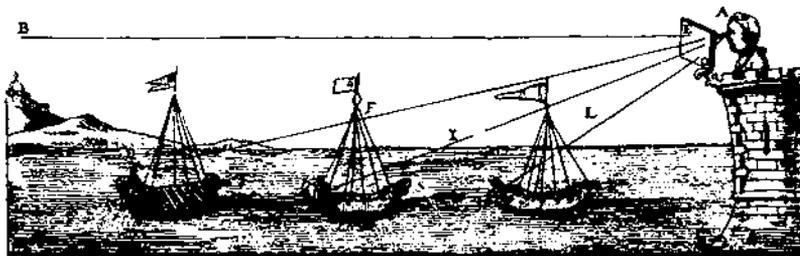


# INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



---

## LA VALORACIÓN DE ARGUMENTACIONES Y EXPLICACIONES: PROMOVER ESTRATEGIAS DE RETROALIMENTACIÓN\*

DUSCHL, R.  
Department of Teaching and Learning, Peabody College, Nashville, USA.  
E-mail: [duschlra@d.mail.vanderbilt.edu](mailto:duschlra@d.mail.vanderbilt.edu)

---

### SUMMARY

This paper suggest focusing curriculum instruction and assessment models on the epistemic goals coupled with concept and performance goals. It discusses the design of learning environments that support students «doing science», in particular the role of assessment and the promotion of students development and evaluation of scientific claims.

---

### INTRODUCCIÓN

Una tendencia actual en educación es la adopción de estrategias que permitan evaluar lo que los estudiantes hacen en clase. Algunas consisten en que los estudiantes reúnan en una carpeta información que demuestre su

comprensión. Otras estrategias toman la forma de tests estandarizados en los cuales se da a los estudiantes un conjunto de materiales, en el caso de las ciencias, y se les pide que diseñen, lleven a cabo y evalúen un experimen-

to. Indudablemente la validez de estos tests se basa en las oportunidades que hayan tenido los alumnos de implicarse en tareas relacionadas con los objetivos curriculares, y recibir retroalimentación sobre ellas.

La actuación, sea como escritor, músico, bailarín, ingeniero, profesor o científico, es una tarea compleja constituida por muchas subtareas. Me impresionó mucho que la profesora de piano de mis hijas tuviese una clara percepción de las múltiples destrezas y conocimientos básicos que necesitaría desarrollar a fin de que sus estudiantes alcanzasen altos niveles de actuación. Recuerdo que eran por lo menos cuatro conjuntos de objetivos: desarrollo de fuerza y flexibilidad en manos y dedos, desarrollo de la capacidad de leer una partitura, desarrollo de la capacidad de aprender el fraseo musical y la interpretación con sentimiento, y cultivar la creatividad musical. Durante cada sesión semanal, las alumnas recibían retroalimentación en cada uno de estos aspectos.

Me sorprendió este enfoque estratificado, o de múltiples objetivos, porque al mismo tiempo mis colegas y yo comenzábamos a emplear un pensamiento similar en la enseñanza de las ciencias. Nuestra idea también era que la capacidad de actuar como un estudiante de ciencias en secundaria obligatoria necesitaría retroalimentación en múltiples aspectos. Entendíamos las estrategias de evaluación alternativas —como el uso de carpetas (portafolios) en clase o de prácticas de instrucción que promuevan su utilización— como mecanismos para hacer de los criterios de actuación productos del aula compartidos, públicos y que se practican.

Al igual que la profesora de piano que prepara a sus estudiantes para actuaciones programadas regularmente, los profesores de ciencias necesitan promover el desarrollo de un conjunto de aptitudes, destrezas y conocimientos básicos en sus estudiantes que los preparen para actuar como científicos. Recalco el término *conjunto*, porque el énfasis que se hace en cada uno de los aspectos que reciben retroalimentación nos lleva de manera natural a una priorización, intencionada o no, acerca de «qué consideramos» como estándares y objetivos para la actuación. Estos episodios del aprendizaje en los que se presta atención a «qué consideramos como» es lo que denomino *contextos epistémicos*.

El tema de este artículo es que la política de educación científica y los que toman decisiones —profesores de infantil, primaria y secundaria, equipos directivos, autoridades educativas, autores de libros de texto, padres, etc.— han equivocado, creo yo, los objetivos y prioridades para el diseño del currículo, la instrucción y las pautas de evaluación. Sostengo que hacer énfasis fundamentalmente en los conceptos —el contenido de la ciencia si se quiere— es una perspectiva equivocada para el diseño de ambientes de aprendizaje de ciencias. En su lugar, el énfasis fundamental debería estar sobre el desarrollo de instrumentos, criterios, modelos y reglas que los estudiantes puedan usar para investigar, evaluar y especialmente valorar los enunciados científicos. Peter Fensham (1988) ha expresado la misma opinión en

su revisión del desarrollo curricular en la enseñanza de las ciencias durante el s. XX. Cree que el énfasis casi exclusivo en los objetivos conceptuales ha reducido el contexto cultural y social en la enseñanza de las ciencias. El lenguaje de las ciencias no es exclusivamente el enunciado de términos y conceptos, hechos y leyes, principios e hipótesis. El lenguaje de las ciencias, debido al carácter reestructurador que tienen los enunciados científicos para los métodos, metas y explicaciones, es un discurso que examina y valora de manera crítica las numerosas y a la vez repetidas transformaciones de las pruebas en explicaciones, éste ha sido establecido por la historia, filosofía y sociología de las ciencias (Duschl, 1994; Duschl y Hamilton, en prensa). Es necesario algún tipo de proceso de valoración, a fin de apreciar los contextos conceptual, cultural o social de la ciencia. El papel de las pautas o criterios de evaluación en ciencias es un aspecto importante del desarrollo científico. Se necesitan objetivos epistemológicos para juzgar los enunciados científicos y guiar la indagación. Creo que los contextos epistémicos podrían estar junto a los contextos conceptuales y socioculturales, en el proceso de transformación de las evidencias en explicaciones.

Un modelo conocido del proceso de transformación de evidencia en explicación es el esquema argumental de Toulmin (1958)<sup>1</sup>, una representación genérica del discurso científico desde los datos hasta las conclusiones. La utilización del esquema argumental de Toulmin (TAP: Toulmin's Argument Pattern) como instrumento para comprender acciones en clase de ciencias no es nueva. Russell (1981) lo empleó para analizar las explicaciones de profesores y las representaciones de las ciencias durante la instrucción. Centraba su atención en comprender la naturaleza de la autoridad (racional en contraposición a irracional) asignada a los enunciados científicos. Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre (1997), y Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl (1997) están usando el TAP para estudiar el discurso de las y los estudiantes durante sus indagaciones con microscopios, o resolviendo problemas. También Carlsen (1997) está empleando el TAP para analizar su discurso del aula cuando enseña ciencias. En su investigación, que examina el efecto del conocimiento del profesor acerca de la disciplina, sobre el discurso del aula, encontró «que los argumentos se hacen menos complejos y más problemáticos desde el punto de vista filosófico, cuando el contexto no es familiar» (p. 14). Eichinger, Anderson, Palincsar y David (1991) usaron estos esquemas como heurístico para analizar las conversaciones de los estudiantes durante actividades de indagación. Aquí se facilitaba a las y los estudiantes un esquema de argumento en blanco y se les pedía que los rellenaran con información relevante (es decir, datos, justificaciones, conocimiento básico, refutaciones, conclusiones) para la investigación que estaban llevando a cabo.

Cuando el objetivo de la instrucción es una comprensión de la ciencia canónica, es decir, los enunciados teóricos aceptados, se puede pensar en el TAP como en una plantilla para organizar las pruebas utilizadas, las justificaciones y conocimiento básico enunciados, los calificadores usados y las refutaciones planteadas por los

científicos en la construcción de una explicación, una teoría o un modelo. He usado los TAP precisamente en este sentido al enseñar argumentos de Darwin en apoyo de la selección natural y la evolución a estudiantes de filosofía. En particular, los estudiantes usan los TAP como un dispositivo estructurador para identificar, analizar e informar acerca de las afirmaciones que Darwin establece en *El origen de las especies*. Al igual que en Eichinger y otros (1991), los esquemas TAP permiten a las y los estudiantes supervisar la calidad de argumentos razonados y soluciones a problemas.

La dificultad para el uso de los TAP como plantilla de pensamiento, la constituyen las interpretaciones que uno admite o acepta para la consideración o no de cada cosa como datos, justificación, conocimiento básico o conclusión. En otras palabras, lo que se escoge supervisar y con qué criterios se elabora el discurso. Es en este nivel de toma de decisiones acerca de «qué consideramos» (datos, justificación, etc.), donde creo que se puede decir que se hace ciencia y, por tanto, donde se debe centrar el discurso del aula y la evaluación; es decir, se debe centrar la atención en los contextos epistémicos.

Para que los contextos epistémicos centren el discurso de la clase sería necesario que el objetivo de la instrucción fuese implicar a las y los estudiantes en la indagación científica, y que la organización del currículo, la instrucción y las pautas de evaluación les proporcionasen oportunidades para desarrollar, evaluar y revisar soluciones alternativas. También sería necesario que los profesores tuviesen oportunidades para recoger, supervisar y evaluar las ideas de los estudiantes. En particular, cuando las y los estudiantes tienen oportunidades para elaborar, cuestionar y defender enunciados científicos (por ejemplo, argumentos, elección de medidas, diseño de experimentos, modelo, explicación), un observador encontrará una amplia gama de conversaciones en pequeño grupo y en el conjunto de la clase, variedad de ideas en los informes de los estudiantes y en conjunto un desplazamiento de la autoridad desde el libro de texto y el profesor hacia la evidencia y los estudiantes. En tales condiciones, el profesor se convierte en facilitador y quizás más importante, provocador. Después de estudiar su propia actuación como profesor de física, Hammer (en prensa) afirma que una buena enseñanza comienza con un conjunto de observaciones e ideas planificadas, pero implica también actuaciones no planificadas que aparecen a medida que los estudiantes se involucran en el aprendizaje significativo. De acuerdo con Hammer, una buena instrucción depende de la percepción y comprensión espontánea de los profesores, acerca de las necesidades y significados de las y los estudiantes. A tal estilo de enseñanza, él la denomina «enseñanza por descubrimiento».

El diseño de ambientes de aprendizaje de ciencias que fomenten la «enseñanza por descubrimiento», así como la indagación de las y los estudiantes acerca del estatus de los enunciados científicos, depende de que se incorporen y secuencien actividades y tareas que impliquen a los estudiantes en hacer preguntas y debatir «qué consideramos» y «qué hay que hacer a continuación». Los

ambientes de aprendizaje de ciencias deberían proporcionar oportunidades a los profesores y estudiantes para recibir información y proporcionar también orientación y retroalimentación sobre tales actividades y tareas. La idea de desplazar la atención de la enseñanza de las ciencias hacia la evaluación de los enunciados teóricos<sup>2</sup> no es nueva. Es de particular interés el trabajo del proyecto sobre pautas de indagación (Patterns of Enquiry Project, Connelly y Finegold, 1977). Es pionero en poner énfasis en que las y los estudiantes desarrollen hábitos mentales, en señalar el papel de la discusión y la argumentación, y en la necesidad de la indagación para interesarlos en evaluar los enunciados teóricos. Que los estudiantes sean capaces de evaluar el estatus de un enunciado teórico y el grado de duda legítima asociado al mismo es de crucial importancia para hacer ciencia. Al igual que una comunicación bien escrita requiere escribir y volver a escribir, la ciencia de calidad requiere también explicar y volver a explicar. La enseñanza de ciencias debe reflejar los rasgos de construcción mediante consenso, característicos del proceso de transformación de los datos en explicación. A continuación se expone una lista completa de los objetivos que Connelly y Finegold (1977) proponen para el aprendizaje y enseñanza de las ciencias como indagación:

### *Aprendizaje como indagación*

- Comprender el contenido más importante.
- Comprender los elementos de un esquema de indagación<sup>3</sup>.
- Desarrollar destrezas de lectura y hábitos mentales que capaciten para la identificación y comprensión de enunciados teóricos.
- Desarrollar destrezas de valoración y hábitos mentales que capaciten para la evaluación del estatus de los enunciados teóricos.

### *Enseñanza como indagación*

- Identificar el grado de duda legítima asociado al conocimiento científico; es decir, la validez de una hipótesis o creencia.
- Dar oportunidades a los estudiantes para que deduzcan tendencias y desarrollen la capacidad intelectual de informarse por sí mismos.
- Emplear una estrategia de enseñanza que permita el descubrimiento, que se concentre en el papel fundamental de la discusión y fomente la argumentación eficaz.

Por eso mi opinión es que, además de seleccionar contextos conceptuales y socioculturales para el diseño del currículo, de la instrucción y de modelos de evaluación, debemos considerar también los contextos epistémicos que interesen a las y los alumnos e impliquen a las y los profesores en evaluar actuaciones que requieren tanto la elaboración como la valoración de hipótesis científicas. Debido a la naturaleza del conocimiento científico, tales actuaciones deberían hacer énfasis en el desarrollo y evaluación de los argumentos, modelos y explicaciones científicas.

La primera parte de este artículo argumenta a favor de centrar, en objetivos epistémicos, conceptuales y de actuación, la enseñanza del currículo y las pautas de evaluación. Este argumento se fundamenta sobre todo en puntos de vista de la filosofía de las ciencias contemporánea, que apoyan la idea de que en las comunidades científicas funcionan reglas epistémicas. A continuación se discutirá el diseño de ambientes de aprendizaje que mantengan a las y los estudiantes «haciendo» ciencia. En particular, me centraré en el papel de la evaluación durante el aprendizaje, además de las características integradoras de los modelos de currículo, de instrucción y de evaluación que fomentan el que los estudiantes elaboren y evalúen hipótesis científicas. Se incluyen ejemplos del trabajo de las y los estudiantes y de la instrucción como ciencia en acción. Se concluye con un conjunto de recomendaciones para futuras líneas de investigación en didáctica de ciencias que traten de fomentar las ciencias como indagación, empleando contextos epistémicos.

### COMUNIDADES EPISTÉMICAS

La ampliación de estudios sobre ciencias durante este siglo, desde el dominio exclusivo de la filosofía de las ciencias hasta la integración de perspectivas de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, ha cuestionado opiniones acerca de qué se debería tener en cuenta como unidad básica para hacer ciencia. El punto de vista tradicional, que considera a cada científico individual como la unidad o agente del cambio conceptual, está siendo reemplazado por otro en el cual se consideran las comunidades de científicos como unidades fundamentales para el cambio. Una perspectiva de la filosofía de la ciencia en el s. XX es la tendencia a tratar de comprender la ciencia en proceso de construcción.

Hull capta la esencia de los cambios que están teniendo lugar cuando escribe que «la objetividad que importa en ciencia no es una característica de los científicos individuales, sino de las comunidades científicas» (Hull, 1988, p. 4). Woody (1997), al hablar acerca de una teoría del desarrollo racional de las teorías, postula que cualquier restricción sobre el desarrollo de éstas debe dar por sentado que:

- 1) los humanos tienen ciertas capacidades cognitivas (y no otras);
- 2) los científicos actúan dentro de ambientes intelectuales (sociales, tecnológicos) que restringen los cambios que cualquier científico pudiera considerar en la teoría.

El punto de vista de Woody tiene relación con las opiniones acerca de si es natural o aprendida la capacidad de los niños pequeños para comportarse como pensadores científicos; es decir, su interés en la construcción de teorías. Los diálogos interdisciplinarios entre científicos cognitivos, neurocientíficos y filósofos de la ciencia acerca de este problema, denominado el «proble-

ma de la teoría de las teorías», tienen importancia para la didáctica de ciencias.

Longino (1990, 1994) es otra filósofa de la ciencia partidaria de situar la objetividad en la dinámica de grupo de las comunidades científicas. Un ejemplo que ella da del consenso para la construcción del conocimiento científico son los procesos de revisión a cargo de iguales; por ejemplo, publicar en revistas con *referees*, ponencias en congresos y evaluaciones para la financiación de proyectos. Longino (1994) da una lista de cuatro condiciones que debe reunir una comunidad para que lo consensuado llegue a ser considerado conocimiento:

- 1) Debe haber foros, reconocidos públicamente, para la crítica de pruebas, métodos y supuestos acerca del razonamiento.
- 2) Debe haber aceptación de las críticas. La comunidad debe no sólo tolerar la discrepancia, sino que sus propias creencias y teorías deberán cambiar con el tiempo, en respuesta al discurso crítico que tiene lugar en su seno.
- 3) Deben existir pautas de referencia reconocidas públicamente, respecto a las cuales se evalúen teorías, hipótesis y métodos de observación, y respecto a ellas sea la crítica relevante para los objetivos de la comunidad indagadora.
- 4) Finalmente, estas comunidades se deben caracterizar por la igualdad en cuanto a autoridad intelectual. El consenso existente no debe ser resultado de un ejercicio de poder político o económico, o de la exclusión de puntos de vista discrepantes, sino del diálogo crítico en el cual estén representados todos los puntos de vista relevantes (Longino, 1994, pp. 144-145).

Kitcher (1993) también interpreta el proceso de establecimiento de consenso como una medida de la objetividad y progreso en la ciencia. Su perspectiva es ligeramente diferente, puesto que echa mano de los procesos cognitivos que dirigen el progreso conceptual y explicativo de cada individuo. Tanto para el progreso conceptual como para el explicativo, lo importante es la eliminación de alternativas a fin de avanzar hacia una opinión de consenso. Lo que caracteriza a la objetividad científica es la obtención de consenso o el proceso de eliminación. Kitcher escribe que «se progresa conceptualmente cuando modificamos los límites de nuestras categorías para que estén de acuerdo con las clases y cuando somos capaces de aportar más detalles de nuestros puntos de referencia» (pp. 95-96). «El progreso explicativo consiste en mejorar nuestra comprensión de las dependencias entre fenómenos. Normalmente los científicos identifican unos fenómenos como previos y otros como dependientes» (p. 105).

La perspectiva que está surgiendo entre los filósofos de la ciencia es que la objetividad de los enunciados científicos se fundamenta en las discusiones y debates que tienen lugar entre diferentes facciones de investigadores, que buscan el consenso acerca de hipótesis, enunciados metodológicos y objetivos de la investigación cien-

tífica. Según Longino (1994), los criterios epistémicos que se usan para fraguar una opinión de consenso o cuestionar otras son establecidos por los miembros de las comunidades en muchos niveles de indagación diferentes. El tamaño y creencias de estas comunidades de investigación cambia a medida que los enunciados científicos se trasladan desde los confines privados de los laboratorios a los pasillos públicos de los congresos, actas y publicaciones supervisadas (*refereed*).

Es atractivo crear ambientes de aprendizaje de ciencias que reflejen las cuatro condiciones de Longino para el establecimiento de consenso. Desde luego, existen implicaciones sociales respecto a cómo interesar a quienes aprenden por las ciencias. Al igual que la profesora de piano de mis hijas, se necesitan estratos de destrezas y conocimientos para la adquisición, desarrollo, comunicación y evaluación de las hipótesis científicas. Sin embargo, el que las y los estudiantes se interesen en juicios acerca de las hipótesis científicas requiere algunos cambios radicales en el diseño de los ambientes de aprendizaje de ciencias.

### LA EVALUACIÓN EN CONTEXTOS EPISTÉMICOS

La perspectiva tradicional del currículo respecto a la enseñanza de las ciencias hace hincapié en el «conocimiento». Una interpretación de las prácticas curriculares tradicionales en enseñanza de las ciencias se puede resumir con la pregunta «¿Qué queremos que nuestros estudiantes sepan y qué necesitan hacer para saberlo?» La perspectiva «manipulativa» (*hands-on*) tal como se practica en la mayoría de las escuelas sigue esta máxima. Lo que las y los estudiantes hacen está supeditado a la consecución de objetivos conceptuales. Se trata de que adquieran el conocimiento de los científicos. Se dedica muy poco o ningún tiempo a: examinar y discutir la naturaleza del problema que está siendo investigado, examinar los supuestos y creencias mantenidas por los investigadores, discutir las estrategias que uno pueda emplear para recoger datos, examinar los datos en bruto y decidir qué medidas se deberían repetir y qué datos emplear en el análisis, examinar los datos seleccionados buscando pautas y debatir cuál de las muchas alternativas sería el mejor modo de elaborar modelos y representar dichos datos, y finalmente considerar cuál de las muchas explicaciones alternativas se ajustará mejor a las pruebas.

Aprender qué sabemos sin aprender a la vez cómo hemos llegado a saberlo y por qué esa vía de conocimiento es mejor que ésta o aquélla elimina cualquier posibilidad de que las y los estudiantes aprecien los procesos sociales, cognitivos, conceptuales y epistémicos que dan a la ciencia su estatus como vía de conocimiento objetivo y racional. Es posible diseñar ambientes de aprendizaje que interesen a los estudiantes en la construcción y evaluación de las transformaciones de las pruebas en explicación. Tener la evaluación como un objetivo curricular requiere modificar las prioridades, incluyendo otras además de los objetivos conceptuales. En otras

palabras, debe darse tiempo a las y los alumnos para que lleguen a comprender los criterios empleados para valorar, por ejemplo, el diseño de experimentos, la elaboración de modelos, la fundamentación de las explicaciones en las pruebas y la fiabilidad de los datos.

En este momento es necesario decir algo acerca del proceso de construcción del conocimiento. El objetivo no es que los estudiantes reproduzcan el corpus científico; por ejemplo, no se pretende que reconstruyan los modelos de sistema solar o los de la célula. El objetivo es más bien involucrarlos en una construcción incipiente —es decir, ciencia en construcción— y en procesos de aprendizaje donde tengan lugar modificaciones, reestructuraciones y a veces abandono de opiniones acerca de los datos seleccionados, pautas y explicaciones de los mismos.

Para que tal «instrucción incipiente» tenga éxito es necesario un compromiso entre la enseñanza y la supervisión de las características epistémicas de la indagación científica —las estructuras semánticas (significado), sintácticas (estructura) y pragmáticas (contextual) del hacer ciencias—. Mis colegas y yo hemos estudiado durante los últimos seis años los rasgos de diseño que debe tener una clase para fomentar la implicación de los estudiantes en las características epistémicas de la indagación científica. Hasta el momento hemos desarrollado tres unidades didácticas, en física, en química y ciencias de la tierra. El objetivo epistémico es respectivamente la explicación causal del empuje en los líquidos, un modelo simbólico y gráfico para las reacciones de neutralización ácido-base y una argumentación científica acerca de la posibilidad de un terremoto o de una erupción volcánica en una determinada localidad.

Por ello, nuestros diseños de ambientes de aprendizaje invierten la pregunta sobre los objetivos del currículo de ciencias y preguntan: «¿Qué queremos saber para hacerlo?» En teoría, la modificación es simple. En el aula, sin embargo, la modificación es compleja. Se necesitan dinámicas curriculares, instruccionales y evaluativas muy diferentes para apoyar y motivar los esfuerzos de los estudiantes cuando la acción deviene en construcción de modelos, explicaciones, experimentos y argumentaciones:

- 1) Es necesario difuminar los límites entre currículo, instrucción y evaluación. Se debe permitir que el profesor modifique el camino por el que discurre el currículo y la instrucción, a la vista de los juicios hechos sobre las evaluaciones acerca de la comprensión de las y los alumnos, sus destrezas, ideas y hábitos mentales, por citar sólo unos cuantos.
- 2) El ambiente de aprendizaje debe estimular y cultivar la comunicación de información científica por parte de los aprendices.
- 3) Se necesita que exista un conjunto de criterios y objetivos que dirijan la evaluación de enunciados científicos, en particular, criterios y objetivos epistémicos.

4) El papel fundamental del profesor sería coordinar la retroalimentación en los productos, representaciones e ideas de los estudiantes, convirtiéndose en un provocador o un abogado del diablo si se prefiere. Es muy importante atender y aprender a atender las necesidades de los estudiantes de diferentes formas.

5) Los estudiantes tienen que ser responsables de la calidad de los productos e ideas que presentan. Por tanto, es importante que tengan acceso a sus ideas y trabajos previos, tanto los suyos como los de los demás compañeros de clase o comunidad de aprendices<sup>4</sup>. Y también es importante dar oportunidad para que revisen y rehagan sus tareas.

### CAMBIAR EL CENTRO DE LA INSTRUCCIÓN: LECCIONES APRENDIDAS

El diseño de ambientes de aprendizaje que fomenten tanto la argumentación como la evaluación requiere que se modifiquen otros elementos del currículo. ¿Qué hemos aprendido hasta el momento acerca del diseño de tales ambientes? En primer lugar, es necesario limitar el número de conceptos centrales que se tratan. Hemos encontrado que mantener un número reducido de conceptos (veinte en nuestras unidades) facilita la creatividad y el tratamiento en profundidad de la información e ideas científicas. En segundo lugar, se debe dar tiempo a las y los estudiantes durante la instrucción para asesorar (retroalimentación) acerca de lo que están haciendo y cómo lo hacen. En tercer lugar, proporcionar retroalimentación indica que se da a las y los alumnos oportunidades para revisar, volver a trabajar sobre lo ya hecho y presentar nuevamente productos e ideas. Se debe señalar que los que elaboran los currículos (e incluyo a los profesores y profesoras como participantes en esta em-

presa) necesitan tener en cuenta vías para revisarlos y modificarlos, previendo y situando en la unidad didáctica actividades de evaluación del diseño –podemos denominarlas actuaciones epistémicas.

¿Qué guión debemos, pues, seguir al elaborar currículos que tengan en cuenta las actuaciones epistémicas de profesores y estudiantes? He aquí algunas ideas. Permítaseme emplear otra analogía, del campo de las artes –la escritura de novelas y obras de teatro–. Las buenas novelas y dramas tienen múltiples tramas y mensajes, unos explícitos y otros implícitos. Por ejemplo, en *Don Quijote de la Mancha*, Cervantes emplea molinos de viento para sugerir la luchas humanas; *Las brujas de Salem* de Arthur Miller es una alegoría de la caza de brujas que se llevó a cabo en EEUU en la época de McCarthy; Beckett examinó las profundidades del espíritu humano en *Esperando a Godot*. Un elemento común a estas obras es que todas ellas tienen lugar en un contexto familiar, a fin de comunicar complejos mensajes morales, éticos y sociales. En las canciones y los dramas se encuentran otros mensajes subliminales que implican al espectador en la obra mientras dura. Lo que quiero es recomendar que se escriban unidades didácticas como si fuesen obras de teatro.

El programa de reforma en la enseñanza de las ciencias es para mí, sobre todo un problema curricular. Estudiantes y profesores necesitan seguir guiones y explorar mensajes para poder establecer las condiciones que favorezcan un aprendizaje significativo y conformen las actividades de consenso que caracterizan hacer ciencia. Al igual que en una obra, habría una estructura en el currículo –unas veces cerrada y otras abierta a la improvisación–. Habría actos, escenas, apuntador, papeles y frases para que los estudiantes y los profesores construyan, aprendan y actúen. Algunos de los mensajes serían explícitos y obvios, mientras que otros requerirían el análisis y la reflexión para ser comprendidos. La trama

Tabla I

Problema/ Contexto	Contexto conceptual	Contexto epistémico
Diseñar el casco de un barco, que permita la máxima capacidad de carga.	Empuje, flotación, presión del agua.	Explicación causal de la flotación y para el diseño del barco.
Identificar ácidos y bases desconocidos, desarrollar una estrategia para deshacerse de ellos sin peligro.	Neutralización, fuerza, concentración.	Modelos y modelización de ácidos, bases y neutralización
Probabilidad de un terremoto o erupción volcánica en una cierta región.	Tectónica de placas, estratigrafía, edad y tipo de rocas.	Argumento.

(o tramas) y sus interpretaciones tendrían que despertar interés para que la audiencia se enganchase a la obra hasta que caiga el telón. Discutamos ahora acerca de qué características de las unidades de ciencias hacen que las y los estudiantes sientan interés en las actuaciones epistémicas<sup>5</sup>.

### Actuaciones epistémicas que resultan atractivas

La indagación científica es fundamentalmente un proceso iterativo de movimiento adelante y atrás entre pruebas y explicación hasta que la comunidad alcanza una opinión de consenso<sup>6</sup>. En general, las unidades SEPIA (Science Education through Portfolio Instruction and Assessment) están secuenciadas y estructuradas para proporcionar experiencias a los estudiantes que, en primer lugar, resuelvan problemas empíricos (p.e., ¿Dónde se encuentran rocas ígneas en Pennsylvania?) y, en segundo lugar, revisen problemas conceptuales (p.e., ¿La ciudad de Pittsburgh está situada cerca del borde de alguna placa tectónica?)<sup>7</sup>. En las unidades SEPIA, el discurso de pruebas a explicaciones involucra a los estudiantes en:

1) decisiones y discusiones acerca de los datos obtenidos y cuáles serán utilizados (datos seleccionados), y aquellos que se excluirán;

2) decisiones acerca de los conceptos directores y técnicas que se usarán para encontrar e identificar pautas en los datos seleccionados;

3) debates y discusiones acerca del conjunto de enunciados explicativos potenciales y viables que dan cuenta de las pautas que aparecen en los datos seleccionados.

En cada uno de estos tres pasos son posibles decisiones, argumentos y debates que establezcan la objetividad de los enunciados teóricos. Cada paso es una oportunidad de «actuación epistémica». Hay que subrayar que el grado de duda legítima que se puede conceder a un enunciado teórico no está determinado únicamente por el resultado de una indagación o la conclusión de una investigación. Igual que en la evaluación de un argumento, donde se atacan las premisas y no la conclusión, el proceso de establecimiento de consenso –revisión y crítica de los asertos científicos– evaluaría las premisas del proceso de indagación mediante los tres pasos siguientes:

1) Desde los datos en bruto a los datos seleccionados. Del total de los datos, ¿cuáles se seleccionan para incluir en análisis subsiguientes y cuáles se considera que están fuera de los límites de validez, son artefactos o son datos anómalos? ¿Por qué razones? También se someten a debate estrategias alternativas para obtener datos en bruto.

2) De los datos seleccionados a las pautas o modelos de datos. Dada la muestra de datos seleccionados, ¿cuáles son los modelos, leyes empíricas, pautas o tendencias a las que se ajustan los datos?

3) De las pautas o modelos de datos hasta las explicaciones. Dadas las pautas y modelos, ¿cuáles son las explicaciones plausibles que dan cuenta de aquéllas? ¿Son consistentes estas explicaciones con las creencias establecidas?

Cada una de estas transiciones o transformaciones representa un discurso distinto y una oportunidad para la evaluación. Se da la oportunidad a las y los alumnos para desarrollar instrumentos, criterios, estándares y reglas que puedan utilizar para investigar, revisar y valorar las hipótesis. Las y los profesores tienen oportunidades para aportar retroalimentación a los estudiantes en el uso de los instrumentos, criterios, estándares y reglas.

Anderson, Kurth y Palincsar (1996) proponen un instrumento de diseño similar, que denominan esquema TOPE (Técnicas, Observaciones, Pautas, Explicaciones). Opinan que: [TOPE] pretende mejorar la destreza del profesor al ayudar tanto a planificar la construcción de espacios ricos en problemas como a reconocer el potencial científico del lenguaje y de las acciones de los alumnos. De forma breve, el esquema TOPE sugiere que, en la construcción de espacios de problemas, los profesores y estudiantes deben tener en cuenta al menos cuatro prácticas científicas interrelacionadas:

– Técnicas: Las y los estudiantes tratan de hacer observaciones fiables y precisas, llevar a cabo experimentos o hacer que ocurran cosas.

– Observaciones: Los estudiantes registran, comparan y comunican –tanto de forma oral como por escrito– acerca de los sistemas y fenómenos que están estudiando.

– Pautas: Las y los estudiantes tratan de establecer reglas o generalizaciones que describan regularidades en lo que han observado.

– Explicaciones: Las y los estudiantes desarrollan argumentos que usan modelos o teorías que dan sentido a las pautas que han observado.

Es posible y deseable explorar las premisas de los contextos epistémicos en cada una de estas tres transformaciones de los datos o fases de TOPE. Los estudiantes pueden preguntar: ¿Qué consideramos? (datos, pruebas, etc.). ¿Qué debemos considerar y qué ignorar? ¿Cómo lo sabemos? ¿Cómo se ajusta esto a lo que ya sabemos o creemos? ¿Cómo podríamos mostrar esto o convencer a los demás? Plantear estas preguntas conforma el proceso de establecimiento de consenso en ciencias y, sucesivamente, la objetividad y racionalidad de los enunciados científicos. Hemos comprobado que el proceso iterativo de dar forma a los enunciados científicos, a la vez que se desarrolla la experiencia y las pruebas, es una actividad que los niños y las niñas pueden hacer bastante bien.

### LECCIONES APRENDIDAS

Es preciso investigar acerca del diseño de ambientes de aprendizaje, prestando particular atención a cómo coor-

dinar las evaluaciones de los contextos epistémicos. El problema consiste en cómo gestionar el aula, pero no en el sentido conductista tradicional. El problema de la gestión del aula concierne a la información y a las ideas. Consideremos el caso de A, una alumna de 7<sup>o</sup> que durante la primera semana de la unidad Ácidos y bases, consultó el tema a través del ordenador de su casa.

### Notas de campo, 5a. sesión (6/5/97)

La clase comenzó con el profesor D sentado sobre una mesa al fondo del aula. Estaba rodeado por cuatro o cinco estudiantes. Todos ellos escuchaban a A, muy entusiasmada, que leía, línea por línea, sección por sección, una serie de notas escritas sobre ácidos y bases, que había obtenido de la enciclopedia en CD-rom «Encarta». A describía la teoría de ácidos y bases de Brønsted y Lowry –los ácidos son donantes de protones mientras que las bases los aceptan–; hablaba continuamente de la teoría británica y la americana. Su pronunciación errónea de palabras como *logaritmo* o *ión* hace pensar que no recibió ayuda de sus padres, ni comentó sus notas con ningún adulto antes de compartirlas con el profesor D. Presentaba una idea «atractiva» tras otra con tal entusiasmo, que hacía pensar que había sido desarrollada en parte por ella misma. R, por ejemplo, estaba realmente entusiasmado y prestaba gran atención a A. Cuando A se acercó a la pizarra para explicar la escala de pH y las potencias de 10, R estaba exultante. El diálogo entre A y el profesor D duró 10 minutos aproximadamente. A afirmaba que iba a determinar cuál de las dos teorías (americana o británica) estaba en lo cierto.

La clase finaliza –el profesor D distribuye el trabajo para hacer en casa y, mientras lo hace, habla acerca de cómo las ideas están en construcción–. Explica el trabajo para casa: buscar cosas en casa que contengan los siguientes ácidos y bases. A examina la lista. Un estudiante pregunta si todos son ácidos. A responde que «no, los dos últimos tienen el ión hidróxido y, por tanto, son bases». Entonces A comenta que la lista es similar a la que encontró en el CD-rom y pregunta: «¿La ha copiado de ahí?»

Sucesos como éste no son extraños durante la puesta en práctica de las unidades de SEPIA. Con frecuencia los estudiantes aportan al resto de la clase conceptos, pruebas, información e ideas. Atribuimos esta característica del ambiente de aprendizaje a la estructura epistémica de la unidad y a la realización de conversaciones de evaluación. Hammer (en prensa), Roth (1995) y Warren, Roseberry y Conant (1992) también han encontrado estudiantes que aportan conocimientos centrales al aula. El mismo día que A aportó su conocimiento de la enciclopedia a la clase, el profesor D llevó a cabo una conversación de evaluación acerca del modelo que los estudiantes habían generado para explicar: a) las propiedades de ácidos y bases observadas usando datos sensoriales, b) qué ocurre si mezclas un ácido con una base. Una copia de esta actividad aparece en el apéndice.

Para preparar las conversaciones de evaluación, el profesor D ordenó y seleccionó siete muestras del trabajo de

estudiantes pertenecientes a dos clases distintas que estaban empleando la unidad de ácidos y bases –sesiones 5 y 7–. Hizo transparencias en color del trabajo del alumnado. Si el estudiante estaba en el aula, hacía que se dirigiese a sus compañeros para explicar su modelo. Nuestros objetivos eran compartir la diversidad de modelos que los alumnos habían hecho explícitos y aportarles retroalimentación acerca de la representación de los modelos que exponían.

Como es usual en estas edades, cuando se les pedía que dibujaran el modelo explicativo, muchos solamente representaban los elementos empleados en la actividad (por ejemplo, rodajas de limón) y no alcanzaban la estructura epistémica. Durante las lecciones se expusieron muchas explicaciones (que aparecen en negrita) que también fueron cuestionadas (aparecen en cursiva). En el apéndice se encuentran ejemplos del trabajo de las y los estudiantes.

### Notas de campo, 5a. sesión (6/5/97)

El primer dibujo que se mostró en la pizarra fue el de Y (7a. sesión). El profesor D pregunta a la clase si los nombres (en los dibujos) pueden ayudar a saber qué trata de decir Ashley. «¿Poner nombres ayuda?» Los estudiantes responden afirmativamente. El profesor D alienta a las y los estudiantes para que comiencen a hacer cambios en sus propios dibujos, utilizando las ideas tomadas del trabajo que está mostrando. Aquí el estudiante hace comentarios sobre una afirmación del dibujo que dice que «el carbono hace arder los ácidos». Nuevamente el profesor D pregunta si poner nombres ayuda. Un estudiante responde: «En realidad no, porque cualquiera puede pensar en el carbono como una base.» El profesor D presenta esto como una teoría acerca de los ácidos. Sentado cerca de A puedo ver que está muy interesada en esta idea alternativa a su explicación de la enciclopedia. El profesor D habla acerca del dibujo, señalando los símbolos y claves empleados para representar carbono y grasa. Y establece que la mezcla de un ácido con una base forma una sal. Se oye decir a A: «Es cierto.»

El siguiente dibujo que se pone en la pizarra es el de A. Ésta es la primera representación abstracta. Los comentarios que el profesor D hizo al comienzo de la clase sugerían que previamente había decidido el orden en que quería mostrar los dibujos. La frustración de A del día anterior se transforma ahora en un cierto entusiasmo. Comienza a describir su dibujo «estos pinchos son...», trata de encontrar la palabra adecuada, que finalmente propone un compañero: «picante». El profesor D refuerza el uso de un dibujo para captar las sensaciones que el ácido deja en la lengua (el día anterior hubo cierta discusión acerca de gusto-sabor y gusto textura). A comienza a describir los «agujeros» que dibujó en la superficie de las partículas de ácido y trata de emplear algo de su conocimiento de la enciclopedia. Aparece el término *molécula* y la manera en que emplea el término *hidrógeno* sugiere que no comprende la conexión entre ambas palabras.

Comienza a describir su dibujo de la base, un rectángulo plano para representar *amargo*. Se oye decir que es el ladrillo que sirve de «cimiento para todo el edificio». Entonces ella describe cómo el dibujo de ácido y base conjuntamente, etiquetado con la palabra *neutro*, es una composición de los dos dibujos, las líneas onduladas son como el agua que tiene «7,0 de pH, un poquito de ácido y un poquito de base». (Ésta es la primera de las muchas referencias a la mezcla de ácidos con bases, que afirman que las propiedades de cada uno se conservan —la idea de que las propiedades físicas se conservan es un tema importante de esta lección).

El siguiente dibujo corresponde a *L* (7a. sesión). Ella aporta descripciones de su dibujo de los ácidos y bases. Su teoría es «el carbono está compuesto de oxígeno y carbono y, cuando se combinan sufre un cambio químico debido a la combustión. El dióxido de carbono pica en la lengua y hace que se queme. Las bases no tienen dióxido de carbono, lo que hace que no surjan burbujas ni pique». *A* está aún fascinada por otra idea alternativa. El profesor *D* enlaza esto con una lección previa y hace énfasis en la idea del cambio químico. *L* también muestra ácidos y bases mezclados para formar sales. (El profesor *D* estuvo ausente el lunes y el sustituto dejó ir a algunos alumnos a la biblioteca para obtener información sobre ácidos y bases (una de las informaciones presentada era ácido + base = sal). Se puede oír a una estudiante preguntando si la sal es NaCl, *A* le dice que Na es el ácido y Cl es la base debido a que son + y -.

En la siguiente clase se muestra el dibujo de *B* (7a. sesión). Otra nueva teoría: «los vapores son la causa de la acidez, el picor procede de las burbujas de aire. La presión atmosférica empuja en la base para hacerlo delgado y el líquido hace que se note húmedo». Emplea etiquetas. No hay demasiada discusión.

Le toca el turno al dibujo de *P* —que no está—. Este dibujo es el primero que emplea colores y formas para representar las propiedades de los ácidos y las bases. El profesor *D* pregunta a la clase: «¿Qué veis?» «Brillante y agrio.» (Términos procedentes del banco de palabras). «La base es insípida.» «Utiliza bordes puntiagudos.» «Silbante —produce silbidos.» Jeff ilumina algunas marcas del dibujo que no están suficientemente visibles para ayudar a ver que las cosas amarillas con protuberancias se mueven. La idea de *energía* (parecen rayos luminosos) es aportada por *A*, al tratar de comprender este dibujo con su propio conocimiento. Se le oye decir: «energía para dar y tomar.» Lo más importante del dibujo es cómo *P* ha tomado algunas de las características de los ácidos y algunas de las características de las bases para dibujarlos juntos. Un estudiante dice que «en realidad no se combinan completamente». *A* dice «que es parte de la teoría inglesa». Otro estudiante establece una analogía con las galletas: «Es como cuando se hacen galletas; no se pueden ver todos los componentes (harina y bicarbonato<sup>8</sup>), pero sí algunos (tropezones de chocolate)». Los estudiantes imaginan ahora todo tipo de ideas, revoltijo de ideas «parte disolución, parte mezcla».

Una característica interesante de esta lección fueron las respuestas entusiasmadas de las y los estudiantes hacia las representaciones abstractas de *P*. Teniendo en cuenta que la mayoría de los modelos de neutralización que habían expuesto se podrían clasificar como representaciones concretas de los objetos empleados (por ejemplo, rodajas de limón, lenguas, frascos de leche), fue una verdadera sorpresa que los dibujos abstractos les interesaran tanto. Tuvo lugar una actuación epistémica, a la vez que se trataban muchos contextos epistémicos.

El proyecto SEPIA está aprendiendo a desarrollar un modelo de currículo, instrucción y evaluación que hace énfasis principalmente en los objetivos epistémico, de representación y cognitivo del aprendizaje de las ciencias. Después de seis años, los profesores, investigadores y asesores que trabajan en el proyecto SEPIA creemos que esta perspectiva se deriva de cinco características fundamentales:

- El problema que se investiga es una cuestión o problema auténtico que afecta de algún modo a las vidas de los niños y niñas.
- Se limita el número de objetivos conceptuales para facilitar la comprensión y la adopción de criterios que evalúen la precisión y objetividad de los enunciados teóricos.
- La evaluación de la comprensión e ideas de los estudiantes procede de tareas que, debido a su diseño, producen una diversidad de resultados y, por tanto, promueven la necesidad de buscar el consenso.
- Tanto los criterios para la evaluación de los productos y actuaciones de los estudiantes como los productos y actuaciones mismos se comparten públicamente, empleando una estrategia directa de enseñanza denominada «conversación de evaluación».
- Se evalúa y comunica la profundidad de comprensión de cada estudiante utilizando una cultura de portafolio.

Estos cinco principios en conjunto contribuyen al diseño de un ambiente de aprendizaje que fomenta la ciencia como indagación y hace que los estudiantes mejoren su comprensión acerca de la indagación científica. La tabla II presenta más información acerca de cada una de las cinco características. Además de las características de las unidades, la estructura de objetivos de las mismas es también múltiple. En cualquiera de las unidades didácticas hay objetivos epistémicos, conceptuales y de comunicación (Tabla II).

La combinación de las cinco características y los tres objetivos de una unidad SEPIA es un problema complejo para ser manejado por los profesores (Duschl y Gitomer, 1997). La conversación de evaluación acerca de los diferentes modelos producidos por los estudiantes aportó al discurso no solamente representaciones imaginativas del fenómeno de neutralización, sino también diversas fuentes de datos. A partir del discurso del aula es posible establecer distintas categorías para las fuentes

Tabla II

Característica	Descripción de la característica
Problema auténtico	Contexto del problema relevante para las y los estudiantes (Tabla I). El uso de los datos, su representación y formato son como los usados por los científicos.
Limitación de los objetivos conceptuales	Limitar y concentrar el número de conceptos permite subrayar las relaciones entre los conceptos más importantes, explorar las diversas representaciones y significados que los estudiantes dan a las relaciones conceptuales y explorar la aplicación y límites de tales relaciones como pruebas en el razonamiento científico. El principio general es incluir los conceptos que serán utilizados en la unidad.
Diversidad del trabajo de los estudiantes	El diseño de actividades específicas fomenta la diversidad en los resultados, ideas o productos de los estudiantes. La diversidad de respuestas hace posible seleccionar muestras que fomenten conversaciones, debates y argumentos en relación con los objetivos de la unidad. Llamamos al proceso «conversaciones de evaluación», puesto que aportan retroalimentación a los estudiantes y desarrollan opiniones de consenso acerca del siguiente paso a dar.
Conversación de evaluación	Fomenta y coordina la comprensión y reflexión acerca de la construcción de significados y el razonamiento. Comprende tres fases: 1. Recepción de la información: puesta en práctica de una actividad que produce diversos resultados y concluye con la exhibición pública de la diversidad. 2. Reconocimiento de la información: el profesor examina y valora la diversidad con respecto a los objetivos de la unidad. 3. Uso de la información: se pide a los alumnos que expongan qué han aprendido, para evaluar los esfuerzos previos o para diseñar investigaciones con el fin de avanzar el dominio presente de indagación.
Comunicación y evaluación utilizando procesos basados en carpetas (portafolios)	Los estudiantes utilizan los contenidos de sus carpetas para completar las actividades y tareas siguientes. Denominamos elemento de carpeta a las actividades específicas. La extracción o consolidación de información en la carpeta, para establecer o defender su postura, es el uso de la carpeta que puede ocurrir en el transcurso de una unidad y ocurre de forma natural al final de cada una.

de datos: carpeta, lección previa, datos obtenidos de la investigación, datos obtenidos fuera del aula, opinión personal. Rastreando los datos encontrados en el discurso de los estudiantes es posible hacer preguntas como:

- ¿Cuál es la frecuencia de uso para cada categoría?
- ¿Qué tendencias aparecen durante la unidad en la frecuencia de uso?
- ¿Qué factores de los ambientes de aprendizaje fomentan ejemplos de las categorías carpeta, lección previa y datos obtenidos de la investigación en las conversaciones de evaluación?

Estamos encontrando que durante la puesta en práctica de las unidades SEPIA comienzan a aparecer estructuras temáticas muy diferentes. Por ejemplo, el diálogo triádi-

co tradicional es sustituido por la argumentación de los estudiantes, y la fuente de autoridad respecto a los enunciados teóricos se traslada del profesor a las pruebas y experiencias de los estudiantes. La comprensión del carácter de las estructuras temáticas que emergen de las actuaciones epistémicas es un área de investigación, que merece mucha más atención.

Además del análisis de las pruebas que los estudiantes aportan al discurso de la clase, estamos analizando la estructura del discurso en términos de los argumentos que los estudiantes emplean. Siguiendo a Pontecorvo y Girardet (1993), estamos observando las operaciones epistémicas que ponen en práctica. Estamos estudiando estructuras lógicas tanto formales como no formales. Un nuevo y dinámico campo de indagación es el de la teoría de la argumentación (van Eemeren et al., 1996). Se está encontrando que los individuos emplean una amplia

variedad de esquemas de argumentación dentro de contextos de discurso práctico. Walton (1996) informa de las características de veinticinco esquemas argumentativos diferentes, que pueden tener lugar en situaciones «donde no existe acceso a las pruebas que podrían resolver definitivamente una cuestión» (p. 38). Tales esquemas de argumentación en el discurso contribuyen al razonamiento hipotético. Walton define *hipótesis* como un «concepto práctico que permite continuar con la discusión o acción sobre bases racionales aunque provisionales» (p. 38). De los veinticinco esquemas argumentativos, hemos encontrado ocho de particular interés para el examen del discurso en las clases de ciencias, argumentos a partir de: indicios, el compromiso, la opinión de un experto, los datos que sustentan la hipótesis, la correlación con una causa, causa a efecto, consecuencias, analogías. Aún no tenemos resultados, sin embargo las preguntas que guían nuestra investigación incluyen:

– ¿Qué combinaciones o pautas de las pruebas y datos seleccionados emergen de las conversaciones de evaluación?

– ¿Cómo afectan las tendencias en los datos a las pautas discursivas y esquemas de argumentación?

– ¿Cuál es la frecuencia de uso de cada esquema de argumentación en las conversaciones de evaluación?

– ¿Qué tendencias existen en la frecuencia de uso de cada esquema de argumentación durante la puesta en práctica de la unidad?

## CONCLUSIÓN

La elaboración de teorías es una tarea central en la construcción de la ciencia. También lo es la evaluación de las teorías. Algunos estudios de historia, filosofía y sociología de las ciencias sugieren que la elaboración de teorías es en la práctica un proceso de revisión continua. Decir que las teorías no están determinadas por los datos indica que uno de los componentes principales del razonamiento epistémico es de naturaleza hipotética. Por tanto, el ambiente intelectual de las comunidades científicas (sean éstas de científicos o de estudiantes de ciencias, de hecho, es una cuestión abierta cuándo los primeros dejan de ser estudiantes) conformará los procesos de establecimiento de consenso y establecerá las reglas y pautas de la comunidad indagadora. El desfile de enunciados científicos desde las comunidades privadas hacia las públicas involucra un conjunto de comunidades epistémicas, unas dentro de otras, como las muñecas rusas. Tomando prestada de la filosofía de la biología la interpretación de emergencia, las características y reglas de una organización (por ejemplo, un organismo) no pueden preceder ni justificar las características y reglas de un nivel de organización superior (por ejemplo, una población). Por tanto, las afirmaciones de la psicología cognitiva (Gopnick, 1996; Carey, 1985) y de los filóso-

fos (Schwitzgebel, en prensa), acerca de que los niños son constructores de teorías, merecen ser consideradas con atención. Los enunciados acerca de las reglas de elaboración de teorías o criterios para las explicaciones en un cierto nivel no deberían dictar totalmente la estructura de las reglas, criterios o enunciados en otro nivel. Se debe recordar, sin embargo, que siempre existen objetivos y un ambiente intelectual (social y tecnológico) en el que están inmersos los que construyen teorías, sean niños o científicos adultos. Análisis más rigurosos del discurso que tiene lugar en las comunidades epistémicas podrían contribuir, creo, a una comprensión más rica de las diversas formas en que los profesores pueden dar retroalimentación a las y los estudiantes durante los procesos de establecimiento de consenso que ocurren de manera natural en el proceso de transformación de las pruebas en explicaciones.

El reto que deben afrontar los profesores para enseñar ciencias como indagación es fundamentalmente el de gestionar las ideas y la información que generan las y los estudiantes. Tiene especial importancia para esto la necesidad de coordinar la retroalimentación que se facilita a los estudiantes. Como reconocimiento a la importancia de la retroalimentación, nuestra teoría acerca de los currículos de ciencias se fundamenta en procesos de evaluación mediante carpetas. La ventaja de estos procesos de evaluación mediante carpeta es que hace posible dirigir y coordinar un complejo conjunto de objetivos en un período de tiempo extenso. Nuestra investigación ha encontrado que la puesta en práctica de ambientes de aprendizaje de ciencias basados en carpetas requiere la atención de los profesores hacia tres dominios de retroalimentación:

a) retroalimentación en estructuras conceptuales y epistémicas;

b) retroalimentación en prácticas cognitivas y metacognitivas;

c) retroalimentación en estrategias de comunicación y representación.

La secuencia cuidadosa de las tareas, junto con las conversaciones de evaluación, facilita la comprensión de los estudiantes del propósito de las actividades y tareas, de los criterios de evaluación usados para juzgarlas y de los enlaces o relaciones que se han buscado entre las actividades y tareas. El proceso basado en carpetas y los principios de diseño de SEPIA hacen posible involucrar y dar retroalimentación tanto sobre las actividades cognitivas como sobre las metacognitivas, que caracterizan a la ciencia como una vía de conocimiento objetivo. La integración de currículo, instrucción y evaluación se basa en el compromiso de que hacer ciencia requiere desarrollar una comprensión de las pautas y criterios empleados para juzgar y evaluar las hipótesis y los procesos de investigación. Las conversaciones en el aula, las exposiciones, los debates y las discusiones se concentran en la coherencia entre pruebas y explicación, experiencia y teoría. El contenido es más un contexto y menos un objetivo.

## NOTAS

<sup>1</sup> Véase el capítulo 5º de van Eemeren, Grootendorst y Henkemans (1996), para una interpretación moderna del modelo de Toulmin para la argumentación, así como para una observación de la influencia que ha tenido en el desarrollo contemporáneo de la teoría de la argumentación.

<sup>2</sup> Aquí empleo el término enunciado en un sentido muy amplio, para referirme no sólo a los enunciados de los científicos sobre el conocimiento, sino también a los métodos y a los objetivos presentados.

<sup>3</sup> El esquema de indagación es un proceso en cinco fases desarrollado por el Pattern of Enquiry Project. El proceso fue desarrollado con el propósito de guiar las revisiones de los informes científicos que aparecen en revistas o actas. Por tanto, se hace énfasis en el análisis de la investigación científica y en los informes de investigación. Las cinco fases (seguidas de un ejemplo en cursiva) son:

- 1) Identificar los conceptos clave (*La luz se propaga en línea recta*).
- 2) Enunciar el problema a indagar (*¿Por qué se forman las sombras?*).
- 3) Examinar los datos de partida (*Medida de líneas y ángulos, datos de la sombra*).
- 4) Examinar la interpretación de los datos, (*Las sombras se forman tal como se predijo*).
- 5) Evaluar los resultados de la indagación (*Suponer que la luz se propaga en línea recta explica adecuadamente por qué se producen las sombras*).

Los autores subrayan la importancia de emplear los conceptos directores para examinar los datos y su interpretación y para evaluar los resultados de la indagación.

<sup>4</sup> La llegada de las comunicaciones a través de Internet hace posible ahora que los estudiantes examinen el mismo problema o cuestión, para interesarles en compartir ideas y productos dentro de y con otras aulas.

<sup>5</sup> El uso de guiones aquí no pretende incluir sólo los guiones de procesamiento de información que se obtienen del análisis de tareas cognitivas en contextos disciplinares específicos. Sin embargo, tal investigación informa sobre el diseño de ambientes de aprendizaje y, por tanto, sobre la elaboración de guiones a seguir. Una consecuencia natural de llevar los guiones al aula es su modificación, debido a la improvisación.

<sup>6</sup> Para que exista una opinión de consenso no es necesario que estén de acuerdo la totalidad de los miembros de la comunidad. El proceso de consenso es más bien un proceso dinámico en el que, en el mejor de los casos, se consigue reducir el número de hipótesis alternativas. A pesar de que el propósito es reducir el número de opciones, siempre existen alternativas y se cuestionan las hipótesis admitidas en cada comunidad. Este cuestionamiento constante llevó a algunos filósofos de la ciencia a poner en duda la opinión de Kuhn acerca de la ciencia normal y a afirmar que la ciencia está en una constante revolución. Historiadores y filósofos de las ciencias establecen una distinción entre búsqueda y aceptación de teorías. Se puede utilizar una teoría sin necesidad de creer en ella (Whitt, 1989, 1990).

<sup>7</sup> Esta perspectiva de resolución y eliminación de problemas se ha tomado de Laudan (1997) como base para distinguir entre programas de investigación progresivos y degenerativos.

<sup>8</sup> Levadura química (N. de T.)

\* Ponencia presentada en el V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Murcia, 10 a 13 de septiembre de 1997). Ha sido traducida del inglés por Víctor M. Álvarez Pérez.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, C.W., KURTH, L. y PALINSCAR, A.S. (1996). Design principles for collaborative problem solving in science. Paper presented at the meeting of the American Educational Research Association. Nueva York.

CARLSEN, W. (1977). Never ask a question if you don't know the answer: The tension in teaching between modeling scientific argument and maintaining law and order. *Journal of Classroom Interaction*, 32(2).

CAREY, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: Bradford Books/MIT Press.

CONNELLY, F. M., FINEGOLD, M., CLIPSHAM, I. y WAHLSTROM, M.W. (1977). *Scientific enquiry and the teaching of science: Pattern of enquiry project*. Toronto, Ontario: OISE Press.

DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1997). La indagación en las clases prácticas de biología: el uso del microscopio. V Congreso Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias. Murcia.

DUSCHL, R.A. (1994). Research on the history and philosophy of science, en Gabel, D.L. (ed.), *Handbook of research on*

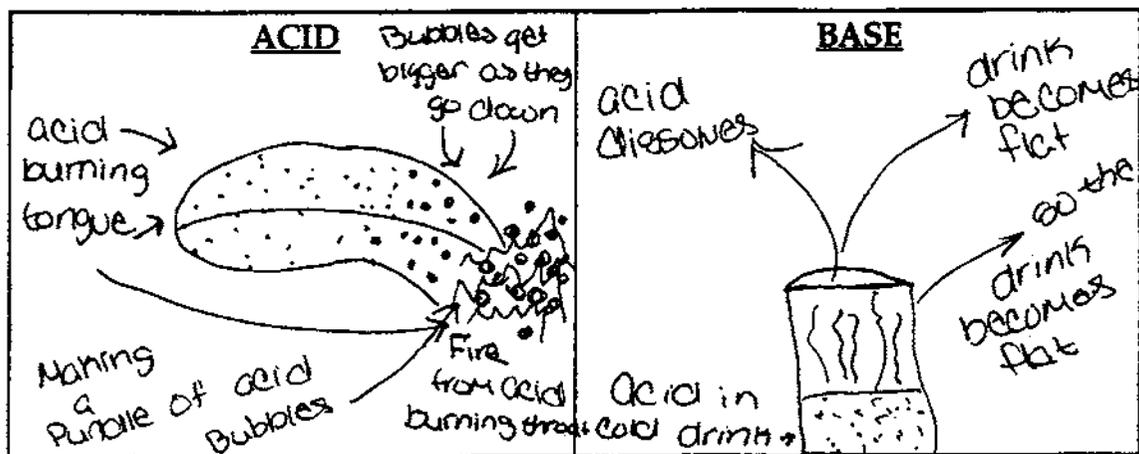
- science teaching and learning* (pp. 443-465). Nueva York: Macmillan Publishing Company.
- DUSCHL, R.A. y GITOMER, D.H. (1997). Strategies and challenges to changing the focus of assessment and instruction in science classrooms. *Educational Assessment*, 4(1), pp. 37-73.
- DUSCHL, R.A. y HAMILTON, R.J. (en prensa). Conceptual change in science and the learning of science, en Fraser, B. y Tobin, K. (eds.), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- EEMEREN, F.H.VAN, GROOTENDORST, R., HENKEMANS, F.S., BLAIR, J.A., JOHNSON, R.H., KRABBE, E.C.W., PLANTIN, C., WALTON, D.N., WILLARD, C.A., WOODS, J. y ZAREFSKY, D. (1996). *Fundamentals of argumentation theory. A handbook of historical backgrounds and contemporary developments*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- EICHINGER, D.C., ANDERSON, C.W., PALINCSAR, A.S. y DAVID, Y.M. (1991). An illustration of the roles of content knowledge, scientific argument, and social norms in collaborative problem solving. Paper presented at the meeting of the American Educational Research Association, Chicago: IL.
- FENSHAM, P.J. (1988) (ed.) *Development and Dilemmas in Science Education*. Londres: Falmer Press.
- GOPNIK, A. (1996). The scientist as child. *Philosophy of Science*, 63(4), pp. 485-514.
- HAMMER, D. (en prensa). Discovery learning and discovery teaching. *Cognition and Instruction*.
- HULL, D. (1988). *Science as a process*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P., BUGALLO-RODRÍGUEZ, A. y DUSCHL, R.A. (1997). Argument in high school genetics. Paper presented at the meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Chicago: IL.
- KITCHER, P. (1993). *The advancement of science*. Oxford: Oxford University Press.
- LONGINO, H. (1990). *Science as social knowledge*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- LONGINO, H. (1994). The fate of knowledge in social theories of science, en Schmitt, F.F. (ed.). *Socializing epistemology: The social dimensions of knowledge* (pp. 135-158). Lanham, MD: Rowan and Littlefield.
- PONTECORVO, C. y GIRARDET, H. (1993). Arguing and reasoning in understanding historical topics. *Cognition and Instruction*, 11 (3 y 4), pp. 365-395.
- ROSEBERY, A.S., WARREN, B. y CONANT, F.R., (1992). Appropriating scientific discourse: Findings from language minority classrooms. *Journal of the Learning Sciences*, 2, pp. 61-94.
- ROTH, W.M. (1995). Inventors, copycats, and everyone else. The emergence of shared resources and practices as deigning aspects of classroom communities. *Science Education*, 79(5), pp. 475-502.
- RUSSELL, T. (1981). What history of science, how much, and why? *Science Education*, 65(1), pp. 51-64.
- SCHWITZGEBEL, E. (en prensa). Children's theories and the drive to explain. *Science and Education*.
- TOULMIN, S.E. (1958). *The Uses of Argument*. Cambridge: University Press.
- WALTON, D.N. (1996). *Argumentation schemes for presumptive reasoning*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- WOODY, A. (1997). Personal Communication.

APÉNDICE

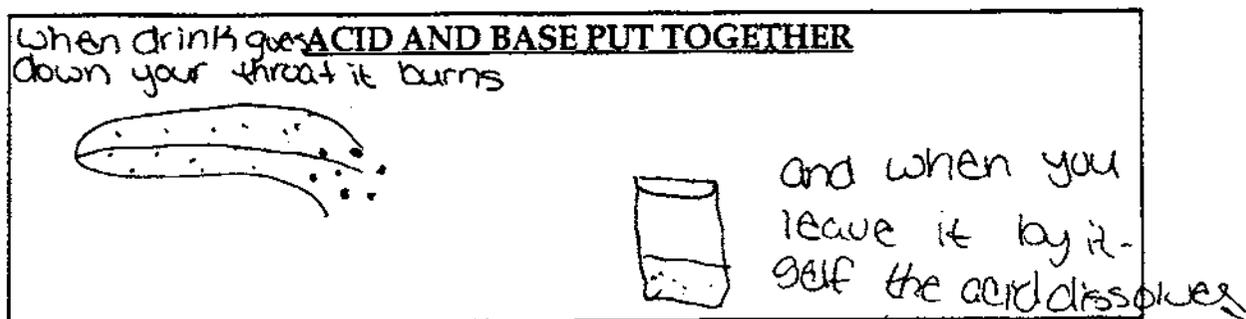
PORTAFOLIO ÍTEM 2C: MODELOS DE ÁCIDOS Y BASES

Y - Haz una serie de dibujos para mostrar un modelo de un ácido y un modelo de una base. Estos modelos son para explicar por qué con nuestros sentidos percibimos los ácidos y las bases de una cierta forma.

Vuelve a P2A para recordar los ácidos y las bases que probaste con tus sentidos.



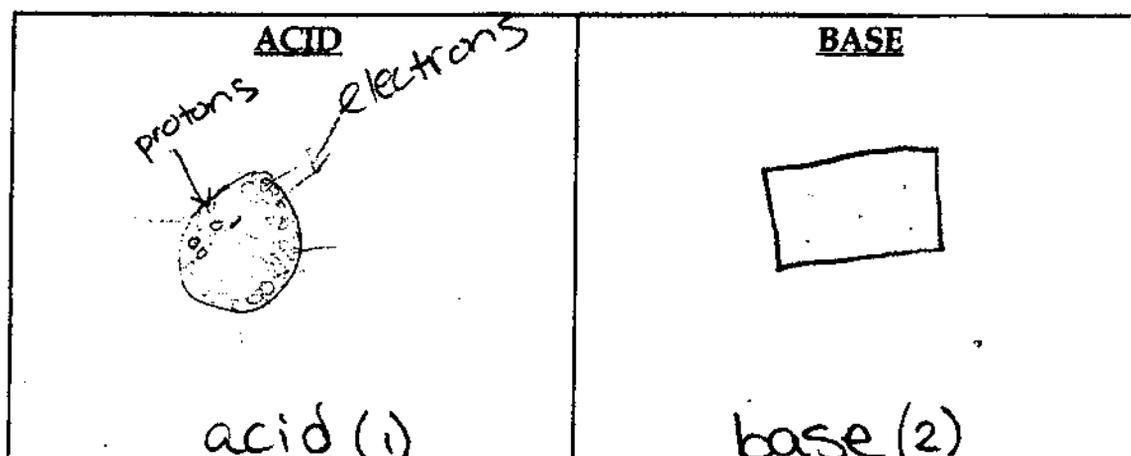
Haz un dibujo que muestre lo que crees que pasaría al poner juntos el ácido y la base.



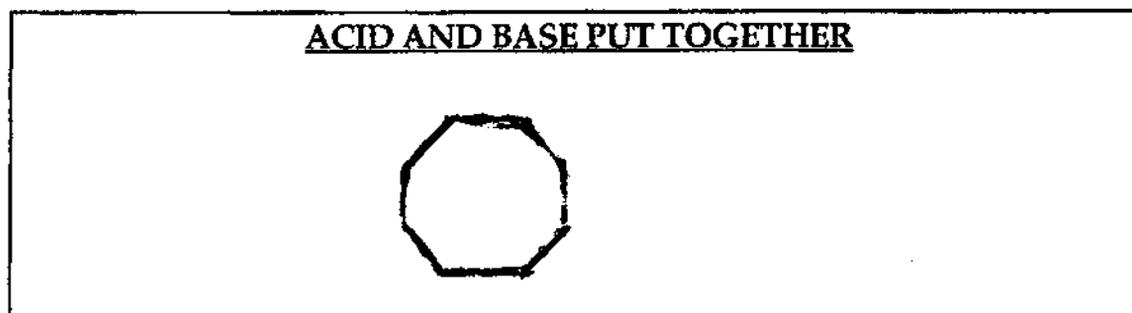
## INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA

A - Haz una serie de dibujos para mostrar un modelo de un ácido y un modelo de una base. Estos modelos son para explicar por qué con nuestros sentidos percibimos los ácidos y las bases de una cierta forma.

Vuelve a P2A para recordar los ácidos y las bases que probaste con tus sentidos.



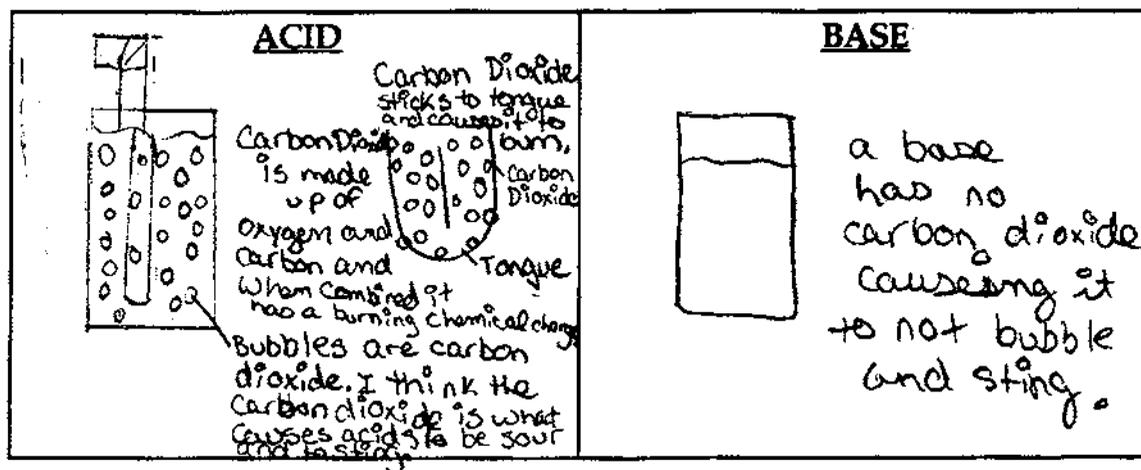
Haz un dibujo que muestre lo que crees que pasaría al poner juntos el ácido y la base.



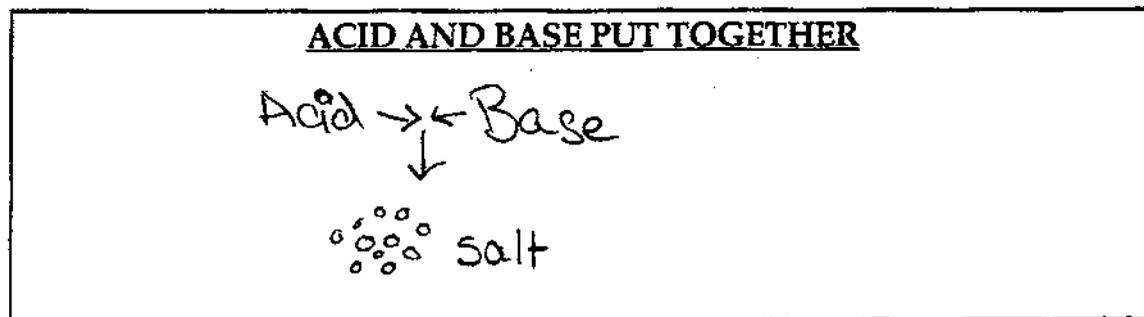
## INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA

L - Haz una serie de dibujos para mostrar un modelo de un ácido y un modelo de una base. Estos modelos son para explicar por qué con nuestros sentidos percibimos los ácidos y las bases de una cierta forma.

Vuelve a P2A para recordar los ácidos y las bases que probaste con tus sentidos.



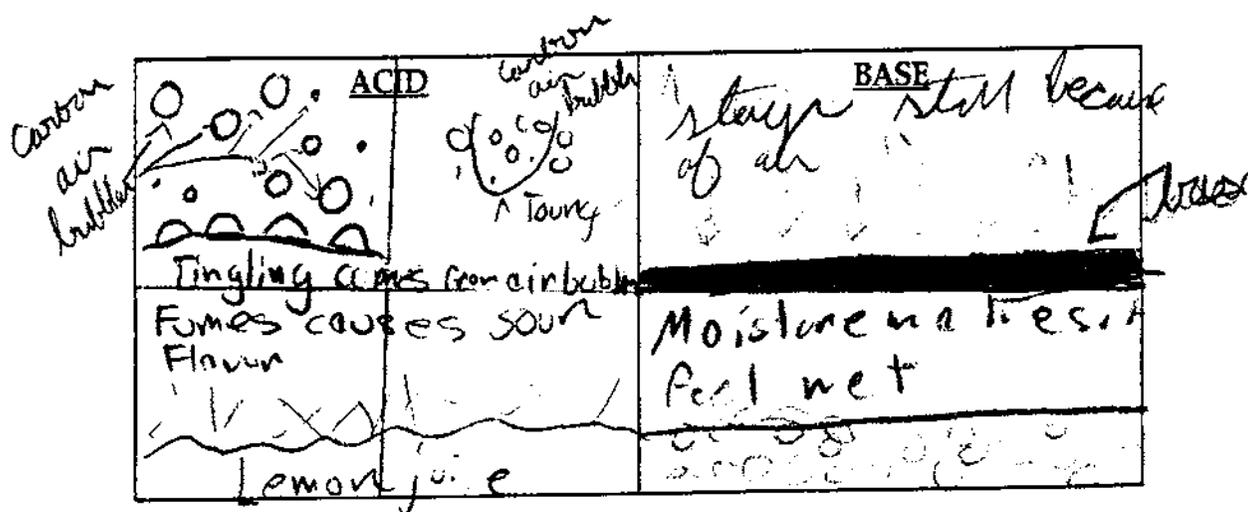
Haz un dibujo que muestre lo que crees que pasaría al poner juntos el ácido y la base.



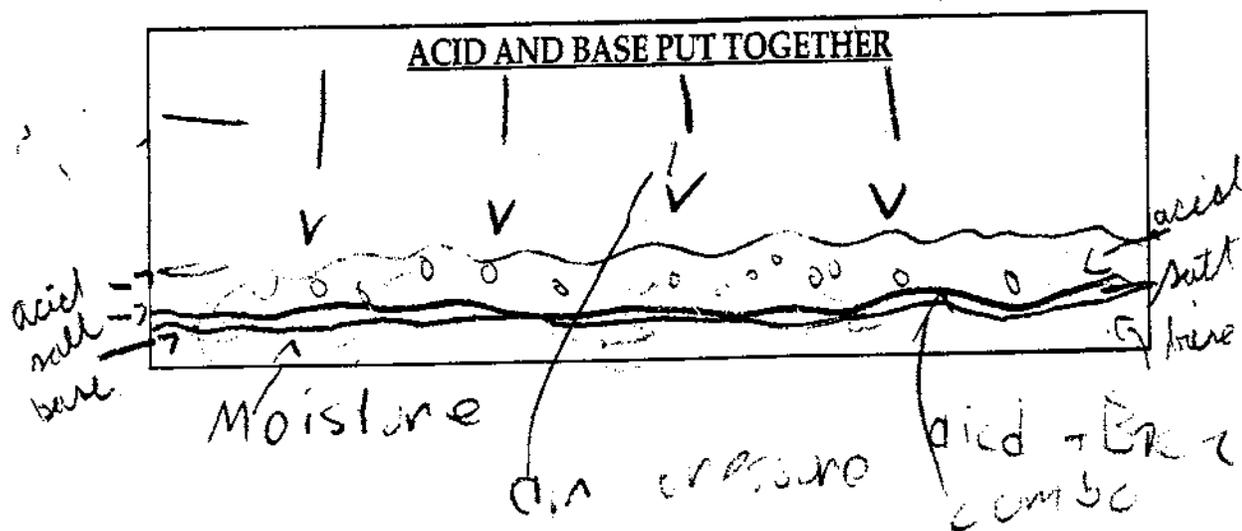
# INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA

B - Haz una serie de dibujos para mostrar un modelo de un ácido y un modelo de una base. Estos modelos son para explicar por qué con nuestros sentidos percibimos los ácidos y las bases de una cierta forma.

Vuelve a P2A para recordar los ácidos y las bases que probaste con tus sentidos.



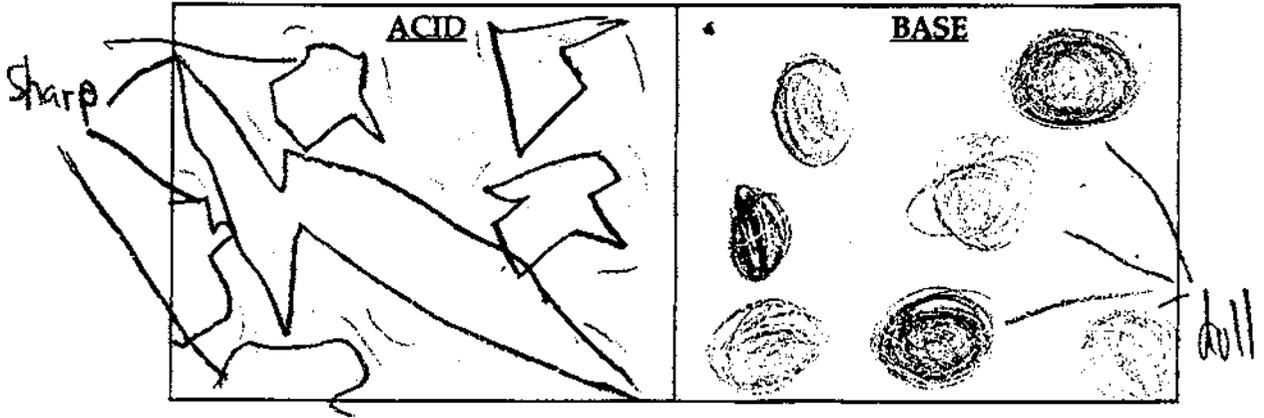
Haz un dibujo que muestre lo que crees que pasaría al poner juntos el ácido y la base.



# INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA

P - Haz una serie de dibujos para mostrar un modelo de un ácido y un modelo de una base. Estos modelos son para explicar por qué con nuestros sentidos percibimos los ácidos y las bases de una cierta forma.

Vuelve a P2A para recordar los ácidos y las bases que probaste con tus sentidos.



Haz un dibujo que muestre lo que crees que pasaría al poner juntos el ácido y la base.

