E., y GÓMEZ, Ma. R. (2002): "Concepciones y representaciones de los maestros de secundaria y bachillerato sobre la naturaleza, el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia", en *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 7, 16, pp. 577-602.
- CHAMIZO, J. A.; NIETO, E. y SOSA, P. (2004): "La enseñanza de la Química. Tercera parte. Evaluación de los conocimientos de química desde secundaria hasta licenciatura", en *Educación Química*, 15, 2, pp. 108-112.
- CENEVAL (2006): *Resultados educativos: La secundaria (2004-2005)*. México, Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A. C.
- FLORES, F., y BARAHONA, A. (2003): "Currículo de educación básica, contenidos y prácticas pedagógicas", en WALDEGG, BARAHONA, MACEDO y SÁNCHEZ (eds.): *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria*. México, SEP-OREALC-UNESCO, pp. 13-36.
- FLORES, F.; TOVAR, Ma. E., y GALLEGOS, L. (2003): "Representation of the cell and its processes in high school students: an integrated view", en *International Journal of Science Education*, 25, 2, pp. 269-286.
- FLORES, F.; GALLEGOS, L.; LÓPEZ, A.; SOSA, P.; SÁNCHEZ, Ma.; ALVARADO, C.; BONILLA, X.; GARCÍA, A.; REACHY, B.; RODRÍGUEZ, D.; VALDÉS, S., y VALLADARES, L. (2003): "Transformaciones conceptuales y pedagógicas en los profesores de ciencias naturales de secundaria: los efectos de los cursos nacionales de actualización", en *Reporte de Investigación*, México, UNAM
- FLORES, F.; GARCÍA, A.; ALVARADO, C.; SÁNCHEZ, M.; SOSA, P., y REACHY, B. (2004): "El efecto de los cursos nacionales de actualización: Análisis de los materiales instruccionales", en *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 20, pp. 199-228.
- FLORES-CAMACHO, F.; GALLEGOS-CÁZARES, L.; BONILLA-PEDROZA, X. y REYES-CÁRDENAS, F. (2007): "La influencia de la formación y el medio en la conformación de las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en profesores de ciencias de secundaria", en T. BERTUSHI (ed.): *Anuario educativo mexicano: visión retrospectiva*, México, UPN-Miguel Ángel Porrúa (en prensa).
- FLORES, F.; LÓPEZ, A.; GALLEGOS, L., y BAROJAS, J. (2000): "Transforming science and learning concepts of physics teachers", en *International Journal of Science Education*, 22, 2, pp. 197-208.
- FLORES, *et al.*: Ideas Previas (Base de datos) <<http://ideasprevias.ciinstrum.unam.mx:2048>> [consulta: abr. 2007].

- GALLEGOS, L.; FLORES, F., y VALDÉS, S. (2004): "Transformación de la enseñanza de la ciencia en profesores de secundaria. Efectos de los Cursos Nacionales de Actualización", en *Perfiles Educativos*, 103, pp. 7-37.
- GALLEGOS, L.; GARCÍA, A., y CALDERÓN, E. (2007): "Estrategias de enseñanza y cambio conceptual", en I. POZO y F. FLORES (eds.): *Transformaciones conceptuales y representacionales*, Madrid, Antonio Machado/UNESCO (en prensa).
- GARCÍA, A.; FLORES, F., y GALLEGOS, L. (2005): "The national in-service courses for science teachers and their effect on educational reform in Mexico", en *Journal of Education for Teaching*, 31, 1, pp. 37-46.
- HELLER, P. M., y FINLEY, F. N. (1992): "Variable uses of alternative conceptions: a case study in current electricity", en *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 3, pp. 259-275.
- MCCOMAS, W.; CLOUGH, M., y ALMAZROA, H. (2000): "The role and character of the nature of science in science education", en W. McCOMAS, (ed.): *The Nature of Science in Science Education*, Netherlands; Kluwer Academic Publishers, pp. 41-52
- MARTINS, I., y OGBORN, J. (1997): "Metaphorical reasoning about genetics", en *International Journal of Science Education*, 19, 1, pp. 47-63.
- OECD (2003): *Reading for change: Performance and engagement across countries, results form PISA 2000*, Francia, OECD.
- PALMQUIST, B., y FINLEY, F. (1997): "Preservice teachers' views of the nature of science during a post baccalaureate science teaching program", en *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 6, pp. 595-617.
- POMEROY, D. (1993): "Implications of Teacher's beliefs about the nature of science. Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers", en *Science Education*, 77, 3, pp. 261-278.
- ROWELL, J., y CAWTHON, E. (1982): "Images of science: an empirical study", en *European Journal of Science Education*, 4, 1, pp. 79-94.
- PRONAP: <www.sep.gob.mx/pronap> [Consulta: abr. 2007].
- RYDER, L.; LEACH, J., y DRIVER, R. (1999): "Undergraduate science students' images of science", en *Journal of Research of Science Teaching*, 36, 2, pp. 201-219.
- SANDOVAL, E. (2000): *La trama de la escuela secundaria: institución, relaciones y saberes*, México, Universidad Pedagógica Nacional – Plaza y Valdés Editores.
- SCHIBECI, R.A., y HICKEY, R. (2000): "Is it natural or processed? Elementary school teachers and conceptions about materials", en *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 10, pp. 1154-1170.
- SEP (1993): *Plan y programas de estudio. Educación básica. Secundaria*, Dirección General de Materiales y Métodos Educativos de la Subsecretaría de Educación Básica y Normal, México, SEP.
- SHULMAN, L. S. (1987): "Knowledge and teaching: Foundations of the new reform", en *Harvard Educational Review*, 57, 1, pp. 1-22.
- SERNA, O., y VALDEZ, R. (2003): "Actualización docente", en WALDEGG, BARAHONA, MACEDO y SÁNCHEZ (eds.): *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria*. México, SEP-OREALC-UNESCO, pp. 55-78.
- VERJOVSKY, J., y WALDEGG, G. (2005): "Analyzing beliefs and practices of a mexican high school biology teacher", en *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 4, pp. 465-491.

ANEXO

A continuación se presentan como muestra dos preguntas de los cuestionarios de Biología, Física y Química.

Muestra del cuestionario de Biología

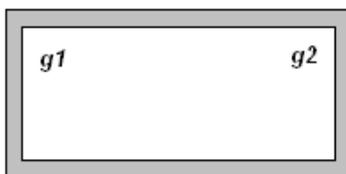
- 1) De la lista que se presenta a continuación;
 - a) Subraye los que considera son seres vivos:

Polen Esponja Corcho Estrella de mar Tenia
Arcilla Plancton Gen Bacteria Coral

- b) ¿Cuáles son las características que permiten definir a los seres vivos?
2. a) Forme una cadena alimentaria con los siguientes organismos:
- 1) Caracol 2) Planta 3) Ave 4) Hongos
5) Bacterias 6) Águila 7) Conejo muerto 8) Serpiente
- b) ¿Cómo obtienen el alimento las plantas?
- c) ¿Cuál es la función de los hongos y las bacterias en las cadenas alimentarias?

Muestra del cuestionario de Física

- 1) En la ciencia moderna se considera que los objetos materiales están constituidos por átomos y moléculas.
- a) Defina qué es un átomo y qué es una molécula.
- b) Explique claramente y con detalle cuáles son las diferencias, así como la relación entre átomo y molécula.
- 2) Se tienen dos gases separados en dos recipientes. Uno de los gases se calienta durante cierto tiempo. Después se juntan los dos gases colocándolos dentro de un recipiente con paredes adiabáticas, como se muestra en la figura.



- a) ¿Qué ocurre con la temperatura de ambos gases después de un largo tiempo?
- b) ¿Qué condiciones deben cumplirse para afirmar que hay transferencia de calor entre los gases?
- c) ¿Explique cómo se realiza esta transferencia de calor en términos del movimiento de las moléculas de los gases?

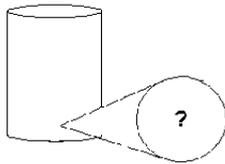
Muestra del cuestionario de Química

- 1) Considere que añade 25 g de azúcar a 100 mL de agua. La solubilidad del azúcar es de 203.9 g/100 mL de agua a 20°C. Describa y fundamente a nivel de partículas, cómo se vería el sistema agua-azúcar, en tres diferentes situaciones, minutos después de añadir el azúcar.

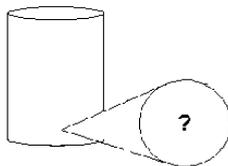
Representa una molécula de azúcar

Representa una molécula de agua

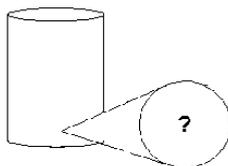
a) Si se utiliza agua a temperatura ambiente (20° C) y al depositar el azúcar se agita vigorosamente. ¿Por qué?



b) Si se utiliza agua a 80 °C, sin agitar. ¿Por qué?



c) Si se utiliza agua a temperatura ambiente (20° C), sin agitar. ¿Por qué?



Dejamos los tres recipientes en la misma posición y cubiertos (para evitar la evaporación) y regresamos tres días después a observarlos. Explique, a nivel de partículas

d) ¿Qué pasa con el azúcar en cada recipiente?

RECIPIENTES	EL AZÚCAR			¿POR QUÉ?
	Se empieza a sedimentar	Permanece disuelta	Toda se ha asentado	
1				
2				
3				

e) ¿Qué sucede con la masa de la mezcla, en cada recipiente?

RECIPIENTES	LA MASA DE LA MEZCLA			¿POR QUÉ?
	Disminuye	Aumenta	Permanece igual	
1				
2				
3				

- 1) Se tiene una disolución acuosa cuyo pH es 5.
- a) Esta disolución es:
- | | |
|--------|-----|
| Ácida | () |
| Neutra | () |
| Básica | () |
- b) ¿Cuál es la concentración de los iones hidronio en esta disolución? _____
- c) Si se agrega un soluto que modifica el pH de la disolución de 5 a 3 unidades de pH,
- | | |
|--|-----|
| la disolución es más alcalina o básica | () |
| la disolución es menos alcalina o básica | () |
| la disolución es más ácida | () |
| la disolución es menos ácida | () |
- d) Considerando el inciso anterior, ¿cuántas veces aumentó o disminuyó la acidez o alcalinidad de la disolución?, ¿por qué?