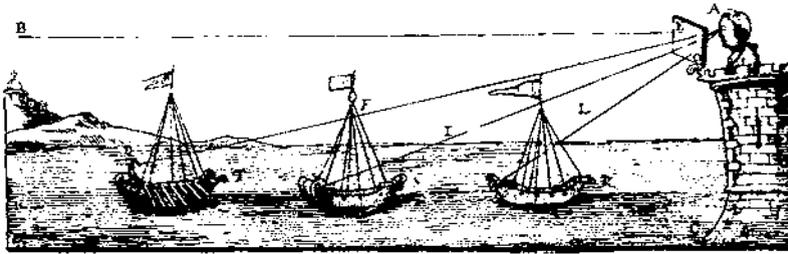


INVESTIGACION



Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

RESOLUCION DE PROBLEMAS DE QUIMICA Y ESTRUCTURA COGNOSCITIVA

KEMPA, R.F.

University of Keele, U.K. / Managing Editor of European Journal of Science Education

(Versión castellana de J. Martínez Torregrosa,
Coordinador de Física y Química para la Reforma de las EEMM en la Comunidad Valenciana)

SUMMARY

This paper introduces a research about the causes of students incapability to solve successfully questions typical from chemistry testing.

The relationship between cognitive maps of good and poor solvers and their answers is studied. The results obtained when studying the influence of the level of information supplied by the declaration of a problem over its level of facility is offered.

INTRODUCCION

Hasta ahora hemos intentado, mediante algunos de nuestros trabajos, investigar en la cuestión de qué produce la incapacidad de los estudiantes para resolver problemas científicos, especialmente aquellos que se en-

cuentran en los exámenes habituales. Nuestro interés en esta cuestión surge de dos consideraciones:

1.— Un desacuerdo básico con la creencia convencional, ampliamente aceptada, de que los pobres resulta-

dos en los exámenes reflejan una baja capacidad intrínseca por parte de los estudiantes, o una forma de trabajo en clase inadecuada (o motivación), o una combinación de factores como estos.

II. — El convencimiento de que es educacionalmente importante y deseable explorar las causas de los bajos rendimientos de los estudiantes, puesto que probablemente nos conducirán hacia acciones e intervenciones con las que podremos reducir o eliminar estos rendimientos de baja calidad.

En el sentido más amplio, nuestro trabajo en esta área puede ser descrito como investigación en «resolución de problemas». No obstante, no es del tipo de la investigación clásica en este campo (por ejemplo Newell y Simon (1972), Greeno (1972) y Scandura (1977)), que investiga, en mayor medida, los aspectos psicológicos del comportamiento en la resolución de problemas, o que explora la efectividad de distintos enfoques didácticos (metodologías de instrucción) como medios de mejorar las destrezas de los estudiantes cuando resuelven problemas. Por el contrario, hemos adoptado un punto de vista más pragmático, tomando como punto de partida para nuestras investigaciones la actuación de los estudiantes en problemas típicos de los exámenes habituales. Esto significa que extendemos la definición de resolución de problemas fuera de los acostumbrados límites de los procesos *productivos*, en los cuales la persona produce —por descubrimiento— una combinación de reglas aprendidas previamente que puede aplicar para obtener una solución a una situación-problema novedosa (Gagné, 1970), a los procesos *reproductivos*, en los cuales el conocimiento es simplemente recordado o aplicado en situaciones-problema no novedosas. El último proceso es, desde luego, el que se presenta fundamentalmente en los exámenes.

Nuestra amplia concepción de la resolución de problemas no es inconsistente con las concepciones de otros numerosos autores, incluyendo algunos de los líderes reconocidos en este campo de investigación. Así, Lindsey y Norman (1977) han manifestado explícitamente que «la persona que está recordando conocimientos parece estar resolviendo un problema». Por otra parte, Greeno (1980) ha defendido la supresión de la distinción entre la reproducción de conocimientos y la resolución de problemas, basándose en lo siguiente:

I. Es ampliamente reconocido que los conocimientos que se pueden recordar juegan un papel importante en toda resolución de problemas.

II. El modo de proceder cuando se recuerdan conocimientos y se realizan tareas que son aparentemente de naturaleza rutinaria, muestra las mismas características esenciales que cuando se resuelven «verdaderos» problemas.

Atkin (1978) también ha sugerido que la resolución de problemas productiva y reproductiva no son de distinta naturaleza, sino que difieren meramente en el nivel

de exigencia a que someten a los procesos cognitivos. Todos estos argumentos aportan una justificación considerable a nuestro enfoque.

UN MARCO TEORICO

Cualquier estudio en un campo tan complejo como la resolución de problemas por humanos (independientemente de la forma en que se conciba esta) no puede ser emprendido de modo significativo sin referencia a alguna fundamentación teórica. La elección de una fundamentación depende en gran medida de los aspectos particulares de la resolución de problemas en que uno esté interesado.

En un sentido amplio, la resolución de problemas puede ser concebida desde tres panorámicas diferentes:

I. Puede concebirse en términos de secuencia de actividades y heurística asociada que se dan en el proceso. Esta concepción deriva directamente de la división original de Dewey (1910) del proceso de resolución en «cinco etapas lógicamente diferentes», que son:

- * Identificación del problema
- * Definición del problema
- * Producción de hipótesis sobre posibles soluciones
- * Desarrollo de estas hipótesis y deducción de sus propiedades
- * Comprobación de las hipótesis.

II. En términos de la interpretación de los psicólogos de la Gestalt, la resolución de problemas puede concebirse como un proceso que supone un período de «incubación» seguido por una repentina «intuición» en la cual la estructura del problema es mentalmente reorganizada. Desde esta perspectiva la resolución de problemas se concibe invariablemente como un proceso «productivo» y se excluyen sus aspectos «reproductivos».

III. La resolución de problemas se concibe en términos de un modelo de procesado de información «entrada-salida» (input/output), donde la «entrada» representa la percepción del problema por parte del sujeto, y la «salida» su respuesta (o solución) a él. La información es procesada por el «cerebro» del sujeto en el sentido más amplio, implicando y requiriendo varias funciones de memoria:

Memoria a corto plazo

Memoria de trabajo

Memoria a largo plazo (sustrato básico de conocimientos)

No es mi deseo entrar en una discusión detallada de los méritos o deméritos de los tres tipos de modelos, sólo subrayar que, en relación con nuestra línea de investigación, los dos primeros tienen poco que ofrecer porque el modelo I, el modelo Deweyano, considera principalmente las condiciones «externas» relativas a la resolución de problemas; mientras que el modelo II,

el modelo Gestaltista, no contempla el tipo de problemas «reproductivos» que se presentan en los exámenes habituales.

El modelo III, el modelo de procesado de información, se nos presenta como la estructura teórica más apropiada para considerar, puesto que se refiere a ello, — al menos por analogía— el estado *interno* del resolvente, por ejemplo, su sistema de conocimientos (incluido en su memoria a largo plazo). Así, decidimos aplicar este modelo para estudiar lo que sucede cuando se contestan cuestiones de exámenes. Por nuestra parte, consideramos que este proceso comprende cinco pasos esenciales:

1. El estudiante lee la cuestión
2. El estudiante interpreta la cuestión en términos de tareas que se solicitan e ideas fundamentales
3. El estudiante selecciona métodos y hechos
4. El estudiante opera con hechos e información
5. El estudiante comprueba y acepta o rechaza la respuesta (o admite el fallo).

El papel de la memoria se aprecia fácilmente cuando se examinan detenidamente cada uno de estos pasos. Por ejemplo, en la Etapa 2, el estudiante tiene que relacionar el contenido de la pregunta con su estructura de conocimientos para comprender la naturaleza del problema y las ideas claves incluidas en la cuestión. La etapa 3 requerirá que el estudiante «recuerde» («recupere», N. del T.) de su sistema de memoria todos los algoritmos o métodos que considere importantes para resolver el problema, así como cualquier información conceptual o sobre hechos, además de la contenida en el enunciado, que sea necesaria para la solución del problema.

Análisis semejantes se pueden hacer con las otras etapas del modelo, y varios intentos relevantes sobre esto han sido publicados. Una revisión de los mismos cae fuera de la intención de este trabajo, pero se puede mencionar que la mayor parte de los autores que han examinado el papel de la memoria en la resolución de problemas, sugieren la existencia de tres funciones de memoria diferentes. Estas son:

- Memoria a corto plazo (MCP)
- Memoria de trabajo (MT)
- Memoria a largo plazo (MLP)

Entre ellas, la memoria a largo plazo se considera generalmente como de particular importancia en la resolución de problemas: se puede definir de modo simple como la «base de conocimientos» acumulados por el individuo, y se puede pensar que contiene dos tipos de información y conocimientos de importancia para la resolución de problemas:

- I. *Conocimiento proposicional* - por el que se entienden conocimientos de hechos, conceptos, reglas y teorías.
- II. *Conocimiento algorítmico y metodológico* - es decir, conocimiento relativo a modos de procesar la in-

formación y resolver problemas.

Ambos tipos de conocimiento son de relevancia inmediata en los pasos 3 y 4 del modelo anterior de etapas para la resolución de problemas. En consecuencia, la cuestión queda planteada en términos de si —y en caso afirmativo en qué extensión— los fracasos y éxitos de un estudiante cuando resuelve problemas del tipo habitual en los exámenes pueden ser explicados en términos de si los aspectos del conocimiento relevantes y necesarios para su solución están contenidos y son recuperables de su «base de conocimiento» (es decir, de su memoria a largo plazo). El hecho de que un determinado aspecto del conocimiento sea o no recuperable, podría depender, a su vez, del modo en que esté organizado en la MLP y de la naturaleza de las claves empleadas para recordarlo.

El papel de la memoria a corto plazo y de la memoria de trabajo está relacionado básicamente con el procesado, transformación y codificación de la información. Esta información puede venir del exterior, por ejemplo de una cuestión de examen, o ser extraída de la memoria a largo plazo de cada uno. La distinción entre la memoria a corto plazo y la de trabajo es relativamente poco importante para nuestros propósitos. Basta decir que ambas juegan un papel importante en el procesado de la información durante la resolución de problemas. Un aspecto que ha sido repetidamente tratado en la bibliografía sobre la memoria a corto plazo en particular, es que sólo es capaz de manejar a la vez una cantidad limitada de información. Así, el fallo en la MCP y en la MT puede ser, también, un factor influyente en la resolución de problemas.

INVESTIGACIONES Y HALLAZGOS PRELIMINARES

En la fase inicial de este trabajo, se llevó a cabo un análisis en profundidad del comportamiento de los estudiantes cuando resuelven problemas, para identificar, en primer lugar, las estrategias adoptadas por ellos y la variedad y naturaleza de los errores cometidos. Este último aspecto, en particular, llegó a ser clave, puesto que los vimos como un camino directo para obtener información sobre posibles causas de los fallos cometidos al resolver problemas.

La metodología adoptada siguió líneas establecidas en el campo de la investigación en la resolución de problemas: suponía la recogida de protocolos de resolución de, aproximadamente, 60 estudiantes, cuya edad estaba comprendida entre los 16 y 17 años, que habían seguido previamente el curso de Química a nivel del «Certificado General de Educación Ordinaria». Cada sesión de resolución de problemas duraba 60 minutos, en los cuales los estudiantes intentaban resolver varios problemas típicos de los exámenes de Química del «O-level» inglés. Los estudiantes grababan sus procesos de

pensamiento en una cinta magnetofónica, y las grabaciones obtenidas eran posteriormente, transcritas y analizadas.

Un reportaje completo sobre el diseño de este estudio, incluyendo la elección de los problemas, será publicado a lo largo de este curso. Por tanto, no discutiremos aquí este asunto. En lugar de ello, desearía mostrar y discutir nuestros hallazgos en este trabajo.

Errores identificados en la resolución de problemas

La mayor parte de los errores identificados y analizados a partir de los protocolos caen dentro de tres amplias categorías, que son:

1. Errores que se deben a una incomprensión o a una interpretación incorrecta de las incógnitas o de los datos especificados en el enunciado.
2. Errores debidos a problemas de memoria.
3. Errores que surgen cuando se están procesando los datos y la información (es decir, errores de procesado).

Las categorías 2 y 3 comprenden a su vez numerosas subcategorías. Por ejemplo, los errores debidos a la memoria (categoría 2) comprenden situaciones donde la información requerida no fue recordada por el estudiante de su memoria a largo plazo o bien estaba ausente de ella (fallo total al recordar), o situaciones donde los estudiantes recordaban información inapropiada o incorrecta, o también cuando la información recordada era incompleta. Una elaboración detallada de los tipos de errores individuales cae fuera de la intención de este artículo, pero este asunto ha sido extensamente discutido por Slimming (1984).

Nuestra clasificación de errores se basó en un análisis de 370 casos de error. En las tres categorías mencionadas se podían incluir el 93% de todos los errores observados. El 7% restante, incluye, por ejemplo, errores debidos a «intuición incorrecta» donde los estudiantes, en vez de ponerse a resolver el problema, daban «respuestas inmediatas» que estaban claramente basadas en algún tipo de especulación.

La tabla 1 resume los tipos de error identificados y su frecuencia.

Las conclusión sorprendente que se extrae de la tabla es que, en nuestra situación de estudio, los errores al recordar fueron, con mucho, los más frecuentes y, por tanto, deben ser considerados responsables de la mayor parte de los casos donde los estudiantes aparentemente «fallan» al resolver problemas en los exámenes habituales. Los errores de estrategia asociados con el procesado de la información fueron relativamente escasos: en nuestro estudio, sumaron solamente alrededor de un 8% (es decir, una tercera parte del total de los errores de procesado). Los errores debidos a la incomprensión o a la incorrecta interpretación de las tareas solicitadas o los datos suministrados en los enun-

Tabla I

Error	Frecuencia (%)
Incomprensión de lo que se pide o de la información	8
Problemas de memoria	60
Fallo total al recordar	(15)
Recuerdo incorrecto	(19)
Recuerdo incompleto	(13)
Recuerdo inadecuado	(10)
Errores de procesado	25
(Errores de procesado, errores de selección de datos, errores de registro, invasiones, etc.)	

ciados, fueron, también, relativamente raros: alrededor de un 8%.

Inevitablemente, a la luz de estos datos, uno es conducido hacia una mayor exploración de los aspectos de «recuerdo» en la resolución de problemas. Esto, en la práctica, significa que aspectos relativos a la estructura de la memoria de los estudiantes deben ser analizados con detenimiento.

Nuestras hipótesis fundamentales, formuladas a la luz de los anteriores hallazgos, fueron estas:

- I. Los estudiantes exitosos (en términos de resolución de problemas) difieren de los menos exitosos principalmente en lo que se refiere a la organización de los conocimientos científicos en su memoria a largo plazo.
- II. Adicionalmente, hipotetizamos que el rendimiento en la resolución de problemas dependería de la materia de que tratara el problema planteado.

Esta última hipótesis se deriva de la consideración de que la organización semántica de la memoria (a largo plazo) de los estudiantes no está necesariamente igual de bien desarrollada para distintos conocimientos o áreas conceptuales.

Aunque nosotros pronosticamos una fuerte relación entre el comportamiento en la resolución y la estructura semántica de la memoria, esta debe ser vista en el contexto de la propia resolución de problemas, especialmente según el nivel de información que se suministra. Dado que el esquema conceptual sobre conocimientos científicos interiorizado por cada estudiante es particular, podría esperarse que la probabilidad de éxito en la resolución aumentara con el nivel de información suministrado por la propia descripción de la tarea,

siempre que esta información sea relevante para dicha tarea. Cuanta mayor información suministra una cuestión, mayor es el número de posibles claves capaces de activar una búsqueda en la MLP. Del mismo modo, la reducción del nivel de información debería reducir el número de claves potenciales.

Esta última consideración nos condujo a extender nuestra investigación a un examen de la relación entre el nivel de información suministrado en los problemas de los exámenes habituales y el comportamiento de los estudiantes al resolverlos.

Los resultados y hallazgos obtenidos se van a presentar en dos partes. En primer lugar se considera la relación entre comportamiento en la resolución de problemas y la memoria semántica. Posteriormente se examina la relación entre comportamiento en la R. de P. y nivel de información suministrado.

COMPORTAMIENTO EN LA RESOLUCION Y ESTRUCTURA SEMANTICA DE LA MEMORIA

Un primer intento de arrojar luz sobre este aspecto fue hecho por Carol Nicholls, antigua asistente de investigación en Keele. Usando una técnica de asociación de palabras investigó la estructura cognoscitiva de 93 estudiantes de 15 años en lo relativo a varios conceptos distintos de química que habían seguido. Paralelamente a esta investigación, también desarrolló y pasó una prueba de problemas de química con objeto de medir la competencia de los estudiantes al resolver problemas relacionados con los conceptos tratados en el test de asociación de palabras.

A partir de los resultados de la prueba de problemas,

identificamos grupos de «malos» y «buenos» resolventes. Estos grupos se eligieron tomando el cuartil inferior y superior, respectivamente, del total de la población de estudiantes, de modo separado para cada concepto. Advertimos que la composición de los grupos de «buenos» y «malos» resolventes variaba significativamente de un concepto a otro: estudiantes que aparecían como buenos resolventes en un área de la Química, no se desenvolvían necesariamente igual de bien en otra área.

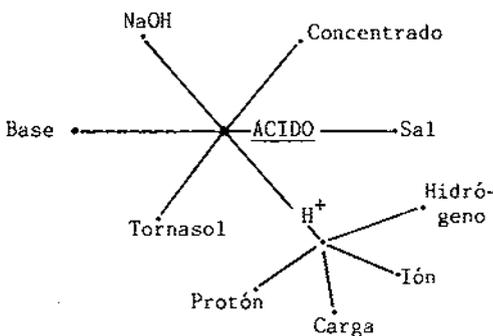
Entonces tratamos de relacionar la calidad como resolvente de los estudiantes, con sus estructuras cognitivas, y lo hicimos calculando «mapas cognitivos medios» para los grupos de «buenos» y «malos» resolventes. El procedimiento empleado ya ha sido descrito (Kempa y Nicholls, 1983), basta decir que supone la estimación de la «intensidad» media de los vínculos entre dos conceptos a partir de los tests de asociación de palabras, para los dos grupos.

Todo lo que puedo hacer aquí es mostrar nuestros hallazgos, y esto me gustaría hacerlo por referencia a dos ejemplos: ACIDO y BASE como «áreas conceptuales clave» usadas en el estudio de la asociación de palabras. Las figuras 1 y 2 muestran los mapas cognitivos grupales para los dos conceptos, para buenos y malos resolventes, respectivamente. (El coeficiente de interconexión en cada caso es 0,1).

Ambas representaciones conducen aproximadamente a las mismas conclusiones, que son:

- I. Las estructuras cognoscitivas de los buenos resolventes son más complejas y contienen más asociaciones que las de los malos resolventes, para un nivel dado de relacionabilidad entre los conceptos. La tabla II demuestra esto.

(A) BUENOS RESOLVENTES



(B) MALOS RESOLVENTES

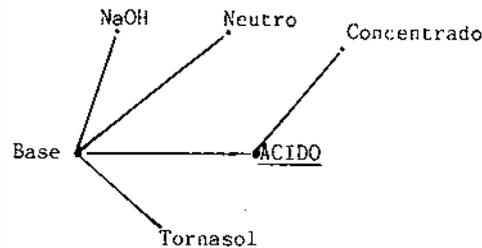
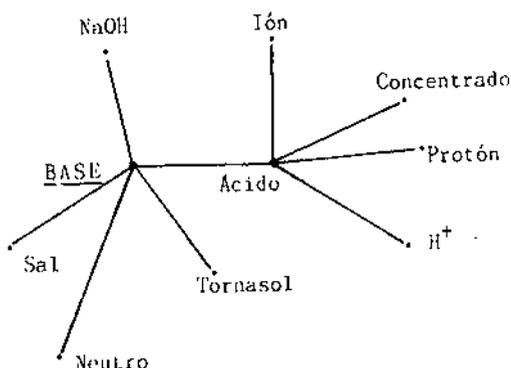


fig. 1 Mapas cognitivos «medios» para el concepto clave ácido. (Coeficiente de relacionabilidad, RC > 0'10).

(A) BUENOS RESOLVENTES



(B) MALOS RESOLVENTES

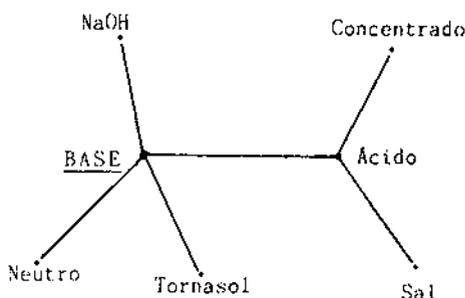


fig. 2 Mapas cognoscitivos «medios» para el concepto clave base. (Coeficiente de relacionabilidad, RC ≥ 0'10).

Tabla II

	Nº de asociaciones primarias	Nº de asociaciones secundarias
ACIDO		
Buenos resolventes	6	4
Malos resolventes	2	3
BASE		
Buenos resolventes	5	4
Malos resolventes	4	2

II. La diferencia entre las estructuras cognoscitivas de los dos grupos aparecen predominantemente en los conceptos de una naturaleza digamos «abstracta». En los dos ejemplos discutidos estos conceptos son H^+ , protón e ión. Debe advertirse que varios de los problemas que debían ser resueltos por los estudiantes requerían que los conceptos químicos fueran aplicados en su forma abstracta. El fallo de los «malos» resolventes no es, por tanto, sorprendente a la vista de las diferencias en las estructuras cognoscitivas.

Debemos admitir que los anteriores hallazgos son de naturaleza cualitativa, o —en el mejor de los casos— semicuantitativa y que tienen un defecto importante. Este es que la noción de «mapa cognoscitivo medio» no es totalmente clara. Esto es así porque las estructuras cognoscitivas son fundamentales idiosincráticas, es decir, reflejan las relaciones entre conceptos que existen en la mente de *individuos*, no de grupos de personas. Incluso si se admite que algunas de las relaciones y asociaciones entre conceptos son probablemente compartidas por la mayoría, si no por todos los miembros del grupo, siempre hay características individuales en los mapas cognoscitivos que, debido a que hay que promediar, son pasadas por alto y omitidas.

Admitiendo esta situación, hemos considerado más recientemente las actuaciones de los estudiantes de modo individual, y hemos intentado relacionarlas con sus estructuras cognoscitivas. Estos estudios, que fueron realizados en su mayor parte por el Dr. Slimming, han confirmado esencialmente nuestros hallazgos generales, pero también nos han capacitado para explicar el comportamiento y los errores al resolver problemas partiendo de las estructuras cognoscitivas de cada uno de los estudiantes.

Para ilustrar esto, vamos a hacer referencia a dos casos distintos (Estudiante 060 y Estudiante 138, respectivamente, de la muestra del Dr. Slimming), en relación con el siguiente problema de un examen habitual:

Se realiza una electrólisis en una disolución diluida de ácido sulfúrico, utilizando electrodos de platino.

- a) (I) Decir el nombre del producto formado en el ánodo.
- (II) Decir el nombre del producto formado en el cátodo.
- b) Explicar en qué difieren el mecanismo de conducción de la corriente eléctrica a través de ácido sulfúrico diluido y a través de una espira de cobre.
- c) ¿En qué electrodo, si hay alguno, son reducidos los iones durante la electrólisis?
- d) Una célula electrolítica simple está formada por láminas de cinc y cobre dentro de una solución acuosa de un electrolito. Cuando se extrae una pequeña corriente de la célula, ¿qué metal será el terminal positivo?

Los mapas cognoscitivos para los dos estudiantes se muestran en las figuras 3 y 4.

A continuación se comparan las características de estos mapas con las características de las respuestas de los estudiantes (Tablas III y IV).

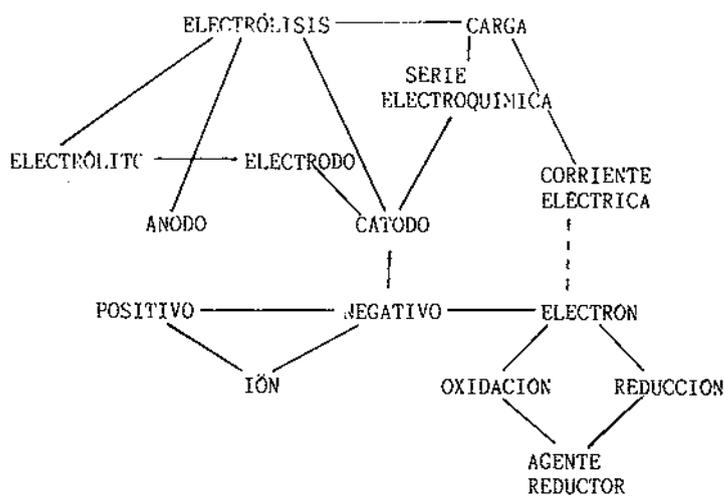


fig. 3 Caso de estudio 1: Electrólisis, estudiante 060 (puntuación máxima)

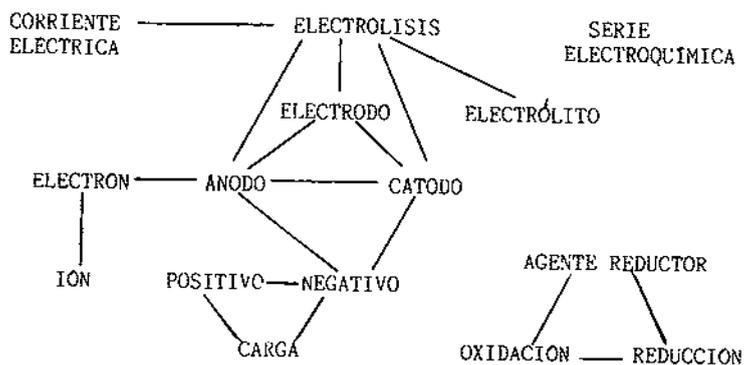


fig. 4 Caso de estudio 4: Electrólisis, estudiante 138 (puntuación nula)

Tabla III

CASO 1: Estudiante 060 (Puntuación máxima)

Características de la respuesta	Características del Mapa Cognoscitivo
<p>Cuestiones a (I) y a (II)</p> <p>El estudiante, con seguridad, recordó la reacción de electrólisis y la carga de los iones implicados. Asignó correctamente los iones a los electrodos adecuados.</p>	<p>Adviértase la clara asociación entre <i>cátodo</i> y <i>negativo</i>. No aparece un vínculo equivalente entre <i>ánodo</i> y <i>positivo</i> pero a este se llegó presumiblemente por contraste con el primero. El mayor énfasis sobre cátodo/negativo se debe probablemente a la mayor familiaridad con las reacciones de descarga catiónica que con las aniónicas.</p>
<p>Cuestión b</p> <p>El estudiante explica la corriente como un flujo de electrones en la espira metálica y atracción de iones hacia los electrodos, e intercambio de electrones en los mismos.</p>	<p>Ambas son consistentes con la disposición del mapa cognoscitivo: relación electrón-corriente-carga; relación ión-signo-electrodos-electrón.</p>
<p>Cuestión c</p> <p>Existió confusión inicial sobre la dirección de la transferencia de electrones en la reducción. Pero resolvió el problema.</p>	<p>Adviértanse los vínculos simétricos entre <i>electrón</i> y el <i>núcleo redox</i></p>
<p>Cuestión d</p> <p>Fue incapaz de desarrollar una solución al problema y fue forzado a contestar (contestación correcta)</p>	<p>El mapa cognoscitivo contiene el concepto de <i>serie electroquímica</i>, pero la forma de la estructura asociativa no tiene significado para este problema</p>

Tabla IV

CASO 2: Estudiante 138 (Puntuación nula)

Característica de la respuesta	Característica del Mapa Cognoscitivo
<p>Cuestiones a (I) y a (II)</p> <p>Intentó con poca confianza dar contestaciones, pero no podía recordar ninguna información sobre la «electrólisis del ácido sulfúrico».</p>	<p>En ausencia de esta información, el mapa cognoscitivo es irrelevante, pero adviértase el <i>área pobremente discriminada</i> de ánodo/cátodo, electrón, negativo. También llama la atención el aislamiento del núcleo redox.</p>
<p>Cuestión b</p> <p>No hizo ningún intento de respuesta. El estudiante declaró que no había estudiado la «electrólisis en sustancias sólida» (él suponía que la conductividad metálica está relacionada con la conductividad electrolítica).</p>	<p>Las características del mapa cognoscitivo son consistentes con la ausencia de conocimientos del estudiante: ausencia de vínculo entre <i>corriente eléctrica</i> y <i>electrón</i>; el limitado contexto en que está el <i>electrón</i>, ligado solamente con ión y ánodo. Los vínculos de este último no son habituales.</p>
<p>Cuestión c</p> <p>No dio ningún argumento razonado, el estudiante simplemente contestó.</p>	<p>Enteramente consistente con el aislamiento del <i>núcleo redox</i> respecto al resto de la estructura cognoscitiva.</p>
<p>Cuestión d</p> <p>El estudiante recordó la reactividad relativa del cinc y el cobre, pero no supo desarrollar una respuesta a partir de ahí. La contestación es equivocada.</p>	<p>Esto es consistente con la completa separación del concepto de serie electroquímica del resto del mapa cognoscitivo. El núcleo <i>carga</i> indiferenciado también podría causar dificultades.</p>

El valor potencial de los mapas asociativos individuales en la interpretación de aspectos y fragmentos particulares en la resolución de problemas se demuestra justamente por los anteriores ejemplos. El Dr. Slimming examinó una amplia variedad de casos y encontró que los intentos de los estudiantes cuando resuelven problemas siempre se mostraron consistentes con los mapas, aumentando la consistencia cuanto más relevante fuera el mapa cognoscitivo para el camino de solución elegido por el resolvente. Incluso en casos donde los caminos de solución sorteaban el contenido de los mapas, era a menudo posible señalar defectos en el mapa como explicación de la elección de caminos alternativos.

Sería equivocado proclamar que los mapas cognoscitivos ofrecen una estructura explicativa completa para la interpretación de los fallos y aciertos de los estudiantes cuando resuelven problemas. Una limitación particular a su poder de interpretación surge del hecho de que no con poca frecuencia, los estudiantes parecían confiar en el recuerdo de ejemplos específicos o estrategias de solución que implicaban conceptos no cubiertos por nuestros tests de asociación de palabras. En estos casos, los mapas cognoscitivos hallados tendían a ser parcial o totalmente irrelevantes. Pero este es un defecto debido a nuestra incapacidad para prever tales caminos alternativos, etc., y extender nuestra exploración cognoscitiva también a esas áreas.

Las deficiencias que acabamos de mencionar, acompañadas del hecho de que la mayoría de los métodos de obtener mapas cognoscitivos revelan solamente información restringida sobre la naturaleza de los vínculos entre conceptos, conducen a la inevitable conclusión de que los mapas cognoscitivos individuales son de uso limitado para intentar predecir el comportamiento de los estudiantes al resolver problemas. Así, en nuestra opinión, los mapas sirven más como medios para interpretar el comportamiento, tanto en casos individuales como para grupos. Los mapas cognoscitivos grupales, a nuestro parecer, tienen la ventaja sobre los individuales de que tienden a eliminar vínculos idiosincráticos que aparecen en estos, por tanto, pueden ser más útiles para el profesor, para explicar e interpretar el comportamiento en el aprendizaje de sus alumnos y, por tanto, las dificultades del aprendizaje.

Lo que nuestros hallazgos parecen mostrar sobre todo, es que la organización del conocimiento semántico en la memoria a largo plazo de los alumnos, es un factor importante para determinar su rendimiento en la resolución de problemas. Ciertamente, a la luz de nuestros estudios, podríamos sostener que la importancia del factor memoria supera al aspecto de «procesado y estrategia» para determinar el éxito o fracaso en la resolución de problema típicos de los exámenes habituales.

RESOLUCION DE PROBLEMAS Y NIVEL DE INFORMACION SUMINISTRADO EN LOS ENUNCIADOS

Si, como hemos discutido y demostrado, el éxito y fracaso en la resolución de problemas en los exámenes habituales depende de modo significativo de la organización de los conocimientos en la memoria semántica de los estudiantes, el propio proceso de resolución debe proporcionar al estudiante claves adecuadas para acceder a esta memoria. A la luz de esta consideración, formulamos la hipótesis (previamente mencionada) de que el rendimiento de los estudiantes en la resolución sería dependiente del contenido de información de los enunciados.

Para investigar también este aspecto, tomamos como punto de partida el contenido de información normal en los «típicos» problemas de examen, y concebimos la posibilidad de que este contenido podría ser bien «reducido» significativamente o bien «aumentado» añadiendo información. A su vez, pensamos, la información adicional podría ser de dos clases:

- I. Podría ser irrelevante para lo que se pide, a modo de «embellecimiento» del propio enunciado.
- II. Podría ser relevante para lo que se pide en el problema y, por tanto, podría proporcionar al estudiante alguna ayuda para resolverlo.

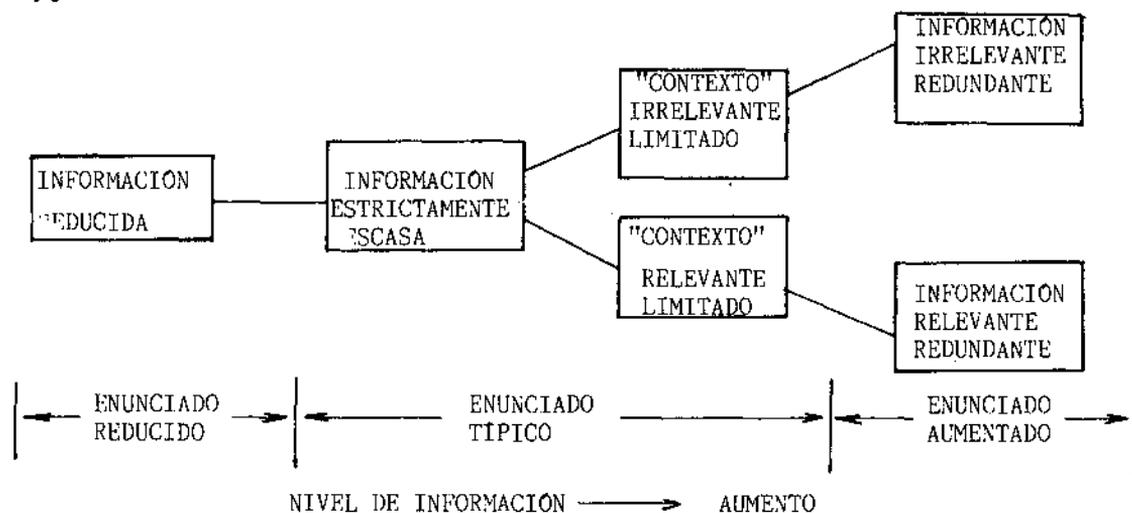
Un análisis de los enunciados «típicos» de examen mostró que al menos algunos de ellos se planteaban en algún contexto —generalmente para darles cierto grado de realismo— que, de nuevo, podía ser relevante o irrelevante para lo que se pedía en el problema. No obstante, esta información añadida solía ser muy limitada en extensión.

La relación entre los niveles de información se muestra en la figura 5. Se ve que conforme el contenido de información aumenta, pasamos del tipo de «enunciado reducido» a la categoría de «enunciado aumentado» con su subdivisión.

La característica esencial de un «enunciado reducido» es que, a diferencia de los otros tipos de enunciados, en él falta información esencial para resolver el problema. Esta información debe, por tanto, ser suministrada por el propio estudiante, haciendo *suposiciones* apropiadas. Por ejemplo, incluso en el caso más simple de actividad «de recuerdo» como es requerir que se de el nombre de un proceso determinado, es posible una versión «reducida» del enunciado, haciendo que el propio proceso esté caracterizado de modo incompleto.

(El análisis anterior supone que toda la información presentada en los enunciados es correcta, lo que está plenamente justificado para los problemas de examen habituales. En otros casos, la aparición de información

figura 5



incorrecta o contradictoria en un problema es posible. Este aspecto ha sido investigado recientemente por el Dr. J.E. Ward (1982)).

Un ejemplo de una cuestión en diferentes formas es la siguiente:

Dar el nombre de los procesos industriales necesarios en el siguiente caso:

Enunciado TIPICO: I. La reducción catalítica del nitrógeno a amoníaco.

Enunciado AUMENTADO: (con información RELEVANTE): II. La reducción catalítica del nitrógeno a amoníaco utilizando como catalizador hierro finamente dividido con promotores.

Enunciado AUMENTADO: (con información IRRELEVANTE) III. La reducción de nitrógeno a amoníaco en fase gaseosa.

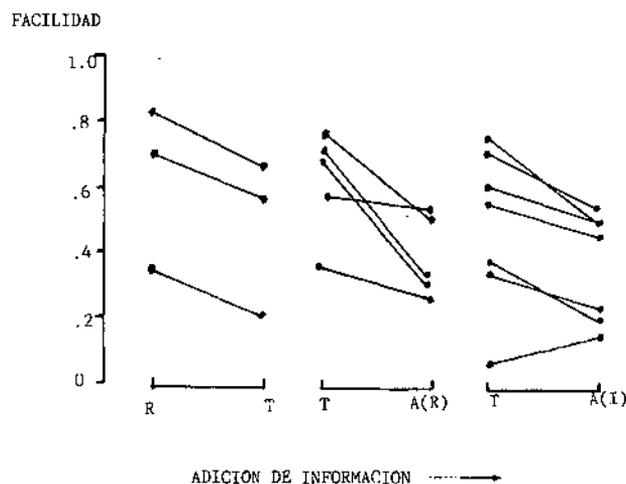
Enunciado REDUCIDO: IV. La reducción catalítica de nitrógeno.

Se idearon una variedad de cuestiones en las cuales cada enunciado aparecía al menos en una versión además de la forma típica. Estas cuestiones se incorporaron en un cuestionario mayor que también contenía ciertas «cuestiones de control» y fueron pasados a grupos semejantes de estudiantes (cuya equivalencia fue comprobada por medio de las cuestiones de control). El efecto de los diferentes grados de información sobre el éxito en la resolución de problemas fue evaluado mediante índice de *facilidad del problema*, calculados para los distintos problemas en sus diferentes versiones.

La figura 6 muestra los resultados para 15 pares de enunciados en los que el nivel de significación de la diferencia entre los índices de facilidad fue al menos del 5% (en la mayoría de los casos $p < 0,01$). Para otros

pares de enunciados las tendencias generales que se extraen de la figura fueron similares, sin que se alcanzara necesariamente el nivel de significación de 0,05. Se emplearon un total de 23 problemas, aunque no todos en cada una de las versiones.

fig. 6 Tendencias en las facilidades de diferentes versiones de los enunciados.



Nuestros hallazgos en lo que se refiere al efecto del grado de información suministrado por el enunciado sobre la dificultad de la cuestión (y, por tanto, sobre el éxito o fracaso en la resolución de problemas) pueden resumirse así:

I. La influencia de una información excesiva **IRRELEVANTE** es frecuentemente tal que reduce la facilidad de la cuestión de un modo significativo. En términos cuantitativos, encontraremos que estas reducciones en los índices de facilidad alcanzaban hasta un 50% del índice original para la versión típica, si bien en algunas cuestiones el efecto era menos pronunciado.

El aumento de información **RELEVANTE** produce un efecto similar: de nuevo, en varios casos, los índices de facilidad de la cuestión disminuyen. En un sentido global, este efecto es menos marcado que en el caso de aumento de información irrelevante.

II. La **REDUCCION** en el contenido de información tiene poco, si es que tiene alguno, efecto sobre los índices de facilidad de la cuestión, excepto en tres casos en que se notó un aumento en la facilidad. Así, apareció que los estudiantes eran generalmente insensibles a una sustracción de una cantidad limitada de información de los enunciados. No obstante, debe advertirse que las reducciones de información habían sido generalmente modestas, de modo que quizás sea poco prudente generalizar conclusiones de esto.

En lo que se refiere al caso particular de las tres cuestiones en las que se advirtió un aumento en la facilidad al pasar de la versión «típica» a la «reducida», una inspección detallada después de la investigación puso en evidencia que contenían información que había sido tomada por los estudiantes como «redundante»: por tanto, estas cuestiones (en su forma típica), deberían haber sido clasificadas como cuestiones con «aumento de información relevante».

Hemos llegado, por consiguiente, al convencimiento de que, en términos generales, la inclusión de un exceso de información en las cuestiones de examen disminuye su facilidad, es decir, aumenta su dificultad. No obstante, este efecto no es uniforme para todos los estudiantes, sino que afecta en mayor medida a los de rendimiento medio o bajo, mientras que los de rendimiento alto no son afectados prácticamente por cualquier aumento del contenido de información de los enunciados.

Un análisis detallado de los protocolos de resolución de problemas de los estudiantes, mostró lo siguiente:

* Si la información adicional era relativamente desconocida por los estudiantes o sí, debido a deficiencias de sus propios conocimientos, eran incapaces de usarla, la percibían como desalentadora para la resolución del problema. La noción de desconocimiento puede, desde luego, ligarse inmediatamente con la MLP de los estudiantes y es, asimismo, resultado de un desarrollo inadecuado de la estructura cognoscitiva (en el área particular a la que se refiere el problema).

* Los estudiantes raramente hacían juicios sobre qué parte, de la información presentada, era esencial para resolver el problema y cuál no lo era: tendían a tratar

todos los datos (información) como si fueran de igual importancia. Había una fuerte tendencia por parte, en particular, de los estudiantes más «flojos» a utilizar todos y cada uno de los aspectos de la información en sus intentos de solucionar un problema. De este modo, cualquier información —incluso si era utilizable— producía distracción y confusión.

Este último hallazgo tiene, en nuestra opinión, importantes implicaciones para la investigación y la enseñanza en resolución de problemas. Señala claramente que los estudiantes, frecuentemente, carecen de capacidad para distinguir entre la información que es esencial para resolver un problema y la que es irrelevante para ello. Aún más, casi cualquier solución a un problema *real* requiere que se haga esta distinción. ¡Los problemas que presentan al estudiante solamente la información esencial para su solución son, por tanto, escasamente adecuados como material de entrenamiento y ejercicio para enfrentarse a problemas de la vida real!. Éste, creemos, es un punto a tener en cuenta por los que están implicados en la investigación y desarrollo de la preparación para resolver problemas.

CONCLUSION

Como se indicó al principio de este artículo, el propósito de nuestra investigación es, sobre todo, explorar las causas de las deficiencias y fallos de los estudiantes cuando resuelven problemas típicos de los exámenes habituales. No pretende el desarrollo y evaluación de estrategias de instrucción y métodos de enseñanza para aumentar las destrezas de los estudiantes para resolver problemas. Por esta razón, me parecería inapropiado concluir con una lista de cosas que «se deben y no se deben hacer», para que el profesor las tuviera en cuenta.

Nuestros resultados principales han sido mostrados aquí. Todos ellos señalan fuertemente el importante papel que juega la estructura (cognoscitiva) de la memoria de los estudiantes para determinar su comportamiento en la resolución. Este amplio hallazgo en sí mismo, representa un marco explicativo plausible dentro del cual los profesores pueden empezar a explicar e interpretar los éxitos y fracasos de sus estudiantes al resolver problemas. También sugiere que la confección de mapas cognoscitivos podría, muy bien, resultar ser una herramienta del mayor valor diagnóstico.

La línea de trabajo en la que se hacen intentos de relacionar el comportamiento en la resolución de problemas con la estructura cognoscitiva, es aún relativamente joven y todavía debe hacerse mucha más investigación. No obstante, los resultados hasta la fecha son prometedores y es de esperar que estos ayudarán a otros investigadores a volver su atención a este interesante y potencialmente valioso campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ATKIN, J.A., 1978, *Cognitive Functioning: A Model for Learning and Problem-Solving*, trabajo presentado en el encuentro anual de la National Association for Research in Science Teaching (Toronto, Canadá).
- DEWEY, J., 1910, *How We Think* (D.C. Heath, Boston).
- GAGNÉ, R.M., 1970, *The Conditions of Learning* (Holt, Rinehart y Winston: New York).
- GREENO, J.G., 1972, *The Structure of Memory and the Process of Solving Problems*, Technical Report 37 (University of Michigan, Human Performance Center, Ann Arbor, Michigan).
- GREENO, J.G., 1980, Analysis of Understanding in Problem-Solving, en Kleuse, R.H. y Spada, H. (Editores), *Developmental Models of Thinking*, (Academic Press: Nueva York).
- KEMPA, R.F. y NICHOLLS, C.E., 1983, Problem-Solving Ability and Cognitive Structure: An Exploratory Investigation, *European Journal of Science Education*, Vol 5, pp 171-184.
- LINDSAY, P.H. y NORMAN, D.A., 1977, *Human Information Processing* (Prentice Hall, Englewood Cliffs: New Jersey). (Academic Press: Nueva York).
- NEWELL, A. y SIMON, H.A., 1972, *Human Problem-Solving*. (Prentice Hall, Englewood Cliffs: New Jersey).
- SCANDURA, J.M., 1977, *Problem Solving: A Structural Process Approach with Instructional Implications*, (Academic Press: London).
- SLIMMING, D., 1984, *Problem-Solving in the Context of the General Certificate of Education Ordinary Level Chemistry Examination*; (Universidad de Keele, UK, Tesis Doctoral no publicada).
- WARD, J.E., 1982, The Interpretation and Interpretability of Observational Data of Different Levels of Quality by Students, en *Chemical Education Research - Implications for Teaching*, (The Royal Society of Chemistry: London).