

CONDUCTAS COGNITIVAS RELACIONADAS CON EL ANÁLISIS DE PROBLEMAS AMBIENTALES*

EICHLER, MARCELO LEANDRO¹ y FAGUNDES, LÉA DA CRUZ²

¹ Área de Educación Química/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Sala D144. Campus Vale. CEP 91501-970. Porto Alegre/RS. Brasil

² Instituto de Psicología/UFRGS. Av. Ramiro Barcelos, 2600. Sala 120. CEP 90035-003. Porto Alegre/RS. Brasil
exler@vortex.ufrgs.br
leafagun@psico.ufrgs.br

Resumen. El objetivo de esta investigación fue estudiar la reconstrucción cognitiva que algunos individuos ejemplares hacen del nexo causal de un problema ambiental. El método utilizado fue el estudio de caso, que contó con la colaboración de ocho participantes, con edades entre 14 y 17 años. El sistema utilizado proponía la solución de un problema simbólico, simulado en la computadora. Los datos fueron obtenidos a través de observación sistemática, de entrevistas clínicas y de historiales. El objetivo de la interpretación de los datos fue evidenciar el proceso de desarrollo de los hallazgos en el análisis ambiental. Constatamos la existencia de diferentes tipos de comportamiento con relación al medio ambiente.

Palabras clave. Desarrollo cognitivo, *software* educativo, solución de problemas, análisis ambiental.

Summary. The aims of this research were to evince the cognitive reconstruction of atmospheric pollution cases' causal nexus. The research was realized with the contribution of 8 participants, with ages between 14 and 17. The task proposed was solving a computer simulated problem. The data were obtained through systematic observation, clinical enquiry and log files. The aim of the data interpretation was to indicate the cognitive conducts of every participant and then the development of the environmental analysis progress was related. To solve the problem subjects appealed to conceptions from distinct explanatory systems connected to environmental analysis.

Keywords. Cognitive development, educational software, problem solving, environmental analysis.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, a través de muchos propósitos pedagógicos, se generan y aplican actividades educativas dirigidas a interpretar y plantear soluciones a problemas del medio ambiente natural. Estas actividades se relacionan con diversas temáticas, entre otras: la ética ambiental y la gestión económica de los residuos (Institute for Environmental Education EUA, 1994), la contaminación de las aguas (Whisnant, 1984; Whisnant y McCormick, 1992), el uso de pesticidas en la agricultura (Taack, 1994), los derrames de aceite en los océanos (Hampton, 1993) y el ecosistema de bosques de regiones frías (Kankaanrinta, 1991). También se utilizan diferentes medios didácticos, tales como el uso de maquetas (Taylor, 1985), programas de ordenador (Eivazain, 1995; Farynaiarz y Lockwood,

1992; Kankaanrinta, 1991; Whisnant, 1984; Whisnant y McCormick, 1992), ejercicios con papel y lápiz (Furió, Iturbe y Reyes, 1995) y juegos de rol (Duveen y Solomon, 1994; Whisnant, 1992).

Además, existen estudios sobre estrategias de enseñanza-aprendizaje o desarrollo de conceptos vinculados a las ciencias ambientales como, por ejemplo, sobre la calidad de las aguas (Agelidou, Balafoutas y Flogaitis, 2000) o sobre la contaminación del aire (Wylie, Sheehy, McGuinness y Orchard, 1998). Algunas de estas investigaciones utilizan programas de ordenador para investigar el pensamiento de los alumnos (Sheehy, Wylie, McGuinness y Orchard, 2000).

Por lo tanto, desde un punto de vista psicológico y educativo, puede ser interesante estudiar cuáles son las conductas cognitivas que se manifiestan durante el análisis ambiental de un problema atmosférico simulado con el ordenador.

EL ANÁLISIS AMBIENTAL

La preocupación por la ecología, por la vida y sus ecosistemas y por el pensamiento y las actitudes a favor de la preservación de la naturaleza es algo que cada vez gana más cuerpo en nuestro medio. Estas preocupaciones han ido evolucionando a medida que los problemas ambientales se han hecho más evidentes y diversos aunque están lejos de ser uniformes y ecuanímenes.

De un modo general, el ambientalismo es considerado como el conjunto de cualidades, acciones y comportamientos característicos de una doctrina o de una escuela de pensamiento acerca de cuestiones que aparecen en relación con el medio ambiente natural. La persona que practica ideas de esta naturaleza es llamada *ambientalista*, aun cuando no sea un especialista o no sea graduado en ciencias ambientales o ecología (Krieger, Maciel, Rocha, Finatto y Belivaccua, 1998). En general, estas actitudes están relacionadas, directa o indirectamente, con la preservación del medio ambiente frente a las graves y crecientes repercusiones negativas (Custodio, 1995) que provienen sobre todo de:

- la realización de actividades industriales o comerciales;
- la explotación o utilización de recursos naturales;
- la ocupación del suelo;
- la aplicación de plaguicidas y agrotóxicos en la agricultura y en los alimentos en general;
- otras actividades efectivas o potencialmente contaminantes, con inminentes riesgos y daños al patrimonio ambiental y, consecuentemente, a la salud pública.

Durante las últimas tres décadas, el estudio de nuestro ambiente natural ha evolucionado mucho (Botkin y Keller, 1995). Los años 1960 y 1970 son los que se identifican con el surgimiento del movimiento para la protección ambiental. Este movimiento comenzó con el reconocimiento del potencial y de los efectos adversos reales de la civilización moderna en nuestro ambiente, probablemente por el aumento del conocimiento y la divulgación sobre la extensión de los perjuicios atribuidos a las guerras (por ejemplo, las bombas atómicas y el «agente naranja») y los relacionados con el aumento de consumo de bienes manufacturados y la consiguiente disminución de materias primas y de espacios naturales. Desde esa época, los puntos de vista se polarizaron en mayor o menor grado y actualmente continúan manifestándose planteamientos diversos.

Algunos ambientalistas han argumentado que cualquier elemento del medio natural es «bueno» y que debe ser protegido y preservado sin cambios. Esta posición llegó a identificarse como característica del «pensamiento mágico» (Rohde, 1996, p. 67), pues presupone la bondad y

armonía en la relación entre los elementos de la naturaleza. En muchos casos, esta concepción conlleva pensar que el mundo, o al menos la civilización que se conoce, puede ser destruida si la humanidad no cambia su relación con el medio ambiente. Desde esta visión, el desarrollo económico y social significa la destrucción del medio ambiente e incluso, para estos ambientalistas, la ciencia forma parte del problema. Este tipo de posicionamientos comporta pensar que todo uso de los recursos naturales es malo o agresivo para la naturaleza, de forma incondicional.

Ante estos planteamientos no es de extrañar que también surgiera la opinión opuesta de que el ambientalismo era contrario al progreso, la civilización y la tecnología. Según Botkin y Keller (1995), hubo quien llegó a creer que las demandas relacionadas con el medio ambiente no eran buenas para la humanidad y que este tema no debía ser objeto de la acción política ni de la educativa.

A pesar de la polémica y de las posturas disonantes, el entusiasmo por el medio ambiente se mantuvo en alza. En los años ochenta, «algunas naciones decretaron sus primeras leyes ambientales y se establecieron agencias para ocuparse de los importantes problemas de este género» (Botkin y Keller, 1995). No obstante, a pesar de los avances científicos, jurídicos y de concienciación, este período también fue marcado por una fuerte emoción. Según estos autores, algunos activistas y las organizaciones no gubernamentales (ONG) colocaron «al planeta en primer [lugar] y adoptaron posiciones prohibidas cuando se trataba de la protección ambiental», y, a partir de ahí, surgieron grupos defensores del medio ambiente tildados de piratas y terroristas.

Paulatinamente, las ideas, las actitudes y las investigaciones dirigidas a afrontar las urgencias de los problemas ambientales comenzaron a alcanzar otros y nuevos dominios del conocimiento. Alrededor de los años noventa se puede identificar el surgimiento de un cuerpo de pensamiento científico conexo y concatenado sobre las causas y soluciones de los problemas ambientales, interrelacionando un gran número de disciplinas, entre las cuales se encuentran la biología, la química, la geología, la geografía, la economía y el derecho (Botkin y Keller, 1995).

Sin embargo, el movimiento ecologista no siempre tuvo presentes los conocimientos científicos, por lo que no ha de extrañar el tono peyorativo que muchas veces se confiere al término *ambientalismo*. Muchas de las actitudes que son asumidas en su nombre tienden a estar lejos de los estudios científicos (Botkin y Keller, 1995; Tauk-Tornisielo, Gobbi e Fowler, 1995) o de la especulación filosófica (Asmann, 1996; Giacoia Jr., 1996; Muller, 1996; Rohde, 1996) cuando, desde el campo científico, se está de acuerdo en que «la detección y el análisis de los nexos causales de la crisis [ecológica] y las medidas para enfrentarla competen a las ciencias y es esencialmente inter y transdisciplinar» (Müller, 1996). Así, como contrapunto al término *ambientalismo*, se viene usando la expresión *análisis ambiental* (Tauk-Tornisielo, Gobbi y Fowler, 1995), que, a grandes rasgos, se refiere a los significados relativos al pensamiento y a los comportamientos dirigidos por y para las ciencias ambientales.

Por otro lado, en las conclusiones finales de un seminario de especialistas sobre el análisis ambiental (Tauk-Tornisielo, 1995), se confirmó que éste no se puede abordar desde puntos de vista unidisciplinarios. Se parte de la formulación de una hipótesis sobre impacto ambiental, en función de la cual los criterios efectivos del análisis se seleccionan y establecen, y posteriormente se cuantifican. Algunas de estas etapas pueden ser más deficientes que otras, principalmente debido a cuestiones de ámbito, por ejemplo, en lo que se refiere al medio biológico.

En suma, podríamos decir que las cuestiones ambientales no forman parte de un conjunto restrictivo de disciplinas científicas o, dicho de otro modo, que las nociones y las explicaciones ambientales necesitan de distintos sistemas conceptuales provenientes de diversos ámbitos del conocimiento. Por ejemplo, en el ejercicio profesional de los analistas ambientales se verifica la dificultad de incorporar todos los factores que pueden influir en las descripciones, explicaciones o predicciones a incluir en su análisis (Fowler y Aguiar, 1995). Algunas de estas dificultades son:

- a) relacionar todos los componentes de un sistema;
- b) prever las interacciones entre problemas menores;
- c) no dejar de incluir aspectos que puede considerar irrelevantes o que están fuera del campo de su especialidad;
- d) no considerar la fragilidad de las premisas de la teoría que le sirve de referencia o no dar atención suficiente al problema de muestreo estadístico; y
- e) excluir conscientemente aspectos subjetivos, clasificándolos como no importantes, buscando con ello simplificar el análisis.

Teniendo en cuenta este marco relacionado con la complejidad con la que debe ser abordado el estudio de los problemas ambientales, creemos que las investigaciones que busquen analizar las conductas cognitivas de los aprendices, las estrategias que desarrollan en sus análisis y los sistemas comprensivos con los que se relacionan pueden ser útiles para la propuesta y desarrollo de actividades educativas sobre cuestiones del medio ambiente natural.

Por lo tanto, los objetivos específicos de este estudio fueron analizar: a) cómo los individuos se representan el problema que se les propone; b) la secuencia de procedimientos seleccionados para la solución de ese problema; y c) el desarrollo conceptual que tuvo lugar durante la resolución del problema. En este sentido, el interés de la investigación estuvo más relacionado con evidenciar los tipos de raciocinio que los individuos emplean en el curso de la solución de un problema que con evaluar si esos raciocinios eran correctos o no.

EL ANÁLISIS MICROGENÉTICO

La esencia del desarrollo es el cambio, pero determinar cómo ocurre es muy difícil. Examinar los cambios cuando tienen lugar permite sugerir ideas sobre los mecanismos que los producen y las condiciones en las que son más frecuentes (Siegler y Crowley, 1991). Una de las estrategias de investigación para aprehender el proceso de

cambios es el análisis microgenético (Siegler y Crowley, 1991), que es indispensable para captar un proceso de elaboración cognitiva (Moro, 2000). En este sentido, un problema fundamental es elucidar las relaciones entre los sistemas de comprensión y los procedimientos de los hallazgos, o sea, entre la naturaleza del control de las intervenciones del sujeto y los conocimientos que tiene (Mosca, Silveira y Burigo, 1993).

En la microgénesis se parte de la hipótesis de que el conocimiento inicial activado por el individuo, que se encuentra al comienzo de la resolución de un problema, aún no está estructurado (Saada-Robert, 1996). Este conocimiento es sincrético, es decir, es una reunión artificial de ideas de orígenes distintos, y la visión de conjunto todavía es confusa. Se puede entender esta visión como la amalgama de dos componentes, «[uno] de generalidad difusa relativo a la situación actual, y [otro] de particularismos yuxtapuestos relacionados con los conocimientos anteriores sobre los cuales se apoya». De este entender global e indistinto, surgen los objetos entendidos de modos diferentes, transformándose progresivamente en un saber al mismo tiempo preciso y sintético. Por lo tanto, «la construcción microgenética consiste [...] en un doble pasaje de lo difuso a lo preciso, y de lo disperso a lo unitario» (p. 107).

Además, esa interpretación inicial de la realidad proviene de una «epistemología natural del individuo» (Inhelder y Caprona, 1996a, p. 7) que engendra una visión de mundo centrada en la comprensión de la realidad o de sí mismo, como sujeto pensante. Y los conocimientos activados son, esencialmente, conocimientos particulares, donde el modo de utilizarlos es fuertemente individualizado. Por ello, en la microgénesis, se trata de estudiar los conocimientos específicos que intervienen en la resolución de determinado problema por parte de un sujeto psicológico individual.

En estos estudios, es de interés revelar la dinámica de las conductas, las evaluaciones, las intenciones y valores, la selección que se hace de los medios y de los controles que se utilizan, en fin, de las heurísticas propias del individuo que pueden llevarlo a un mismo resultado a través de caminos diferentes. Y de este modo poder «separar las características generales de los procedimientos o de las secuencias finalizadas y organizadas de la acción» (Inhelder y Caprona, 1996a, p. 9).

De esta forma, es posible abordar la organización temporal de la conducta en contextos particulares. O sea, se estudia el orden de las secuencias de las acciones y de las operaciones del individuo relacionadas con la anticipación (Inhelder y Caprona, 1996b) al aplicar sus estructuras a la asimilación de los problemas que encuentra durante el curso de su actividad (Inhelder y Caprona, 1996a).

Al mismo tiempo, el estudio de estos procedimientos exige analizar tareas experimentales que permitan entender el desarrollo del pensamiento del individuo a través de sus acciones. Estas tareas deben favorecer un interés prolongado del individuo, desafiándolo «a llevar la reso-

lución a su término» (Inhelder y Caprona, 1996a, p. 17). También deben permitirle, al individuo, la manipulación libre, la exploración de los contenidos y la invención de procedimientos.

Por otro lado, «para no interrumpir ni desviar el desarrollo espontáneo de las conductas, el investigador limita al mínimo sus intervenciones» (Inhelder et al., 1987, p. 78). Por tanto, la característica inquisitoria de este método depende bastante de la selección de la tarea ofrecida al individuo y del análisis promovido por el investigador.

METODOLOGÍA

En este tipo de investigaciones se recomienda el estudio de caso (Moro, 2000) a partir de promover la realización de actividades experimentales que contengan manipulación física y un objetivo a ser alcanzado (Mosca, Silveira y Burigo, 1993). La manipulación física permite, de cierta manera, poner en evidencia el pensamiento del individuo. El objetivo a ser alcanzado en la actividad, de manera complementaria, posibilita identificar la resolución y explicación que el individuo da al problema.

Estas actividades no tienen por qué ser naturales, cotidianas o reales, aunque es condición que los participantes de la investigación estén familiarizados con los problemas objeto de estudio (White, 1997). Existen casos en que actividades artificiales o simuladas son más propicias que las reales, siempre que no sean físicamente imposibles, ni muy diferentes a alguna actividad real similar (Lawson, 1983; White, 1997). Por ejemplo, en el campo del análisis ambiental, situaciones reales llegan a ser muy complejas y demandan conocimientos especializados muy diversos, un tiempo considerable y un razonable costo para su resolución. Por lo tanto, deben buscarse otras alternativas para desarrollar investigaciones con los objetivos citados.

Entre las alternativas, tal vez la más completa sea la que utiliza el ordenador para desarrollar simulaciones con finalidades educativas. Estas simulaciones posibilitan, entre otras cosas, una ambientación realista. En ellas, se presenta un problema simplificado (aunque continúa siendo complejo) sobre el cual tomará una serie de decisiones y las ejecutará con el objetivo de solucionarlo. En este sentido, las simulaciones permiten que el individuo verifique el funcionamiento de determinado modelo de la realidad a partir de sus propias hipótesis (Eivazian, 1995), lo que, para el investigador, posibilita «irradiar luz» sobre los raciocinios (Lawson, 1983).

La actividad

En esta investigación, fue utilizado como actividad, el *software Carbópolis*¹ (Eichler, Del Pino, Pesa Filho y Vianna, 1998). El problema presentado en Carbópolis consiste en la disminución de la producción agropecuaria en una localidad cercana a una fábrica termoeléctrica. Para resolverlo, el estudiante puede verificar los daños

causados, el origen de los mismos y proponer una solución que ayude a disminuirlos o eliminarlos (Eichler y Del Pino, 2000).

El *software* fue modelado a partir de datos de una investigación sobre el potencial contaminador de la fábrica termoeléctrica de Candiota (Río Grande do Sul, Brasil), que evidenciaron que las medidas de control de las emisiones y las exigencias legales eran inadecuadas o insuficientes para evitar la contaminación ambiental (Fiedler, Martins y Solari, 1990; Fiedler y Solari, 1991).

El nexo causal de este problema ambiental –o la situación concreta que sirvió como referencia para la simulación por ordenador– es el siguiente: en la fábrica termoeléctrica de Candiota, la combustión de carbón conteniendo cantidades de azufre mayores a las recomendadas, entre 3,5% y 5% (en Carbópolis este valor aumenta hasta 6%), produjo grandes cantidades de dióxido de azufre, gas bastante reactivo que es considerado contaminante atmosférico. El dióxido de azufre fue disipado en la atmósfera, a través de la acción de los vientos, en dirección a Uruguay (en Carbópolis, en dirección a una región agropastoril). La humedad del aire y el agua de la lluvia reaccionaron con el gas contaminante y sobrevino la precipitación de lluvia ácida, que quemó los pastos y las plantaciones de arroz (en Carbópolis, las plantaciones son de soja) y, probablemente, atacó el sistema respiratorio y digestivo de los animales, debilitándolos.

Con el objetivo de llevar a término la resolución del problema en esta situación simbólica, el *software* contiene:

- un mapa para ayudar en la situación geográfica del problema presentado;
- personajes para describir el problema;
- menú e iconos que posibilitan la recolección de las muestras de aire y agua de lluvia sobre el mapa, análisis de las muestras e instalación de equipos anticontaminantes;
- herramienta de hipertexto con 56 tópicos y más de 250 enlaces activos;
- herramienta de editor de textos para registrar conclusiones parciales y el resultado de los análisis de las muestras durante la utilización del *software*; y
- dos cuestionarios para orientar la conclusión de las actividades propuestas por el *software* (Eichler y Del Pino, 2000).

La figura 1 presenta una de las ventanas de este programa.

Recolección y análisis de datos

El estudio de las conductas cognitivas de los estudiantes fue realizado con la colaboración de ocho participantes, de edades entre 14 y 17 años, a partir de un estudio de casos (Siegler y Crowley, 1991). Los participantes utilizaron el *software* en sesiones de 45 minutos, usando todas las sesiones que fueron necesarias para resolver el problema propuesto.

Figura 1
Representación de *Carbópolis*.



En investigaciones de este tipo, los significados de las acciones o de las operaciones sólo pueden ser identificados por el análisis interrelacionado de datos provenientes de distintas fuentes, de donde viene la necesidad de anales de registro que abarquen toda la historia de cada acción (Mosca, Silveira y Burigo, 1993). En esta investigación, en la que los chicos y chicas trabajaban con un problema simulado por ordenador, los historiales que registran el tiempo, las acciones llevadas a cabo y buena parte de los escritos forman parte del ambiente de la simulación (Barab, Bowdish y Lawles, 1997). Estos archivos son individuales, integrados, continuos, y sin enmiendas fueron considerados datos de la investigación.

Durante la solución de la tarea, se utilizó la observación sistemática y el método clínico para acompañar los procesos de reelaboración del nexo causal, o sea, de solución de la tarea. Las intervenciones del investigador que acompañó todo el proceso, fueron limitadas. Las siguientes cuestiones sirvieron, en general, como orientación de las preguntas que se hicieron:

- 1) Cuando los participantes consiguieran situar geográficamente el problema, el investigador les preguntaría algo sobre por qué el problema estaría planteado de esa forma, cómo habían llegado a esa conclusión, cuál era la explicación que podrían dar al problema y cómo lo resolverían.
- 2) Cuando los participantes identificaran una posible causa del problema, el investigador les preguntaría el motivo para atribuirle esa posible causa: cómo lo hicieron para llegar a esa conclusión, cómo podrían garantizar que esa sería la causa del problema, cuál era la explicación para esa posible causa y qué se podría hacer para resolver el problema.
- 3) Finalmente, cuando los participantes resolvieran el problema, el investigador preguntaría cómo llegaron a esa conclusión, cómo podrían explicarla y si el problema

que les fue presentado existe, existió o puede existir en la realidad.

Las entrevistas fueron grabadas en cintas de audio y posteriormente transcritas. El análisis de cada caso fue realizado bajo la tradición de investigación de inspiración piagetiana (Inhelder y Cellérier, 1996). También fueron utilizados como datos, los textos escritos por los participantes durante la utilización del *software* (libreta de anotaciones e informes). La triangulación de todos los datos se hizo efectiva a través de la construcción de protocolos (Stake, 1994). Los dos datos provenientes del historial de uso del *software* y los textos escritos por los participantes permitieron una descripción de cómo se desarrollaron las decisiones tomadas por los participantes en relación con el problema ambiental. Los datos provenientes de las entrevistas se sumaron a los anteriores para describir las conductas cognitivas de los participantes en la solución de la actividad que se les presentó.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se describen algunas conductas cognitivas relacionadas con la solución de problemas ambientales. La presentación de estas conductas está acompañada de una teorización de las estrategias volcadas a la investigación, propuesta por Inhelder y Caprona (1996a, 1996b), algunos de cuyos elementos fueron abordados en el apartado dedicado al análisis microgenético.

La representación del problema propuesto

Al principio se da una exploración al azar: «[el niño] no inventa procedimientos en función de una idea directriz [...]» (Inhelder y Caprona, 1996b, p. 59). En este momento, en la mayoría de los casos, hubo una exploración

sobre los significados del dibujo que representa la región en que ocurre el problema, también sobre los iconos de las barras de herramientas y de estatus y sobre el menú con las diversas funciones del programa.

La mayoría de las veces fueron verificadas dos actitudes. Por un lado, parecía que algunos individuos esperaban que sucediera algo y exploraron la ventana del programa de forma aleatoria, no creando procedimientos para su utilización. La diferenciación tuvo lugar de un modo muy gradual, tanto para las diferentes imágenes como para las herramientas que el programa posee. Por otro lado, otros participantes adoptaron un procedimiento para descubrir cómo funcionaba la herramienta, aun sin tener absoluta convicción sobre el funcionamiento del programa.

A medida que se fueron diferenciando los significados que constituyen la novedad de la actividad a ser resuelta, el individuo hace para sí mismo una «primera representación del estado final deseado, y sus acciones [fijaron] más el objetivo a ser alcanzado, que el medio de resolución» (Inhelder y Caprona, 1996b, p. 43). Además, esa representación inicial del individuo significó «la activación de conocimientos representativos y procedimentales anteriormente adquiridos» (Mosca, Silveira y Burigo, 1993).

Por eso, se puede decir que se manifestaron dos tipos de comportamientos: aquéllos de quien realiza una representación clara de la situación problema y, por el contrario, aquéllos orientados por representaciones imprecisas. Estas representaciones se relacionaron con ideas previas que tenían los individuos sobre las relaciones causales de los factores que intervenían en el problema (Park y Pak, 1997).

Así, en unos casos, los participantes comenzaron por la definición de una hipótesis vinculada a la identificación y la diferenciación de las imágenes de la figura 1. Como el mapa sugería algunos significados, las hipótesis iniciales estaban nítidamente relacionadas con cuestiones figurativas. Por ejemplo, al identificar en el esquema la actividad de la fábrica y la utilización de agua en su funcionamiento, se puede entender que dijeran: «*el río está causando el problema, está llevando la contaminación a la ciudad*» (Mathias, 15 años y 4 meses). Además, al relacionar las imágenes con situaciones reales vinculadas a la contaminación, el problema se representa como «*contaminación de los autos en la ciudad*» (Carolina, 14 años y 2 meses).

Por lo tanto, primero se dividieron los elementos contenidos en la imagen para después realizar una coordinación en un nivel superior en la cual se atribuyeron significados relativos al problema propuesto en la simulación a lo dibujado en el mapa. Esta división pasó por cuestiones como: «*¿qué es esa cosa amarilla?, ¿es para representar una ruta?, ¿la plantación de trigo [en realidad, ¿era soja!] es aquí?*» (Lía, 17 años).

En otros casos, ya desde el inicio integraron los observables, atribuyendo a la contaminación del aire y a la fábrica la causa del problema propuesto. Esta diferenciación inicial es fruto de un conocimiento previo sobre efectos y causas de problemas ambientales generales tal como este alumno manifiesta: «*ya oí hablar de varios problemas ambientales, en especial, así, de ese, no sé*» (Paulo, 14 años).

No obstante, aunque la hipótesis inicial estuviera consolidada, ésta pudo ser formulada como tal o manifestando conclusiones. Un ejemplo de este tipo fue: «*está mal una fábrica cerca de una estancia, cerca de un río, cerca de una reserva, de una ciudad, porque eso va a afectar a la población. También está mal que haya una mina de carbón cerca de una reserva, de un río, de una estancia y de una ciudad. La fábrica va a dejar residuos químicos que no usará más y estos residuos pueden ir a parar al río y contaminar, eso puede causar enfermedades a la población de la ciudad, también trayendo enfermedades a los animales que habitan allí*» (Carolina, fragmento de la libreta de anotaciones). En este sentido, Carolina presentaba un especial interés por las cuestiones ambientales y una típica conducta ambientalista. Pero frente a un caso que le pedía objetividad para llevar a cabo un análisis ambiental, ella lo representó de una forma mucho más amplia de lo que el problema podía sugerir.

También hubo quien no llegó a realizar una representación inicial muy consolidada. Piter (15 años y 3 meses), por ejemplo, tal vez en un esbozo de hipótesis manifestó una ligera centralidad con relación a sus acciones iniciales sobre el mapa, pero sin realizar ninguna conexión. Piter solamente llegó a hacerlas posteriormente después de obtener y elaborar más informaciones a partir de la realización de entrevistas y de la recolección y análisis de las primeras muestras. Finalmente diferenció y relacionó los diversos significados relacionados con las regiones del mapa.

El encadenamiento de los procedimientos

Además de la representación del estado final, también se diferenciaron progresivamente las características del método analítico. Los procedimientos de análisis de las muestras de aire o agua de lluvia fueron, en general, la forma de confirmación de las hipótesis de los individuos. Así, por ejemplo, mientras Piter no descubrió la sucesión «muestreo → análisis» –aunque esta sucesión también tenga algo del conocimiento de las herramientas y de las funciones de la simulación–, él no avanzó en la identificación del problema que estaba procurando resolver. Por otro lado, mientras no se reconozca esta sucesión, no se avanza en el proceso de respuesta a la hipótesis.

Una evidencia de la toma de conciencia del método analítico sería: «*¿cómo voy a hacer para pescar esa cosa, para analizar aquel gas que está saliendo de la fábrica? ¿Cómo voy a hacer para llevar ese armatoste [refiriéndose a los dibujos del muestreador que están incluidos en los temas] allá? ¿Voy a tener que descubrir eso también?*» (Lía, después de leer sobre algunos temas en la biblioteca).

En este caso, los procedimientos que iban aplicando los alumnos dependían, también, del descubrimiento de cómo ejecutar esos procedimientos con el programa de ordenador. De este modo, no depende sólo del conocimiento de los conceptos que se relacionan con el conocimiento de los procedimientos, sino también del conocimiento del aparato, de la tecnología, etc. Así, se puede decir que esta tríada de conocimientos tuvo un camino de diferenciación mutuamente relacionado, de forma que el desarrollo de un componente posibilitó el progreso del otro. Cuando

se daba una diferenciación muy tardía, en uno de los componentes de esta tríada, se dificultaba sobremanera la solución del problema propuesto por el *software*.

La persona planeaba sus acciones a medida que diferenciaba los conceptos relacionados con los efectos y las causas del problema propuesto, los procedimientos para la solución del problema (resumidamente: muestreo y análisis, identificación del problema e instalación de equipo anticontaminante eficiente), y las herramientas y las funciones presentes en la simulación del ordenador.

En el curso de estas acciones también surgieron nuevos observables. Por ejemplo, durante la lectura de un tema relacionado con la caracterización de contaminantes atmosféricos, la selección del patrón de análisis entró en cuestión: «*el azufre es un gas que está presente en el carbón y en el petróleo. ¿Cómo se puede medir el azufre?*» (Lía).

Pero estos nuevos puntos de observación no fueron escogidos aleatoriamente sino que fueron seleccionados para poder ser integrados a una representación apoyada sobre otras anteriores. «Los individuos procuran inicialmente explicar los fenómenos a través de una teoría general implícita, a la cual se atienen a punto de generalizarla» (Inhelder y Caprona, 1996b, p. 47). Así, una vez que surgen hechos o informaciones que son imprevisibles para los individuos, éstos pueden crear otras representaciones, diferentes de aquéllas con las cuales venían trabajando. El suceso o el fracaso de los individuos en la acción puede llevarlos a reestructurar conceptualmente el problema que están operando. Pero «un fenómeno frecuentemente observado es la inadecuación del esquema puesto a funcionar inicialmente y que se constituye en obstáculo para la resolución del problema» (Inhelder y Caprona, 1996b, p. 72). En este caso, la reorientación de las conductas en curso pasó por la toma de conciencia de este impedimento.

En relación con las reorientaciones de los procedimientos, una particularidad interesante que se encontró fue la toma de conciencia de la necesidad de perfeccionar los procedimientos, a través de la atención en la lectura de los temas que se pueden encontrar en la biblioteca del programa de simulación. En este sentido, también la selección de lo que los chicos y chicas juzgan necesario leer es reveladora.

Algunos de ellos manifestaron poco conocimiento sobre el camino que deberían tomar para resolver el problema y, en este caso, las observaciones de un texto sobre determinado tema les proporcionó un apoyo para la orientación de sus acciones. Por ejemplo, Mathias, cuando aún no sabía cómo desarrollar el procedimiento de análisis de las muestras recolectadas, buscó nuevamente el texto sobre «Estrategias de resolución de problemas», como ya había hecho varias veces. Esta vez, leyó con más atención la parte relacionada con la ejecución de un experimento dirigido a comprobar una hipótesis. Una explicación del motivo de retorno a ese texto fue: «*para poder más; para saber cuál es la estrategia que puedo tener para resolver ese problema*» (Carolina).

Progresivamente, las hipótesis iniciales sobre el nexo

causal del problema y sobre los procedimientos que serían desarrollados para su solución fueron siendo redefinidos, depurados y puestos a prueba. En este momento, los éxitos y los fracasos que los chicos y chicas obtienen les servirán de indicativos para definir sus trayectorias. Tal como interpretan Inhelder y Caprona (1996b, p. 49), esto sucede porque «el éxito práctico le permite al individuo establecer recurrencias que aparecen cuando la repetición de las mismas acciones produce los mismos resultados positivos [y] [...] el fracaso provoca una búsqueda relativa al procedimiento [...] o a las propiedades del objeto [...]. Los fracasos, al provocar fases de exploración, llevan a nuevos focos de observación, siendo también condiciones de progreso, una vez que suscitan una búsqueda de aquello que causa el insuceso».

Los procedimientos que evidenciaron el éxito o el fracaso de las hipótesis y sus reorientaciones fueron, entre otros: la disposición geográfica de los muestreadores en el diseño (mapa temático) que representa la región de *Carbópolis* y la selección de los parámetros a ser ejecutados para el análisis de las muestras recogidas. Este tipo de apoyo espacial, aunque en el problema de este estudio tenga también implicaciones simbólicas, forma parte de la resolución del problema, una vez que «el individuo debe disponer [...] de un cuadro de referencias a fin de situar los elementos necesarios para la solución de un problema» (Inhelder y Caprona, 1996b, pp. 64-65).

En este sentido, fueron evidentes las relaciones entre la interpretación de los diseños que contenía el mapa y la ubicación, distribución y orientación de los efectos relacionados con el problema ambiental. Esa ubicación se hizo a través de las declaraciones de los vecinos de la región (o «entrevistas») o por la colocación de los muestreadores antes del análisis de los contaminantes atmosféricos. También se vio la necesidad de diferenciar la dirección de los vientos que dispersan la contaminación sobre la región.

Así, los procedimientos de distribución de los muestreadores sirvieron de evidencia para el conocimiento de las hipótesis que los individuos tenían al explorar el problema. Por ejemplo, Alexandre (14 años y 4 meses) y Paulo trabajaron con una hipótesis causal relacionada con la fábrica termoeléctrica. En este sentido, Alexandre instaló sólo un muestreador, directamente sobre la fábrica. Inicialmente, Paulo instaló dos, uno también sobre la fábrica y otro sobre el campo que presentaba problemas con la soja (Granja Soya). Posteriormente, para confirmar su hipótesis, Paulo instaló un muestreador a la derecha de la fábrica, en una región que no presentaba problemas de contaminación, justamente porque en el mapa los vientos soplaban de derecha a izquierda.

En los otros chicos y chicas, la distribución de los muestreadores al comienzo fue aleatoria. Solamente con el descubrimiento de nuevas observaciones se tornó sistemática; o sea, los muestreadores pasaron a ser situados uno en cada región representativa, junto a los campos, la ciudad, la reserva forestal, la fábrica y la mina de carbón. Por ejemplo, antes que ese procedimiento se consolidara, Claudio colocó y retiró los muestreadores varias veces. Aún al inicio de su segunda sesión, él no parecía manifestar una conducta de

distribución relacionada con su hipótesis ni con la ubicación geográfica del problema. Solamente cuando la definió, la distribución de los muestreadores dejó de ser aleatoria y pasó a ser consistente con la hipótesis que estaba siendo utilizada como solución al problema. En ese momento decidió distribuir un muestreador por región para poder comparar los datos de todas las regiones con los efectos declarados o no por los vecinos de los diversos entes locales.

En resumen, en el transcurso de esta investigación, continuamente se observaron dos comportamientos distintos. Se puede afirmar que, en uno de ellos, el individuo construye una hipótesis acerca del problema y, a partir de esa hipótesis, utiliza estrategias y procedimientos bien definidos frente al mismo. En el otro, el individuo interpreta las características presentadas por el medio sobre el cual intenta resolver el problema y va probando más o menos al azar hasta construir su procedimiento estable de análisis.

Diversos estudios también han evidenciado estos dos tipos de control existentes en el sistema cognitivo de las personas. Estos controles pueden ser denominados respectivamente *descendiente* y *ascendiente* (Mosca, Silveira y Burigo, 1993), *top-down* y *bottom-up* (Beasley y Waugh, 1997; Jacques y Fagundes, 1999), *inferencias hacia adelante* (de la predicción a la consecuencia) e *inferencias hacia atrás* (de las consecuencias a la predicción) (Bindra, Clarke y Shultz, 1980) o *basados en las ideas* y *basados en la evidencia* (Park y Pak, 1997).

El desarrollo conceptual

En relación con los conceptos, la comprensión de las causas del problema y la toma de conciencia en dirección a la objetividad es gradual, y ofrece resistencias. Inicialmente, la hipótesis de Carolina estaba relacionada con la contaminación de los ríos; sin embargo, aun cuando se le preguntaba sobre la dirección de la corriente del río, su respuesta indicó que no hubo un desequilibrio de ese esquema: «él [el río] viene del bosque [está en la parte de arriba del mapa] hacia abajo. Entonces, toma parte de la fábrica [centro] y trae un poco para la ciudad [abajo], un poco allí para el campo [arriba]» (Carolina). O sea, el río dispersa el contaminante contra la corriente. Ella tardó en tomar conciencia de la inconsistencia de su hipótesis y, hasta que no lo hizo, no llegó a una construcción causal más objetiva en relación con el problema que estaba intentando solucionar.

La selección del parámetro de análisis y su justificación tampoco pudo evidenciar la hipótesis causal que la alumna atribuyó al problema que trató de resolver. El siguiente recorte indicaría el desarrollo de una hipótesis causal y su relación con los análisis: «(Entrevistador): ¿Por qué quieres analizar el gas de la fábrica? (Lía): Sí, porque no sé qué tipo de elementos químicos están usando en la fábrica. No sé lo que está saliendo de allí. Puede ser eso lo que está perjudicando al ganado y a la vegetación local. Hay que analizar todo. Agua, todo; hasta el suelo tiene que ser analizado.»

Después, Lía volvió a confirmar esa idea, ya teniendo un poco más claros los parámetros que debían ser ana-

lizados, es decir, la hipótesis se fue objetivando: «(Lía): Yo tengo que analizar ese humo, porque ese humo tiene azufre (80%) [aunque no se puede saber si se refería a alguna cuantificación porcentual de su certeza o a la concentración que sería encontrada en el humo].» Después de haber confirmado la presencia de dióxido de azufre en el humo de la fábrica, ella piensa desarrollar una estrategia para verificar la posible presencia de algún otro contaminante que, junto a éste, podría estar causando los efectos observados: «Yo tengo que encontrar la manera de hacerlo, de recolectar una muestra del aire para saber si tiene algún otro tipo de contaminante» (Lía).

Además, el parámetro escogido para el análisis (partículas de material, hidrocarburos, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos, dióxido de azufre o pH del agua de lluvia) pudo también indicar los dos controles cognitivos utilizados por los individuos, es decir, si fueron dirigidos por una hipótesis o por la elaboración de hechos contingentes. Por ejemplo, Paulo utilizó una única hipótesis causal, procediendo siempre al análisis del dióxido de azufre. Por el contrario, Piter, al inicio, mostraba una actividad de fuerte investigación, buscando el análisis de todos los tipos de contaminantes atmosféricos. Pero si bien ésa fue la conducta inicial de Piter, dejó de serlo en la fase de solución del problema cuando sus análisis se relacionaron con la evaluación de la eficiencia de los diferentes equipos anticontaminantes instalados en la fábrica. Al comienzo de esta fase, aún desarrollaba el procedimiento de análisis del pH del agua de la lluvia. Pero, a partir del momento en que estuvo seguro de que la disminución de este índice era debida a las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, dejó de analizar el pH del agua de lluvia y procuró identificar el contaminante que estaría ocasionando esta disminución. Posteriormente, cuando tuvo seguridad de que la causa era el dióxido de azufre, solamente prosiguió con estos análisis. Es decir, Piter avanzó en la secuencia causal.

No obstante, a pesar de todos los éxitos graduales o inmediatos, la justificación sobre la utilización del procedimiento, así como la explicación causal dada al problema a ser solucionado, puede manifestar inconsistencias. En este sentido, por ejemplo, Alexandre, un alumno que resolvió el problema rápidamente, no le atribuyó las relaciones de conservación y de transformación de substancias que están relacionadas al nexo causal del mismo, tal vez por haber realizado una navegación sin la atención debida y con un exceso de confianza en sus certezas. Enseguida que comenzó a utilizar el programa, reconoció los dibujos en la imagen e identificó la fábrica termoeléctrica, y a partir de ellos desarrolló la idea de la lluvia ácida como el factor causal. Posteriormente, explicitó que ya había leído y conocía ese tipo de problema ambiental.

Al mismo tiempo, durante su poca permanencia en el programa –y tal vez justamente por eso– manifestó confusiones conceptuales con relación al sistema químico: (Alexandre): «antes de la fábrica [la localización espacial, en relación a la dirección de los vientos] la lluvia era normal, ¿no?, no era ácido el pH. (Entrevistador): ¿que es lo tornó ese pH más ácido? (Alexandre): Sería el hidróxido de azufre. (Entrevistador): ¿Y por qué el hidróxido de

azufre torna el pH más ácido? (Alexandre): *La reacción que hay allí*. Aun después de haber resuelto el problema, al recordar los caminos recorridos para la solución, continuó manifestando, en parte, esas mismas confusiones: (Entrevistador): *«A tu modo de ver, ¿resolviste el problema?»* (Alexandre): *No, no. Lo disminuí ¡Ahhh! ¿Cómo se dice?... a niveles mucho más tolerables.* (Entrevistador): *Pero ¿tolerables los niveles de qué?»* (Alexandre): *De... [pausa] de la acidez del agua y del [pausa] monóxido... [pausa] de azufre.* (Entrevistador): *¿Y tú crees que eso va a resolver el problema?»* (Alexandre): *A medio plazo sí.»*

Pues bien, el pH es un índice que indica acidez. No es el índice el que queda ácido, sino lo que él indica. También confunde el dióxido de azufre con otros supuestos compuestos químicos que denomina «monóxido de azufre» y «hidróxido de azufre». Además, en determinado momento de la entrevista, situó el dióxido de azufre dentro del carbón. De este modo, Alexandre no presentó su resolución con el debido conocimiento de la sistematización involucrada y permaneció en la superficie del problema. Podría haberlo hecho, seguramente, si el *software* tuviera una finalidad o una función de control, pero no fue esto lo que se pretendió (Eichler y Del Pino, 2000).

Estos fragmentos anteriores dejan en evidencia algunas dificultades relacionadas con el lenguaje. Su análisis recae en la ciencia del signo, la semiología y la semiótica. Estos aspectos semióticos pueden ser, de este modo, relacionados con la formación de los símbolos: «tomada en el sentido estricto, la noción de *representación* comporta [...] dos aspectos complementarios: la “semioidad” y la posibilidad, para el individuo, de reflexionar sobre los fines y los medios que se propone. Estos dos aspectos definen la función esencialmente instrumental de la representación. [...] Los dos aspectos de la representación son complementarios e indisolubles: contribuyen en la formación de instrumentos cognitivos que se tornan, para el individuo, “objetos que ayudan a pensar”.» (Inhelder y Caprona, 1996, p. 34).

El lenguaje también es una representación que cumple una función de auxilio para el *pensar*, tal como ya indicaba el fundador de la química moderna: «Lavoisier manifiesta un firme interés por la nomenclatura y por las cuestiones del lenguaje. Antes de él, la química y el lenguaje no formaban un par armonioso: era “lugar-común”, para los filósofos, deplorar el modo cómo se daban a entender los químicos. [...] Cuando Lavoisier revolucionó la química, en 1789, su Discurso preliminar es un himno a la importancia de una denominación precisa y minuciosa [...]: “como son las palabras que conservan las ideas y las transmiten, sucede que no se puede perfeccionar el lenguaje sin perfeccionar la ciencia, ni la ciencia sin el lenguaje, y que cualquiera que fueran los hechos, por más justas que fueran las ideas que los hicieron nacer, ellos apenas transmiten impresiones falsas si no tenemos expresiones exactas para traducirlos”.» (Laszlo, 1995, p. 42).

Otro ejemplo de las dificultades de la comprensión de la química relacionada con el lenguaje apareció en la etapa de solución del problema. El único equipo eficiente para suprimir la causa de la contaminación se llama *desulfuriza-*

dor, esto sucede porque realiza la desulfuración de los combustibles fósiles, o sea, retira el azufre presente en estos combustibles. Pero, ¿cuál es la relación entre el término *azufre* y el afijo *sulfur*? Esto puede parecer obvio para un químico, pero no es de conocimiento general. En este sentido, esa asociación de términos pudo indicar la relativa dificultad de ciertos individuos para establecer el método más eficiente de control de la contaminación del aire para el problema propuesto, aunque a esa dificultad se le deba agregar la falta de atención a la lectura de los temas relacionados con los equipos.

Al inicio del diseño del procedimiento para la solución del problema de la lluvia ácida, Claudio manifestó, ya en sus primeras ideas, una hipótesis que es bastante similar al proceso de desulfuración de combustibles fósiles. Después de haber identificado la relación causal vinculada al problema se le preguntó sobre cómo resolverlo y él respondió: *«no sé, alguna manera de tratar ese azufre. Qué sé yo, hasta que se termine»* (Claudio). Durante la continuidad de la utilización del programa, esta hipótesis fue reafirmada. Durante su navegación en el hipertexto, intentó instalar el desulfurizador, pero esto no fue posible, pues no había cumplido la etapa de identificación del problema. No obstante, explicó el funcionamiento del equipo, infiriendo su éxito: *«es lo que parece más apropiado, antes de la combustión, retiraba el azufre»* (Claudio).

Al continuar usando del programa, Claudio verificó y entendió que necesitaba completar el primer informe para poder instalar alguno de los equipos anticontaminantes. Posteriormente, mantuvo el procedimiento de instalación del desulfurizador, no buscó la instalación de ningún otro equipo, ni para confirmar su hipótesis, ni para encontrar otras alternativas. En este sentido, Claudio en sus acciones se mostró bastante seguro de lo que haría, una vez que los caminos que recorrió eran necesarios en relación con las hipótesis para la solución del problema formuladas por él.

Los múltiples perfiles del análisis ambiental

Finalmente, nos propusimos estudiar la integración interdisciplinaria que el análisis ambiental espera (Tauk-Tornisielo, Gobbi, y Fowler, 1995). En esta investigación, ninguno de los ocho chicos y chicas participantes llegó a manifestar la integración de los diferentes sistemas relacionados con el análisis de los problemas ambientales. Fowler y Aguiar (1995) ya advirtieron de cuán difícil es verificar esto en el propio ejercicio profesional. Sin embargo, entre todos los chicos y chicas, la mayoría de los sistemas fueron representados aunque a partir de un uso esporádico.

En las múltiples conductas estudiadas, se pudo evidenciar un ejemplo típico del pensamiento centrado en cada individuo como causa del problema *«creo que... [pausa] ¿lo que podría estar causando el problema? Creo que sería uno mismo que estaría creando el problema»* (Carolina). Esta conducta también fue evidenciada en la solución propuesta, en la que se refirió de forma completamente espontánea a estrategias de educación: *«(Caro-*

lina): *Vamos a suponer, si hubiera gente en esa ciudad, gente de verdad...* (Entrevistador): *Sí, ¿y cómo se podría resolver el problema?* (Carolina): *Podríamos resolverlo, mostrándoles a las personas lo que están haciendo, cosas equivocadas». Luego, ella volvió a manifestar su visión que iba más allá del programa, demostrando sus conocimientos en cuestiones ambientales y las necesidades que éstas presentan: «Vamos a suponer, está, que en este lugar [toda la región de Carbópolis] haya personas... Porque si fueran como uno, yo pondría carteles, iría a programas de televisión, para hacer que las personas se conciencien sobre lo que están haciendo [contaminando el aire, construyendo cosas en lugares equivocados, etc., conforme a su hipótesis inicial]» (Carolina).*

Al mismo tiempo, este ambientalismo no le negó la posibilidad de reconstruir su hipótesis en dirección a la causa objetiva del problema. En este sentido, es de destacar que esta reconstrucción de la hipótesis siempre fue orientada por un pensamiento volcado a conservación de la naturaleza, la ecología, los ecosistemas. Antes de la objetivación, Carolina ya había comentado sobre los problemas de contaminación urbana causados por los vehículos, la localización geográfica de la mina de carbón y de la fábrica, el agujero en la capa de ozono, etc.

Piter ponderó que sería interesante incluir, en la solución, la cuestión económica, proponiendo aplicar algún presupuesto para poder proceder con los muestreos y el análisis e instalación o desinstalación de los equipos anticontaminantes. Estas ideas permiten sugerir que este alumno podría haber integrado mejor y de forma más eficiente esta noción si el programa la hubiera tenido en cuenta en su diseño.

En la utilización de las nociones jurídicas, se nota la falta de atención, el poco interés o la rapidez en la elaboración de la conclusión por parte de los chicos y chicas, cosa que conllevó que algunas veces llegaron a soluciones que no tuvieron en cuenta el tema incluido en el programa que hace referencia a la legislación sobre el asunto. En ese sentido, es interesante verificar que Piaget (1972) ya había hecho referencia a las dificultades en el surgimiento del pensamiento jurídico.

Finalmente, además de estos análisis parciales, se dio la que podría ser considerada, sin duda, la solución-patrón en relación con el sistema físico-químico: *«la mina de carbón tiene un alto índice de azufre (6%). Ese azufre es utilizado en la producción de energía eléctrica por la Fábrica Termoeléctrica. En la combustión del carbón, el azufre, en contacto con el aire, forma el dióxido de azufre. El agua de la lluvia reacciona con el dióxido de azufre. El agua de la lluvia reacciona con el dióxido de azufre. Esa lluvia ácida es la que viene causando la muerte de animales y destrucción de las plantaciones» (Claudio, describiendo detalladamente las causas de los problemas, a partir del informe); y «el azufre que estaba concentrado en la atmósfera estaba en un nivel muy superior al permitido por la Constitución. El nivel máximo permitido en leyes es de 0,1 mg/m³, y en el análisis de las muestras fueron constatados niveles superiores a 1,8 mg/m³» (Claudio, describiendo las cantidades de los problemas, a partir del informe).*

RESUMEN

Tal como se ha indicado, se observaron dos tipos de control del sistema cognitivo de los individuos durante la solución del problema. En uno de ellos, el individuo construye una hipótesis acerca del problema y, a partir de esa hipótesis, utiliza estrategias y procedimientos bien definidos frente al mismo. En el otro, el individuo interpreta las características contextuales presentadas en el programa y va probando más o menos al azar hasta construir un procedimiento estable de análisis.

Con relación al dominio de conocimiento contemplado por esta investigación, algunas conclusiones parecen posibles. En el estudio, quedaron de manifiesto pensamientos que indicaron nociones de diferentes sistemas relacionados con temas ambientales, aunque ningún participante llegó a manifestar la integración de los distintos sistemas. Por lo tanto, se puede decir que, en relación con las causas y soluciones de problemas ambientales, existen individuos con perfiles diferentes. Están aquéllos que actúan orientados por las nociones económicas. Unos son dirigidos por las leyes de Derecho. Otros se guían por las descripciones y explicaciones de los modelos de las ciencias naturales. Existe también quien considera que son necesarias campañas de concienciación y entiende que la divulgación de informaciones lleva a un cambio de actitudes. En fin, los perfiles son muchos y bastante diferenciados.

Finalmente, aunque esto no haya sido declarado a lo largo de este artículo, esta investigación guarda relación con la evaluación del proyecto pedagógico subyacente a los materiales didácticos informatizados, como *Carbópolis*, que son desarrollados por el primer autor (Eichler y Del Pino, 1998). Fue posible verificar que el *software Carbópolis* permitió que individuos de diversos perfiles, que utilizaron diferentes caminos, reconstruyeran el nexo causal próximo del problema simulado y así lo resolvieran. Es en este sentido que se entiende, finalmente, que las estrategias de enseñanza y de aprendizaje volcadas hacia las cuestiones ambientales pueden estar relacionadas con el uso de diversas tecnologías, entre ellas las simulaciones computacionales.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer: al CNPq por las becas de investigación concedidas a los autores de esta investigación; al coordinador del Área de Educación Química - UFRGS, profesor Dr. José Claudio Del Pino, por el continuo apoyo a las discusiones interdisciplinarias; y al *Colégio de Aplicação* de la UFRGS, por la estructura que nos fue cedida para desarrollar esta investigación.

NOTAS

* Versión en castellano de Gabriela Petit.

¹ Una nueva versión de este *software* (Eichler, Del Pino, Araújo e Xavier, 2003) compatible con plataformas Windows y Linux, de distribución gratuita, puede ser encontrada en versiones en portugués y español en el sitio: www.iq.ufrgs.br/aeq/carbop.htm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGELIDOU, E., BALAFOUTAS, G. y FLOGAITIS, E. (2000). Schematisation of concepts. A teaching strategy for environmental education implementation in a water module third grade students in junior high school (gymnasium-15 years old). *Environmental Education Research*, 6(3), pp. 223-243.
- ASSMANN, H. (1996). Eco-teologia: um ponto cego do pensamento cristão? *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 6(2), pp. 85-106.
- BARAB, S.A., BAWDISH, B.R. y LAWLESS, K.A. (1997). Hypermedia navigation: profiles of hypermedia users. *Educational Technology Research and Development*, 45(3), pp. 23-41.
- BEASLEY, R.E. y WAUGH, M.L. (1997). Predominant initial and review patterns of navigation in a fully constrained hypermedia hierarchy: An empirical study. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 6(2), pp. 155-172.
- BINDRA, D. CLARKE, K.A. y SHULTZ, T.R. (1980). Understanding predictive relations of necessity and sufficiency in formally equivalent «causal» and «logical» problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(4), pp. 422-443.
- BOTKIN, D. y KELLER, E. (1995). *Environmental Science: Earth as a living planet*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- CUSTÓDIO, H.B. (1995). Legislação brasileira do estudo de impacto ambiental, en Tauk-Tornisielo, S.M., Gobbi, N. y Fowler, H.G. (orgs.). *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*, pp. 45-64. Sao Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.
- DUVEEN, J. y SOLOMON, J. (1994). The great evolution trial: Use of role-play in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), pp. 575-582.
- EICHLER, M.L. y DEL PINO, J.C. (1998). Modelagem e implementação de ambientes virtuais de aprendizagem em ciências, en *Anais: IV Reunião da Rede Iberoamericana de Informática Educativa*. Brasília.
- EICHLER, M.L. y DEL PINO, J.C. (2000). Carbópolis: um software para educação química. *Química Nova na Escola*, 11, pp. 10-12.
- EICHLER, M.L., DEL PINO, J.C., PESA FILHO, F.L. y VIANNA, V. (1998). *Carbópolis (Versão 1.1)* [Software]. Porto Alegre: Área de Educação Química. <http://www.iq.ufrgs.br/aeq/carbop.htm>.
- EICHLER, M.L., DEL PINO, J.C., ARAÚJO, R.C. y XAVIER, P.R. (2003). *Carbópolis (Versão Java)* [Software]. Porto Alegre: Área de Educação Química. <http://www.iq.ufrgs.br/aeq/carbop.htm>.
- EIVAZIAN, A.M.B. (1995). O ensino de ciência usando simulações. *Acesso*, diciembre, pp. 17-20.
- FARYNAIARZ, J.V. y LOCKWOOD, L.G. (1992). Effectiveness of microcomputer simulations in stimulating environmental problem solving by community college students. *Journal of Research in Science Education*, 29(5), pp. 453-470.
- FIEDLER, H. y SOLARI, J.A. (1991). Concentração de metais em aerossóis atmosféricos. *Ambiente*, 5(1), pp. 26-32.
- FIEDLER, H., MARTINS, A.F. y SOLARI, J.A. (1990). Meio ambiente e complexos carboeléticos: o caso Candiota. *Ciência Hoje*, 68(12), pp. 38-45.
- FOWLER, H.G. y AGUIAR, A.M.D. (1995). A integração da teoria ecológica na análise ambiental, en Tauk-Tornisielo, S.M., Gobbi, N. & Fowler, H.G. (orgs.). *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*, pp. 166-175. Sao Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.
- FURIÓ, C.J., ITURBE, J. y REYES, J.V. (1995). ¿Cuánto contaminará una central térmica que funciona con fuel? Un ejemplo de resolución de problemas como investigación. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 5, pp. 27-36.
- GIACCOIA Jr., O. (1996). Hans Jonas: o princípio da responsabilidade. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 6(2), pp. 63-84.
- HAMPTON, E. (1993). The great oil spill cleanup contest [CD-ROM]. *Science scope*, 16, pp. 16-19. Resumo de: ERIC, item EJ473485.
- INHELDER, B., ACKERMANN-VALLADÃO, E., BLANCHET, A., KARMILOFF-SMITH, A., KILCHER-HAGEDORN, H., MONTANGERO, J. y ROBERT, M. (1987). Das estruturas cognitivas aos procedimentos de descoberta: esboço de pesquisas atuais, en Leite, L.B. y Medeiros, A.A. *Piaget e a escola de Genebra*, pp. 75-91. Sao Paulo: Cortez.
- INHELDER, B. y CAPRONA, D. (1996a). Rumo ao construtivismo psicológico: estruturas? procedimentos? os dois «indissociáveis», en Inhelder, B. y Cellérier, G. (orgs.) *O desenrolar das descobertas da criança: um estudo sobre as microgêneses cognitivas*. Trad. de Gruman, E., pp. 7-37. Porto Alegre: Artes Médicas.
- INHELDER, B. y CAPRONA, D. (1996b). Um percurso de pesquisa, en Inhelder, B. y Cellérier, G. (orgs.) *O desenrolar das descobertas da criança: um estudo sobre as microgêneses cognitivas*. Trad. de Gruman, E., pp. 38-79. Porto Alegre: Artes Médicas.
- INHELDER, B. y CELLÉRIER, G. (1996) *O desenrolar das descobertas da criança: um estudo sobre as microgêneses cognitivas* Trad. de Gruman, E. Porto Alegre: Artes Médicas.
- INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL EDUCATION, EUA (1994). *Closing the Loop: Integrated Waste Management Activities for School & Home. K-12 Edition. A School-Based Waste Minimization and Education Program* [CD-ROM]. Changin Falls, Ohio, EUA: Institute for Environmental Education. Resumo de: ERIC, item ED404114.
- JACQUES, T.G. y FAGUNDES, L.C. (1999). Procedimentos: o desenrolar das ações/operações na construção de apresentações hipermídia. *Informática na Educação: Teoria & Prática*, 2(2), pp. 99-108.
- KANKAANRINTA, I. (1991). Studying a finish Forest ecosystem with a simulation program. *Computers Education*, 16(1), pp. 105-108.
- KRIGER, M.G., MACIEL, A.M.B., RCHA, J.C.C., FINATTO,

- M.J.B y BELIVACQUA, C.R. (1998). *Dicionário de Direito Ambiental: terminologia das leis do meio ambiente*. Porto Alegre: Ed. Universidade - UFRGS, Procuradoria Geral da República.
- LASZLO, P. (1995). *A palavra das coisas: ou a linguagem da Química*. Trad. de Gonçalves, R. y Simões, A. Lisboa: Gradiva.
- LAWSON, A.E. (1983). The effects of causality, response alternatives and context continuity on hypothesis testing reasoning. *Journal of Experimental Education*, 46(1), pp. 41-46.
- MEIRA, L. (1994). Análise microgenética e videografia: ferramentas de pesquisa em psicologia cognitiva. *Temas em Psicologia*, 3, pp. 59-71.
- MORO, M.L.F. (2000). A epistemologia genética e a interação social de crianças. *Psicologia: reflexão e crítica*, 13(2), pp. 295-310.
- MOSCA, P.R.F., SILVEIRA, J.F.P. y BURIGO, E. (1993). Processos cognitivos na resolução de problemas no campo da matemática: o caso da interação com programas-mente. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 6(1/2), pp. 57-83.
- MÜLLER, M.L. (1996). Vittorio Hösle – uma filosofia da crise ecológica. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 6(2), pp. 9-62.
- PARK, J. y PAK, S. (1997). Student's responses to experimental evidence based on perceptions of causality and availability of evidence. *Journal of research in science teaching*, 34(1), pp. 57-67.
- PIAGET, J. (1972). Intellectual evolution from adolescent to adulthood. *Human Development*, 15, pp. 1-12.
- ROHDE, G.M. (1996). *Epistemologia ambiental: uma abordagem filosófica-científica sobre a efetuação humana alopotética*. Porto Alegre: EDIPUCRS.
- SAADA-ROBERT, M. (1996a). A construção microgenética de um esquema elementar, en Inhelder, B. y Cellérier, G. (orgs.). *O desenrolar das descobertas da criança: um estudo sobre as microgêneses cognitivas*. Trad. de Gruman, E. pp. 107-126. Porto Alegre: Artes Médicas.
- SHEEHY, N.P., WYLIE, J.W., McGUINNESS, C. y ORCHARD, G. (2000). How children solve environmental problems: Using computer simulations to investigate systems thinking. *Environmental Education Research*, 6(2), pp. 109-126.
- SIEGLER, R.S. y CROWLEY, K. (1991). The microgenetic method: a direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*, 46(6), pp. 606-620.
- STAKE, R.E. (1994). Case Study, en Denzin, N. y Lincoln, Y. (org.). *Handbook of Qualitative Research*, pp. 235-247. Londres: Sage.
- TAACK, D.L. (1994). Minto-Brown Island Park: A case study of farming the urban-agricultural interface [CD-ROM]. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*, 23, pp. 98-103. Resumen de: ERIC, item EJ 510818.
- TAUK-TORNISIELO, S.M. (1995). Considerações finais, en Tauk-Tornisielo, S.M., Gobbi, N., Fowler, H.G. *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*, pp. 183-184. Sao Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.
- TAUK-TORNISIELO, S.M., GOBBI, N. y FOWLER, H.G. (1995). *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*. Sao Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.
- TAYLOR, J.L. (1985). *Guide de la simulation et des jeux pour l'éducation relative a l'environnement* (Education environnementale, V. 2). Paris: UNESCO.
- WHISNANT, D.M. y McCORMICK, J.A. (1992). Lake study for Windows. *Journal of Chemical Education*, 69(2), pp. 129-130.
- WHISNANT, D.M. (1984). Scientific exploration with micro-computer: simulations for nonscientists. *Journal of Chemical Education*, 61(7), pp. 627-629.
- WHISNANT, D.M. (1992). A role-playing exercise using a computer simulation. *Journal of Chemical Education*, 69(1), pp. 42-43.
- WHITE, P.A. (1997). Naïve ecology: Causal judgments about a simple ecosystem. *British Journal of Psychology*, 88, pp. 219-233.
- WYLIE, J.W., SHEEHY, N.P., McGUINNESS, C. y ORCHARD, G. (1998). Children's thinking about air pollution: A systems theory analysis. *Environmental Education Research*, 4(2), pp. 117-137.

[Artículo recibido en noviembre de 2000 y aceptado en febrero de 2004]