

Operación de combinatoria experimental en estudiantes que inician la educación universitaria

Juan Augusto Morales, Susana Frisancho y Luis Lam

Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Grupo de investigación en cognición, aprendizaje y desarrollo (G-CAD). E-mails: amoralesg@pucp.pe, sfrisan@pucp.edu.pe, luis.lam@pucp.pe

Resumen: Se exploró el desarrollo del pensamiento formal con una tarea de combinatoria experimental en estudiantes que cursaban los primeros años de estudios universitarios. La tarea consistió en obtener una reacción química a partir de una combinación específica de químicos y en determinar el efecto de otros dos químicos en la reacción. Los resultados muestran que, incluso con la guía del investigador, hay alumnos universitarios que no logran resolver la tarea y que, por lo tanto, no han desarrollado por completo la capacidad de controlar variables y realizar un experimento sencillo. Los resultados se discuten a la luz de la teoría piagetiana y en relación a la necesidad de formar profesionales científicamente competentes.

Palabras clave: pensamiento formal, combinatoria experimental, pensamiento científico, educación superior.

Title: Experimental combinatorial operation in students beginning university education.

Abstract: Formal thinking was explored through an experimental combinatorial task with students enrolled in the first two years of university. The task required them to obtain a chemical reaction by means of a specific combination of chemicals and to determine the specific effects of two other chemicals in the reaction. Results show that, even with the aid of the researcher, some university students are not able to solve the task and, therefore, have not completely developed the necessary skills to control variables and perform a simple experiment. Results are discussed through Piagetian theory and in terms of the necessity to produce scientifically competent professionals.

Keywords: Formal thinking, experimental combinatorial, scientific thinking, higher education.

Introducción

Desde hace mucho se reconoce la importancia del pensamiento científico para el progreso tecnológico, social y económico de las diversas sociedades (OECD, 2014; UNESCO, 2005). En un mundo donde es cada vez más necesario innovar en ciencia y tecnología y contar con ciudadanos cuya cultura científica les permita entender el mundo en el que viven e interactuar adecuadamente con él (TLRP, 2009; UNESCO, 2006, 2005), formar profesionales que tengan desarrollado el pensamiento científico tiene

más importancia que nunca. Esto es particularmente relevante en el Perú y en general en América Latina, donde existe un déficit en la formación científica ya desde la educación básica y donde los estándares de educación en ciencias no alcanzan rangos internacionales (Cisneros, 2014; Ipeba, 2013; UNESCO 2000).

Las universidades, que son los principales centros de actividad científica, investigación y formación profesional de un país, atraviesan también por diversos problemas que obstaculizan el desarrollo del pensamiento científico: poca inversión en ciencias, investigación y tecnología de parte de los gobiernos, especialmente en Latinoamérica (OECD, 2014; RICYT, 2013), un decremento en la obtención de títulos de posgrado en carreras de ciencias naturales y cantidades insuficientes de investigadores a tiempo completo (OECD, 2014; Eurostat, 2013).

En este contexto, una de las limitaciones para el aprendizaje de la ciencia, lamentablemente poco tomada en cuenta en las intervenciones educativas y en los diagnósticos sobre la enseñanza de las disciplinas científicas, se relaciona con la complejidad del pensamiento de los estudiantes a los que se dirigen los planes y programas. Esto es relevante, ya que existe evidencia de que ciertas capacidades del pensamiento que son necesarias para la comprensión de nociones complejas (por ejemplo, la noción de probabilidad) no se encuentran por completo desarrolladas entre estudiantes universitarios (Frisancho, 1996; Hartley, Wilke, Schramm, D'Avanzo y Anderson, 2011). Estas dificultades ya aparecen en la educación básica, pues se sabe que los estudiantes que finalizan la educación secundaria muestran resultados muy pobres en cuanto a los saberes conceptuales de las diversas disciplinas científicas, en habilidades de investigación y en actitudes hacia la ciencia (PISA, 2009, 2012). En general, los escolares tienen dificultades para el aprendizaje de la ciencia, para establecer regularidades en fenómenos que son contra-intuitivos y de difícil generalización empírica y para construir relaciones complejas de causalidad (ver por ejemplo Lam y Frisancho, 2014; Eichler, Parrat-Dayán y Da Cruz Fagundes, 2008a, 2008b; Kriner, Castorina y Cerne, 2003). Como sabemos, el pensamiento no se desarrolla simplemente por efecto de la maduración con el paso del tiempo ni por simple acumulación de información, sino por un proceso de continua reestructuración que se apoya en etapas o niveles de equilibrio anteriores (Inhelder y Piaget, 1955/1985). Esto es aún más importante cuando se concibe al pensamiento y el conocimiento desde una perspectiva de sistemas complejos (García, 2006). Lo anterior, además, significa que los fenómenos de mayor complejidad, como los sistemas lógico-matemáticos, formales y formalizados en un lenguaje -que son imprescindibles para el pensamiento científico, pues son el soporte que informa la actividad de investigación en las ciencias naturales y humanas (Beth y Piaget, 1968)- sólo son alcanzables en las etapas finales de un proceso de continua reestructuración.

En este artículo abordamos un proceso del pensamiento que subyace al ejercicio de la ciencia, particularmente a la experimentación: la operación combinatoria (Inhelder y Piaget, 1955/1985). Tomando como referencia el marco constructivista piagetiano, en este estudio exploramos el desarrollo de esta operación en un grupo inicial de estudiantes universitarios. Luego de presentar el marco conceptual que da sustento a la investigación,

presentaremos el método y la tarea utilizada para la evaluación de la combinatoria, los resultados encontrados y una discusión de los mismos desde el marco general de la teoría piagetiana y en relación a la necesidad de formar profesionales científicamente competentes que puedan contribuir del mejor modo posible a la vida social.

Fundamentación teórica

Pensamiento operatorio concreto y formal

Las diferentes características del pensamiento humano siguen un proceso de desarrollo largo y complejo. Desde el enfoque constructivista piagetiano este proceso tiene distintas etapas, de las cuales la más relevante para los propósitos de este trabajo es la del pensamiento operatorio formal, pues es este tipo de pensamiento el que está a la base de las nociones básicas del quehacer científico (Inhelder y Piaget, 1955/1985) y, específicamente, de la combinatoria.

Según Piaget e Inhelder (1955/1985) y Piaget (1972/2008), el pensamiento formal debe su existencia a un proceso de reestructuración que ocurre como respuesta del organismo a las limitaciones del pensamiento operatorio concreto. El pensamiento operatorio concreto es el primero en otorgar al individuo capacidades lógicas que le permiten organizar de manera consistente la realidad, por ejemplo, comprender que una clase de objetos es más extensa en cantidad que una de sus sub-clases, organizar objetos en una serie de acuerdo a las variaciones en magnitud de alguna cualidad, comprender que los cambios de forma de un objeto no alteran su masa ni su peso, etc. (Piaget e Inhelder, 2007). Esto es posible en tanto pone a disposición del sujeto dos grandes sistemas operatorios diferenciados (aunque sin el nivel de mutua articulación que caracterizará al pensamiento formal): el de clasificación y el de relaciones/ordenamientos (Piaget e Inhelder, 1967). La clasificación, por ejemplo, se evidencia cuando un sujeto organiza y jerarquiza objetos o conceptos en un sistema de encajes (Figura 1):

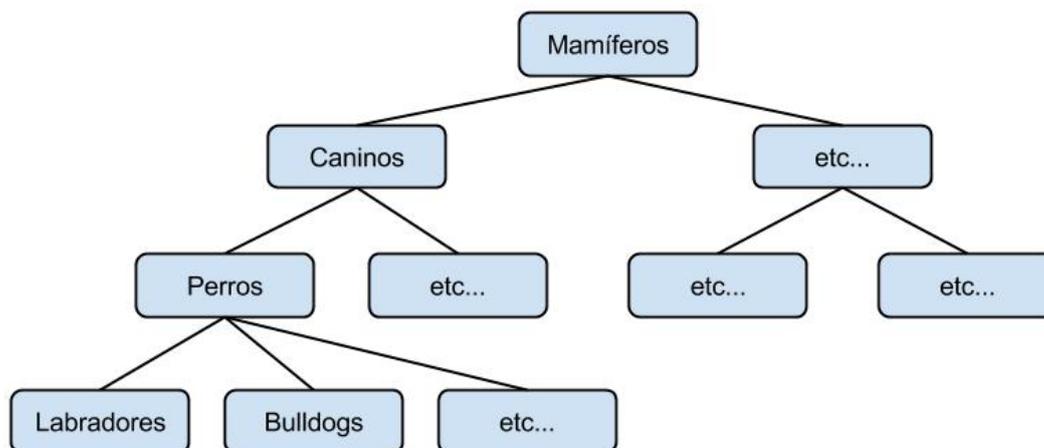


Figura 1.- Jerarquía de clases.

La construcción de un sistema de clases como este permite comprender, sin necesidad de conocer la cantidad exacta de perros individuales, que la cantidad de perros es siempre mayor que la cantidad de labradores, pues la clase *perros* incluye a estos además de a perros de otras razas. Así, hacer esta inferencia respecto a las cantidades sólo es posible gracias a que estas clases (i.e. perros, labradores, bulldogs) están organizadas en un sistema clasificatorio. De ahí que en las tareas clásicas de Piaget (Ducret, 2004), los niños con pensamiento preoperatorio creen que hay más margaritas que flores.

Ahora, si bien los sistemas operatorios de este tipo representan una ampliación muy importante de las capacidades cognitivas del niño, no dejan de tener limitaciones. Así, si bien un niño de pensamiento operatorio concreto puede adaptarse y resolver problemas cotidianos, no logra resolver los fenómenos complejos vinculados al quehacer científico (Piaget, 1976). Esto se debe a que con las operaciones concretas sólo es posible generar combinaciones limitadas, como las que se muestra en la Figura 2:

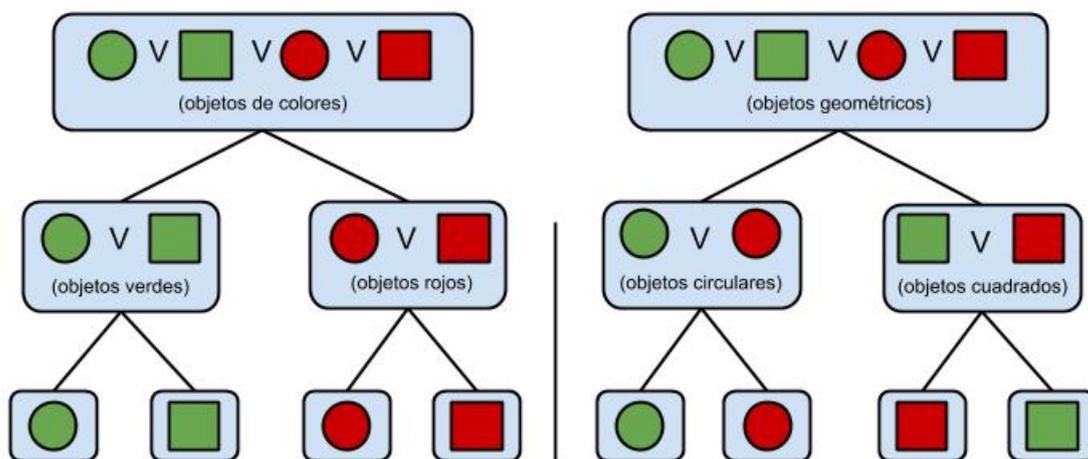


Figura 2.- Combinaciones posibles para el pensamiento concreto.

Es decir, si bien mediante las operaciones concretas el niño puede combinar los objetos según sean "objetos circulares" u "objetos verdes", no puede unir libremente un círculo verde con un cuadrado rojo y un cuadrado verde (excluyendo el círculo rojo), pues no es posible asimilarlos a una misma clase (¿qué clase podría reunir las propiedades de un círculo verde, un cuadrado rojo y un cuadrado verde y a la vez excluir las propiedades de un círculo rojo?). Para el niño de pensamiento concreto sólo es posible combinar las figuras mostradas en pares (Figura 2) o todas juntas en una sola clase general de mayor jerarquía (objetos de colores o geométricos). Si logra generar una combinación diferente (e.g. una que incluya tres de los objetos y excluya el cuarto) lo hace de manera asistemática y sin agotar todas las posibles combinaciones (Inhelder y Piaget, 1955/1985). Para afrontar situaciones con multiplicidad de factores combinables (por ejemplo, hacer un experimento), se necesita, por el contrario, hacer todas las combinaciones posibles entre todas las variables y para ello se requiere superar las limitaciones del pensamiento concreto, lo que se logra con las

estructuraciones que caracterizan el pensamiento operatorio formal (Inhelder y Piaget, 1955/1985).

Pensamiento operatorio formal y combinatoria

A diferencia del pensamiento concreto, el pensamiento formal puede aplicar operaciones lógicas con mucha mayor flexibilidad. Como hemos visto, para el pensador concreto sólo es posible adjuntar o sustituir elementos a una clase en tanto estos posean las propiedades que la definen y excluyan las propiedades que definen a otras clases. En cambio, para el sujeto con pensamiento operatorio formal, las operaciones de sustitución y adjunción se generalizan y se hacen aplicables –y se definen– de manera abstracta. Del niño que podía adjuntar o sustituir objetos concretos (según sus propiedades), se pasa al adolescente/adulto que puede adjuntar o sustituir con independencia de las propiedades de los objetos. Esto es similar al paso de la aritmética al álgebra: de operar sobre números específicos se pasa a operar sobre variables cualesquiera. Todo esto le da la flexibilidad para formar conjuntos de objetos con un criterio libre y armar así todas las combinaciones posibles. Es decir, del sistema clasificatorio con la estructura de la Figura 2 se pasa a la estructura de “reticulado” de la Figura 3:

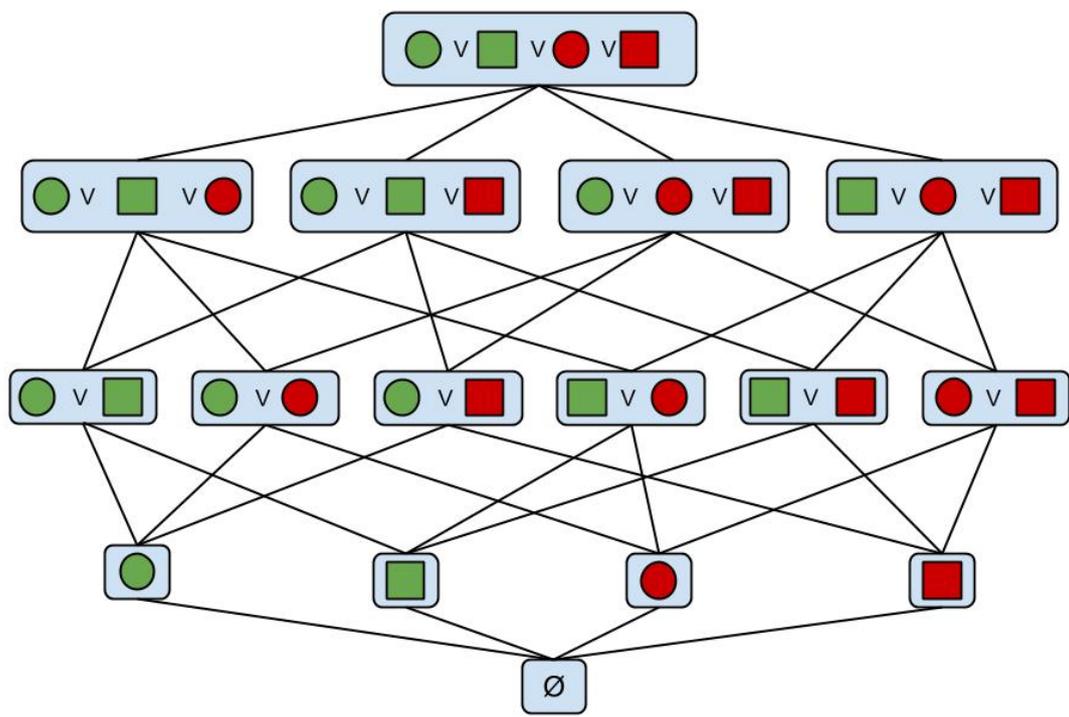


Figura 3.- Reticulado de todas las combinaciones posibles

La Figura 3 muestra todas las combinaciones que surgen de tomar los elementos de a 1, de a 2, de a 3, de a 4 (todos) o ninguno. Es esta capacidad para agrupar libremente, producto de la superación de las limitaciones del pensamiento concreto y de la generalización de las operaciones de adjunción y sustitución, la que caracteriza la combinatoria.

Podemos decir que esta construcción del pensamiento formal implica la creación de un *conjunto de las partes* (Inhelder y Piaget, 1955/1985), que es el conjunto organizado de todas las combinaciones posibles. Una matriz multiplicativa de doble entrada, que el operador concreto puede construir, permite generar asociaciones de base, por ejemplo, las clases producto de la intersección entre las clases según colores y según formas. Estas luego pueden combinarse de todas las formas posibles. Este conjunto de las partes cobra mayor importancia cuando se entiende que puede darse también en relación a proposiciones. En la Tabla 1 se observa que, si se toman dos proposiciones (p y q) y sus negaciones ($\neg p$ y $\neg q$), pueden formarse cuatro asociaciones de base, las que formalmente pueden combinarse en dieciséis grupos posibles (tomando 4, 3, 2, 1 o ninguna asociación de base) que se organizan en un reticulado y constituyen las 16 operaciones de la lógica proposicional (Figura 4) (Piaget, 1977; Piaget e Inhelder, 2007). Estas construcciones están a la base de la capacidad del pensador formal de razonar de manera abstracta e hipotético-deductiva, sobre proposiciones y ya no solamente sobre objetos (Inhelder y Piaget, 1955/1985). Lo que ocurre entonces puede entenderse como una reorganización, integración y superación de las operaciones aditivas y multiplicativas de la etapa concreta (Inhelder y Piaget, 1955/1985; Shin y Steffe, 2009).

	q	$\neg q$
p	$p \wedge q$	$p \wedge \neg q$
$\neg p$	$\neg p \wedge q$	$\neg p \wedge \neg q$

Tabla 1.- Cuatro asociaciones de base.

Esta capacidad de combinar sistemática y exhaustivamente se denomina *combinatoria* y se traduce al campo de la experimentación en la capacidad de combinar sistemáticamente las variables o factores que entran en juego en un experimento. Por ejemplo, en un experimento con cinco compuestos químicos, como el que se usó en esta investigación, para determinar cuál o cuáles son los responsables de producir una reacción particular el experimentador deberá combinarlos de forma sistemática y exhaustiva (por adjunciones y sustituciones) y probar cada combinación de modo que pueda identificar cual produce la reacción, cuáles eran los elementos necesarios, cuáles no eran necesarios e incluso cuáles impiden la reacción.

La importancia de estas capacidades para el pensamiento y quehacer científico es evidente. Sin ellas sería imposible llevar a cabo experimentos, los que son necesarios para aprender y generar conocimiento científico. Además, se limitaría el desarrollo del pensamiento crítico, pues éste requiere comprender la realidad presente como una de muchas realidades y no la única posible (es decir, relativizándola), lo cual implica, a su vez, comprender cada una de esas posibilidades como la actualización de diversas combinaciones de factores sociales, económicos, culturales, políticos, etc. (Inhelder y Piaget, 1955/1985). Sin la capacidad de disociar y combinar sistemáticamente esos factores sería imposible entender las causas de los diversos fenómenos que ocurren en la sociedad (la pobreza, el

crimen, los prejuicios y la discriminación, el desempleo, etc.) y, por lo tanto, sería imposible diseñar un curso de acción efectivo para modificarla.

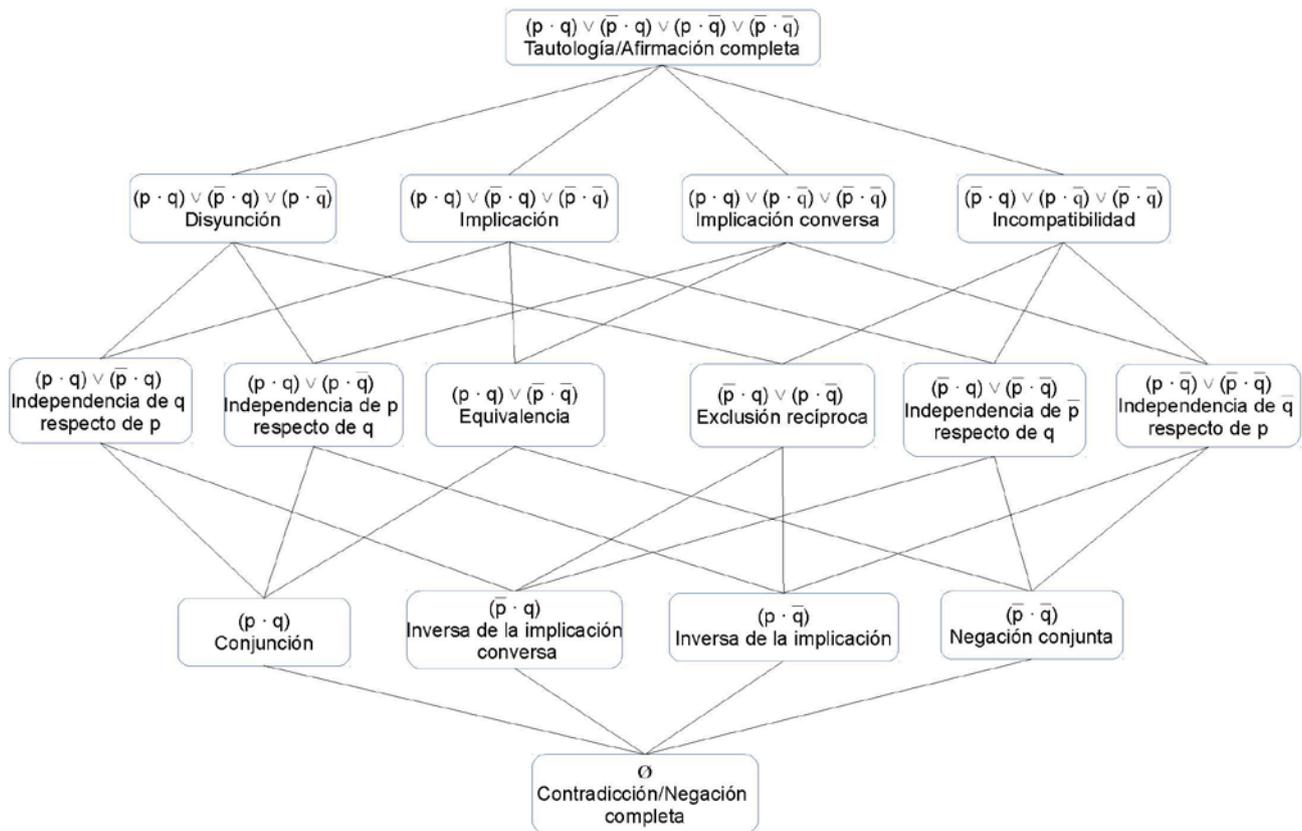


Figura 4.- Reticulado de las 16 operaciones de la lógica proposicional

Contexto y metodología

Participantes

Se trabajó con 7 estudiantes de una universidad privada de Lima, Perú, con edades que variaban entre los 17 y 20 años. Los datos de los participantes se muestran en la Tabla 2. Estos estaban inscritos en dos diferentes facultades de estudios generales (ciencias y letras). Los participantes fueron seleccionados de manera accidental, según contacto directo en el campus de la universidad. Todos los participantes se ubicaban en los dos primeros años de estudios, pues lo que se buscaba era explorar el pensamiento formal en alumnos que iniciaban la vida universitaria.

E.E.G.G. Letras		E.E.G.G. Ciencias		
Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Total
1	3	1	2	7

Tabla 2.- Datos de los participantes.

Se optó por un enfoque cualitativo según el método clínico-crítico desarrollado por Piaget y sus colaboradores (Ducret, 2004). Este método consiste en una entrevista flexible en la que se indaga por las explicaciones del evaluado, haciendo repreguntas y proponiendo contra-ejemplos o sugerencias para poner a prueba la consistencia de sus afirmaciones y para clarificar lo que el evaluado intenta decir. El método clínico-crítico se apoya también en material manipulable, de modo que pueda constatarse cómo el desarrollo del pensamiento afecta la manera en que actúa el participante al intentar resolver una tarea. En la presente investigación se aplicó una tarea clásica piagetiana que requería para su resolución de pensamiento formal y específicamente, la combinatoria (Inhelder y Piaget, 1955/1985).

Instrumentos

Se utilizó una tarea piagetiana clásica en la que se evalúa la capacidad de realizar combinaciones sistemáticas de factores aislados. Los factores eran compuestos químicos incoloros que, en determinadas combinaciones, podían o no producir un compuesto de color amarillo. Esta tarea forma parte del grupo de experimentos presentados por Inhelder y Piaget en su libro *De la lógica del Niño a la Lógica del Adolescente* (1955/1985).

En lugar de los materiales de la versión original, que incluía diversos contenedores de vidrio y compuestos químicos reales, se optó por una versión virtual en un software informático que replicaba la lógica de la tarea piagetiana. Esta decisión se tomó debido a que los materiales originales, que eran compuestos químicos reales, producían reacciones espontáneas a causa de condiciones ambientales (alta humedad de la ciudad de Lima), lo que interfería con la aplicación.

La consigna principal de la tarea era obtener un líquido de color amarillo a partir de la combinación de otros líquidos incoloros. Se trataba de cuatro químicos -1, 2, 3, 4- combinados con otro químico "g", que siempre debía estar presente. Para hacer esto era necesario combinar los químicos 1 y 3 con el g. El químico 2 no tenía efecto en el color y sólo aumentaba el nivel del líquido en el frasco de trabajo. El químico 4 neutralizaba la reacción de $1 \times 3 \times g$ cuando estaba presente e impedía la aparición del color. Todas las combinaciones posibles y sus resultados se muestran en la Tabla 3. En la Figura 5 se muestra la interfaz del programa. El participante operaba el programa moviendo el cursor (en forma de gotero) y dejando presionado el botón izquierdo del mouse en el frasco con cuyo contenido quería llenar el gotero, para luego echarlo sobre el frasco encima del letrero "mesa de trabajo". Para reiniciar la interfaz se debía hacer clic en el botón "nuevo intento". Los frascos encima del letrero "muestra" servían para ilustrar las instrucciones iniciales del evaluador.

La estructura de pensamiento que permite resolver la tarea es el esquema operatorio formal de combinatoria (Inhelder y Piaget, 1955/1985). El énfasis de la tarea está en la combinatoria experimental orientada hacia el logro de un resultado debido a la consideración de combinaciones lógicas posibles entre factores aislados. Esta combinatoria es posible gracias a la construcción del *conjunto de las partes*, la que se observa en las combinaciones empíricas (de 1 en 1, 2 en 2, 3 en 3 o 4 químicos) que realizan los participantes. Por otro lado, esta combinatoria se manifiesta

también en el razonamiento detrás de la tarea, traducándose en una lógica proposicional que se evidencia en las explicaciones que dan los participantes.

Combinación	Resultado	Combinación	Resultado
g (sólo)	Sin reacción	2 x 3 x g	Sin reacción
1 x g	Sin reacción	2 x 4 x g	Sin reacción
2 x g	Sin reacción	3 x 4 x g	Sin reacción
3 x g	Sin reacción	1 x 2 x 3 x g	Amarillo (el 2 sobra)
4 x g	Sin reacción	1 x 2 x 4 x g	Sin reacción
1 x 2 x g	Sin reacción	1 x 3 x 4 x g	Sin reacción (el 4 neutraliza)
1 x 3 x g	Amarillo	2 x 3 x 4 x g	Sin reacción
1 x 4 x g	Sin reacción	1 x 2 x 3 x 4 x g	Sin reacción (el 4 neutraliza)

Tabla 3.- Combinaciones posibles de los químicos y sus resultados.

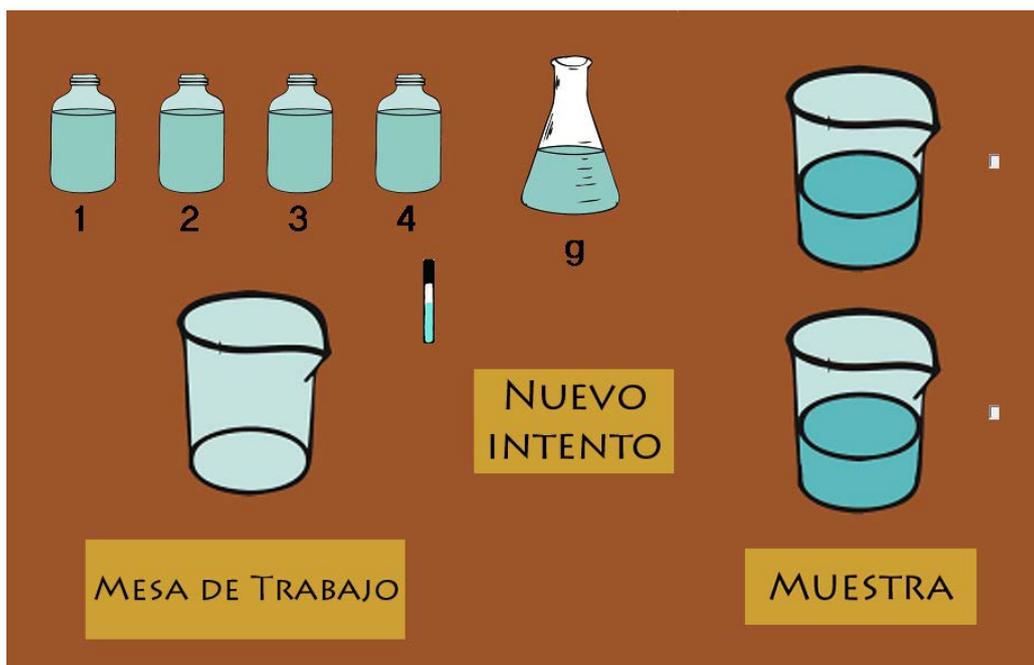


Figura 5.- Interfaz del programa de combinación de químicos.

Procedimiento

Se mostraba al participante la pantalla con el programa y se describían los objetos en ella, diciendo: "Observa estos frascos en la parte superior [se señalaba con el cursor]. Cada uno tiene un químico y quiero que asumas que son transparentes y que cada uno es distinto del otro (es decir, $1 \neq 2 \neq 3 \neq 4 \neq$ del matraz que podemos llamar g)". Se continuó con la descripción

y se presentó el ejemplo diciendo: *"Ahora, quiero que observes los frascos de la parte derecha [muestra]. Están llenos con algunos de los químicos que te mostré antes. Lo que voy a hacer es echar un poco del químico del matraz [g] en estos [frascos de muestra] y quiero que observes atentamente lo que pasa"*. Se realizaba la explicación mostrando cómo traspasar los químicos en el software. El resultado era que el frasco de arriba cambiaba de color (pues ya contenía los químicos 1 y 3) y el de abajo no. En ambos casos el participante no sabía qué químicos estaban contenidos en los frascos de muestra. Luego, se dio la consigna de la tarea diciendo: *"Ahora, quiero que obtengas el color del frasco de arriba en este vaso de trabajo, usando como quieras estos cuatro químicos y el matraz g. Cada vez que quieras intentarlo nuevamente debes hacer clic en el cuadro que dice 'nuevo intento' y el frasco de trabajo quedará vacío"*. Se preguntó si había entendido la consigna. Si no, se volvía a explicar desde el inicio hasta que el participante señalaba haber comprendido. Si el rol del químico g no quedaba claro, se recordaba lo hecho al principio resaltando el químico. Si aún con esta indicación no se comprendía, se hacía explícita su función como componente esencial para que ocurra el cambio de color. Además, cualquier dificultad en el uso del software fue atendida (por ejemplo, en caso de que no haya entendido cómo pasar los químicos de un frasco a otro).

Finalmente, tenía lugar una entrevista luego de que el participante descubriese el color o considerase que no era posible averiguar lo que se pedía. La pregunta principal fue: *"¿Cuáles son los químicos necesarios para obtener el color?"*. La segunda pregunta que orientaba esta discusión fue: *"¿Qué efecto o qué función tenía cada químico?"* (especialmente los químicos 2 y 4). En caso de que no se lograra descubrir el color o la función de los químicos, podía orientarse al participante preguntando cómo podría trabajar de manera más organizada o cómo podría recordar lo que estaba haciendo. La tarea terminaba cuando el participante no daba más respuestas o cuando éstas eran satisfactorias (i.e. cuando decían que 1 y 3 son necesarios, que 2 no tenía efecto y que 4 impedía que se obtuviera el color).

Resultados

Contrariamente a lo que se esperaría de estudiantes que cursan estudios universitarios, no todos los participantes lograron resolver la tarea. Los que no lograron resolverla exhibieron limitaciones que revelan una insuficiencia en el desarrollo de las estructuras de pensamiento formal, específicamente la operación combinatoria.

El desempeño de los participantes se ha agrupado en tres categorías: los que resolvieron la tarea sin dificultades, los que necesitaron de alguna guía, y los que incluso con la guía del investigador no lograron resolver la tarea. Esto se resume en la tabla 4.

Para ilustrar estas categorías se presentan extractos de las entrevistas y se analiza lo observado a la luz de la teoría. Los nombres de los participantes han sido sustituidos para proteger su anonimato.

Participante	Sexo	Edad	Facultad	Desempeño
EMI	M	20	E.E.G.G. Letras	sin ayuda
DIE	M	17	E.E.G.G. Ciencias	sin ayuda
CAM	F	19	E.E.G.G. Letras	sin ayuda
ALO	M	17	E.E.G.G. Letras	con ayuda
LIL	F	20	E.E.G.G. Ciencias	con ayuda
CAR	M	17	E.E.G.G. Letras	no resolvió
KEV	M	18	E.E.G.G. Ciencias	no resolvió

Tabla 4.- Desempeño de los participantes.

Primera categoría: resolución de la tarea sin ayuda.

EMI (Masculino, 20 años, estudios generales letras). Antes de combinar los químicos, planificó lo que iba a hacer en una hoja de anotaciones: *"Estoy haciendo mi cálculo para ver eso"* (Figura 6). Entendió la función de 'g' sin problemas y empezó con las combinaciones de químicos 1 a 1 ($1 \times g$; $2 \times g$; $3 \times g$; $4 \times g$). Continuó con las combinaciones de 2 a 2 ($1 \times 2 \times g$; $1 \times 3 \times g$) y antes de agotarlas obtuvo el color amarillo. Cuando se le preguntó qué químicos eran necesarios para obtener el color, dijo: *"Dos frascos, 1, 3, de hecho 'g' y aparece el color"*. Luego se le preguntó por el efecto que tiene 2: *"No lo he identificado"*. Probó en relación a los químicos que dan el color ($1 \times 3 \times g \times 2$), cambió el orden ($1 \times 3 \times 2 \times g$) y concluyó: *"Simplemente aumenta la cantidad de líquido. Nada más. Ahora, si desea que pruebe más. Qué sucede con el 4, ¿no?"*. Hizo un par de pruebas ($1 \times 4 \times g$; $1 \times 3 \times 4 \times g$) y dijo: *"Parece que tiene el mismo efecto que el 2, pero voy a comprobarlo... [Combinó nuevamente $1 \times 3 \times g$ y agregó 4]... No"*. Concluyó la tarea diciendo: *"Ya, el 2 es un simple aumento [de la cantidad de líquido] y el 4 es el que le quita la propiedad a 'g' de hacer el cambio... invierte el efecto. Incluso evita que lo produzca, porque si ponemos 1, 3 y 4, todavía no hay un efecto y si ponemos 'g' no sucede nada"*.

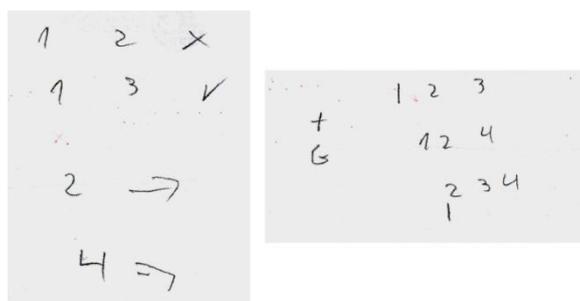


Figura 6.- Registro de combinaciones posibles por EMI

DIE (Masculino, 17 años, estudios generales ciencias). Inició combinando químicos sin usar 'g'. Se le recordó que para que aparezca el color amarillo en los frascos de ejemplo se usó ese químico. Entonces, empezó a hacer combinaciones con los químicos de 1 a 1 ($1 \times g$; $2 \times g$; $3 \times g$; $4 \times g$) y luego de a 2 ($1 \times 2 \times g$; $1 \times 3 \times g$) hasta que obtuvo el color. Cuando se le preguntó cuáles eran los químicos necesarios para obtener el color, dijo: *"1, 3 y g"*. Para saber el efecto de 2, lo agregó a la última combinación que hizo ($1 \times 3 \times g \times 2$) y, considerando las combinaciones probatorias anteriores, dijo: *"Nada. Aumenta la cantidad. No varía"*. Finalmente, cuando se le

preguntó por el efecto de 4, lo agregó a la última mezcla ($1 \times 3 \times g \times 2 \dots \times 4$) y observó cómo desaparecía el color: *"Lo regresa"*.

CAM (Femenino, 19 años, estudios generales letras). Empezó haciendo combinaciones con todos los químicos ($1 \times 2 \times 3 \times 4 \times g$) hasta que obtuvo el color ($1 \times 2 \times 3 \times g$). Cuando se le preguntó cuáles eran los químicos necesarios y cómo podría saberlo, dijo: *"No sé... poniendo 1, g, 2, g... [Combinó: $1 \times g$; $2 \times g$; $3 \times g$]... No, tienen que ser combinaciones [$1 \times 2 \times g$; $1 \times 3 \times g$; $1 \times 2 \times 3 \times g$; $2 \times 4 \times g$; $1 \times 3 \times g$, nuevamente]... Es la mezcla del 1 y el 3"*. Sobre el químico 2, dijo: *"No, no hace nada. Porque si pongo 1 y 3 sin el 2, igual me sale amarillo"*. Cuando se le preguntó qué efecto tenía el químico 4, dijo: *"Nada. Ya hice que se combinen el 2 y el 4. El 4 solo, no lo pone amarillo, ni el 2 solo, ni la combinación de ellos tampoco. Lo único que hacen es aumentar la cantidad de líquido. No influyen en el color. La mezcla sigue siendo la misma con y sin ellos"*. Se le preguntó si estaba segura y dijo: *"Sí. Si pongo el 1 y el 3, el 4 y el g... [Combinó: $1 \times 3 \times 4 \times g$ y contrastó con $1 \times 2 \times 3 \times g$]... ¡Ah!, no. El 4 inhibe la sustancia que hace que aparezca el color. O sea si pongo el 4, no se va a poner amarillo. Si pongo el 2 no pasa nada, solo aumenta la cantidad. El 4 hace que no se ponga amarillo"*.

Segunda categoría: Resolución de la tarea con ayuda.

ALO (Masculino, 17 años, estudios generales letras). Inició haciendo combinaciones con los cuatro químicos hasta que obtuvo el color ($1 \times 2 \times 3 \times g$). Cuando se pregunta cuáles son los químicos necesarios, dijo: *"Supongo que el 1, 2 y 3 se tienen que utilizar. No sé si es que utilizando el 1, 3 y 4, obtengamos el color"*. Cambió el químico 2 por el 4 ($1 \times 3 \times 4 \times g$) y afirmó lo que dijo antes sobre los químicos necesarios (es decir, afirmó que eran necesarios 1, 2 y 3, lo cual no es cierto, pues el 2 no es necesario). Se le preguntó por el efecto de 2: *"Como dijiste que son sustancias diferentes, tal vez es que el 4 y el 2 aportan cosas diferentes"*. Se le preguntó cómo podría estar seguro y dijo: *"Cambiano el 2 por el 4 como hice antes... no es tanto entre frasco y el otro, sino entre la combinación de los frascos"*. Se preguntó por la función de 2 en la mezcla y si esa sería la única forma de conocer su efecto. *"Como te dije, pienso que es por la combinación... A menos que ponga 1 y 3"*. Se le pidió que pruebe ($1 \times 3 \times g$) y obtuvo el color. *"En esta oportunidad he quitado el 2 de la muestra y sigue estando amarillo. Entonces el 2 no es necesario"* (correcto). Se le preguntó por el efecto de 4 y dijo: *"No ocurre nada"*. Se le preguntó en qué se diferenciaban 2 y 4, tras lo cual empezó con pruebas de 1 en 1 ($4 \times g$; $1 \times g$; $3 \times g$; $2 \times g$) hasta que volvió a contrastar ambos químicos en relación a la combinación que daba el color ($1 \times 3 \times 4 \times g$; $1 \times 3 \times 2 \times g$). Concluyó lo siguiente: *"El 4 tiene, supongo, una característica que evita que al momento de echar g se convierta en amarillo. Y este, el 2, no tiene esta característica. Por lo tanto, 2 no influye cuando se mezcla el 1 y el 3. El 4 tiene una característica aparte, un plus. Esto evita que se ponga amarillo"*.

LIL (Femenino, 20 años, estudios generales ciencias). Empezó combinando todos los químicos y preguntó para qué se usó 'g'. Luego de la aclaración obtuvo el color por casualidad, mezclando $1 \times 2 \times g \times 3$ y cambiando el orden $3 \times g \times 2 \times 1$. Se le preguntó cuáles serían los frascos necesarios y dijo: *"1 y 2"*. Se le preguntó cómo podría estar segura y dijo

"Ya lo relacioné con 3". Se le pidió que pruebe nuevamente, combinó $1 \times 3 \times g$, y obtuvo el color. Dijo: "1 y 3". Cuando se preguntó por el efecto de 2 hizo algunas pruebas ($2 \times g$; $2 \times g \times 1$; $3 \times g \times 2$) y dijo: "Ya lo mezclé con 1 y con 3... No pasa nada". Cuando se preguntó por el efecto de 4, hizo varias pruebas ($4 \times 3 \times g$; $2 \times g \times 4$; $1 \times g \times 4 \times 3$ y diferentes variaciones; $1 \times 3 \times 4 \times g \times 2$), pero el orden que usó para combinar los frascos no le permitió saber su función, hasta que agregó 4 a una mezcla de color amarillo ($1 \times 2 \times 3 \times g \dots \times 4$) y observó como el color desapareció; dijo: "¡Ah! no. Lo convierte... lo revierte".

Tercera categoría: No resolución de la tarea.

CAR (Masculino, 17 años, estudios generales letras, no resolvió la tarea, razonó inapropiadamente). "Voy a probar con cada uno". Inició con combinaciones sistemáticas de 1 en 1 ($1 \times g$; $2 \times g$; $3 \times g$; $4 \times g$) y luego de 2 en 2 ($1 \times 2 \times g$; $1 \times 3 \times g$). Obtuvo el color durante el proceso y afirmó que los frascos necesarios eran 1 y 3, pero agotó las combinaciones de 2 en 2 ($1 \times 4 \times g$; $2 \times 3 \times g$; $2 \times 4 \times g$; $3 \times 4 \times g$) para conocer los efectos de 2 y 4. Sobre el frasco 2 dijo: "Lo aumenta... para esta situación, para este compuesto, no tiene ninguna función". Sobre el frasco 4 dijo: "Son componentes diferentes... No, 4 no tiene la función que tiene 3. Para llegar al compuesto, el color, 4 no tiene una aplicación... así como dos". Se preguntó cómo estaba seguro y dijo: "Ya he probado". No llegó a descubrir el efecto de 4 porque no realizó combinaciones de 3 en 3 para contrastar las funciones de 2 y 4 con referencia a la combinación $1 \times 3 \times g$.

KEV (Masculino, 18 años, estudios generales ciencias, no resolvió la tarea, razonó inapropiadamente). Inició haciendo combinaciones de todos los químicos (1 a 4). Obtuvo el color por casualidad ($1 \times g \times 3$) y cuando se le preguntó cuáles eran los químicos necesarios dijo: "1, 3 y g. Pero creo que es por un orden... [Se le pidió que pruebe y combinó $3 \times g \times 1$]... ¡Ah! no importa el orden". Cuando se le preguntó por el efecto de 2, combinó por separado con 1 y 3 ($2 \times g \times 3$; $1 \times 2 \times g$) y dijo: "Parece que es como un ingrediente que no hace nada, que solo lo hace aumentar". Para el caso de 4, hizo las combinaciones con los otros químicos ($4 \times 3 \times g$; $1 \times 4 \times g$; $2 \times 4 \times g$) y dijo: "Parece que es un ingrediente que tampoco hace algo... [Se le preguntó si es igual a 2]... Parece que sí. No podría decirte". Cuando se le preguntó de qué otra forma podría saber la función de 4, mencionó que necesitaría otra sustancia que dé otro color para hacer combinaciones de 2 a 2, como había venido haciendo. No realizó las combinaciones de 3 en 3 necesarias.

Discusión

En los tres ejemplos de la primera categoría (resolución sin ayuda) se observan claramente los dos aspectos que caracterizan la lógica de un método propio del estadio del pensamiento formal. Por un lado, se aprecia la configuración de una combinatoria sistemática de factores (de 1 a 1, de 2 a 2, de 3 a 3... de n a n) una vez entendido el problema. Esto puede verse desde el inicio en los casos de DIE y CAM, que hacen combinaciones sistemáticas hasta que obtienen el color, mientras EMI muestra un nivel de sistematización tal que las combinaciones de n a n se planifican

previamente a las pruebas experimentales. Por otro lado, estos ejemplos muestran que lo importante no es el logro a partir de descubrir una combinación específica, sino que hay una relación de necesidad en la combinación que da el color, que obedece a las relaciones dadas por el conjunto de las partes. Ahora, si en estos casos no se realizaron todas las combinaciones posibles, se debió a que el nivel de organización alcanzado se encuentra en un punto de equilibrio que hace de la combinatoria una deducción probatoria. Esto quiere decir que se llevan a cabo sólo las combinaciones necesarias para comprobar o refutar las hipótesis que se plantean, descartando de antemano las combinaciones lógicamente incompatibles. Una vez obtenido el color, las pruebas utilizadas para descubrir de forma más rápida y efectiva los efectos de los químicos 2 y 4 van a estar caracterizadas por sustituciones y adjunciones de estos químicos en la combinación correcta ($1 \times 3 \times g$), tal y como se observa en los casos citados.

Ahora, esta combinatoria lógica y experimental se traduce al pensamiento en la forma de una combinatoria proposicional que permite establecer relaciones lógicas (implicaciones, conjunciones, exclusiones, etc.) que son de gran utilidad para organizar las posibilidades consideradas, las propias acciones desplegadas y las explicaciones correspondientes, aunque no haya una conceptualización o toma de conciencia de la lógica subyacente. Por ejemplo, si se entienden los elementos de la tarea como enunciados lógicos, pueden ordenarse las siguientes posibilidades y sus actualizaciones debidas a la experimentación con los químicos:

(1) Al efectuar las cuatro combinaciones posibles de 1 a 1 ($1 \times g$; $2 \times g$; $3 \times g$; $4 \times g$), se actualiza la imposibilidad de obtener el color amarillo usando solo un químico además de g y esto conduce a la necesidad de obtener el resultado mediante composiciones, es decir que obtener el color *implica* la presencia de más de un químico aparte de g .

(2) Al efectuar las seis combinaciones posibles de 2 a 2 ($1 \times 2 \times g$; $1 \times 3 \times g$; $1 \times 4 \times g$; $2 \times 3 \times g$; $2 \times 4 \times g$; $3 \times 4 \times g$), se descubre la combinación que da el color (1×3) que es una *conjunción* necesaria. Pero hay un problema, ya que en el contexto de estas seis combinaciones de 2 a 2, el efecto del químico 4 parecería ser el mismo que el del químico 2 (no se obtendría el color al combinarlo sólo con un químico más), lo que no es cierto. Van a ser necesarias las composiciones de 3 a 3 para poder diferenciar los efectos de los químicos 2 y 4.

(3) Al efectuar las combinaciones posibles de 3 a 3 ($1 \times 2 \times 3 \times g$; $1 \times 2 \times 4 \times g$; $1 \times 3 \times 4 \times g$; $2 \times 3 \times 4 \times g$) ya sea de manera sistemática o por sustituciones-adjunciones, se descubre la *incompatibilidad* o *exclusión recíproca* entre el químico 4 y la presencia del color amarillo. Cada vez que 4 entra en la mezcla el color no se presenta o cuando el color está presente es porque 4 no lo está. Del mismo modo, se ve la *independencia* entre el color amarillo y el químico 2: esté o no 2, el color se da con la combinación $1 \times 3 \times g$.

En los ejemplos de la segunda categoría (resolución con ayuda) pueden apreciarse las mismas características que en los ejemplos de la primera categoría acerca de la combinatoria sistemática, la relación de las combinaciones posibles y la combinación que da el color, y las

sustituciones-adjunciones. Sin embargo, parece haber una diferencia en el nivel de ordenamiento y conciencia sobre el método que dificulta descubrir el efecto del químico 4. En el caso de ALO se induce la comparación de los químicos 2 y 4 para que emerjan las combinaciones de 3 a 3 y descubra el efecto de 4 por sustituciones. En el caso de LIL el problema es más de orden: para obtener el color, al igual que para descubrir el efecto de 4, las variaciones que hace en la forma en que agrega los químicos al frasco de trabajo le dificultan concluir correctamente la tarea.

Los dos casos de la tercera categoría (no resolución) son ejemplos claros de las dificultades implicadas en descubrir el efecto del químico 4 y la imposibilidad de hacerlo correctamente si no se efectúan las combinaciones de 3 a 3, lo que requiere de estructuraciones de pensamiento complejas. En este nivel se aprecian las características observadas en todos los casos anteriores en relación a la sistematización de la combinatoria y la conciencia de obtener el color amarillo por composiciones de más de un químico. Sin embargo, a diferencia de los primeros tres casos en los que el uso de la combinatoria lógica ha alcanzado un nivel de equilibrio o relativa estabilidad en la organización y consideración del conjunto de las partes, en estos casos el no efectuar o construir conscientemente este conjunto de combinaciones posibles limita los descubrimientos y la solución apropiada de la tarea.

Hasta este punto se han presentado, detallado y comentado tanto la tarea de combinatoria experimental como el desempeño de los participantes en ella. Como se ha visto, las capacidades necesarias para la solución de la tarea están lejos de ser sencillas e incluso con la guía y sugerencias del evaluador hay participantes que no logran resolverla. Esto puede deberse a que no han desarrollado las estructuras requeridas para dominar la combinatoria sistemática. En estos casos, si bien los estudiantes son capaces de formar algunas combinaciones, la falta de exhaustividad y orden en sus procedimientos de resolución de la tarea muestran las dificultades de estructuración de su pensamiento. Esto sin duda apunta a la educación y a las oportunidades que han tenido de aprendizaje y de intercambio con el medio. Y es que estas capacidades no son producto de un proceso puramente madurativo (no aparecen sólo por el paso del tiempo) ni se obtienen simplemente por exposición o repetición de tareas y experiencias similares. Se necesita de una interacción constante y, dada la complejidad de las estructuras involucradas, muy probablemente de una educación formal de calidad que implique entre otros factores amplias oportunidades de experimentar y la guía de maestros competentes.

Conclusiones

Se extraen dos conclusiones principales de este estudio:

La combinatoria es una capacidad compleja que no es necesariamente accesible a las personas solo en función de su edad o su nivel educativo. Este estudio muestra como estudiantes universitarios tienen aún dificultades para operar con ella. Es muy probable, entonces, que una cantidad significativa de personas (particularmente personas sin acceso a la educación superior) no hayan desarrollado tampoco esta capacidad.

El hecho de que personas de la edad de nuestros participantes no posean un esquema combinatorio indica una deficiencia en su educación secundaria. En efecto, el desarrollo de la combinatoria difícilmente se da sin un ambiente demandante en materias de razonamiento y experimentación, básicamente de tipo científico. Siendo la escuela peruana marcadamente tradicional y ajena al trabajo con laboratorios, no es sorprendente obtener estos resultados.

Implicaciones

Como sabemos, la búsqueda de mejores y más eficaces métodos para la enseñanza de las ciencias es una preocupación mundial. En los Estados Unidos por ejemplo hay grandes esfuerzos, llevados a cabo desde finales de 1860, para transformar la enseñanza de la física, tanto en universidades como en la secundaria (Meltzer y Otero, 2015), y se ha experimentado con currículos alternativos para la enseñanza de las ciencias en la educación inicial (DeVries y Sales, 2011). En el Brasil se ha intentado innovar la enseñanza de la física incorporando la concepción educacional dialógico-problematizadora de Paulo Freire (Sutil, Orquiza de Carvalho y Pereira Alves, 2013). A estos esfuerzos debería sumarse un enfoque constructivista como el que asumimos en este estudio, que permita identificar el grado de desarrollo de los procesos cognitivos subyacentes al pensamiento científico de modo que pueda actuarse sobre ellos para ayudar a construirlos de manera eficaz. Es importante que los profesores universitarios tomen conciencia de la existencia de estos procesos y comprendan que la educación en ciencias es más que solamente un asunto de didáctica.

Quizá la mayor relevancia de estos resultados está en que revelan la existencia de estudiantes universitarios que no han construido de manera suficiente las capacidades necesarias para aprovechar adecuadamente la formación que reciben, tanto en el área de ciencias como en otras disciplinas. De no corregirse estas deficiencias, estos estudiantes probablemente tendrán limitaciones para construir nuevo conocimiento, pensar críticamente y aportar al desarrollo de su sociedad. Por supuesto, es probable que en el transcurso de su educación universitaria puedan gozar de experiencias que los lleven a culminar el desarrollo de estructuras de pensamiento como la combinatoria, y que al finalizar su formación ya posean estas capacidades y sean capaces de usarlas de manera sistemática. Pero también es posible que no, por lo que pensamos que la universidad debe tomar conciencia acerca de las limitaciones del sistema operatorio de sus estudiantes y abordarlas de modo sistemático en sus planes educativos. Esto nos lleva a preguntarnos también si los métodos de evaluación de ingreso a las universidades tienen o no capacidad para discernir entre quienes pueden aprovechar de mejor manera la universidad y aquellos que requieren de mayor apoyo para cursar con éxito sus estudios superiores. Es necesario conducir investigaciones de este tipo con muestras mucho más numerosas y representativas, de modo que se pueda contar con estadísticas acerca de la proporción de estudiantes universitarios que no poseen un desarrollo completo de sus sistemas operatorios. La información que pudiera obtenerse serviría para, por ejemplo, reorientar esfuerzos de reforma curricular, ofrecer al docente universitario estrategias de enseñanza que lo ayuden desarrollar el pensamiento de sus estudiantes, o generar

programas de apoyo/nivelación, si fuese el caso de que la proporción de estudiantes sin estas capacidades fuese muy alta.

En suma, la presente investigación ha aportado datos acerca de la complejidad del desarrollo intelectual necesario para la resolución de tareas aparentemente tan sencillas como realizar un experimento. Las capacidades requeridas para resolver la tarea evaluada, si bien deberían estar presentes en todos aquellos que cursan estudios superiores (por estar a la base del pensamiento científico y el pensamiento crítico), no están disponibles para todos en los comienzos de la vida universitaria, lo que implica la necesidad de revisar los programas educativos, con especial atención a las áreas de ciencias, si es que se desea que las universidades logren los objetivos de formar profesionales competentes, críticos y científicamente alfabetizados, algo imprescindible para el desarrollo continuo de la sociedad.

Agradecimientos

Queremos extender nuestros agradecimientos hacia los responsables de la elaboración del software utilizado en esta investigación. Estos son: Luis Alberto Mejía, estudiante de Ingeniería Electrónica en la Pontificia Universidad Católica Del Perú y de Ingeniería de Sonido en el Instituto Orson Wells (programación del software), y Roberto Rojas, estudiante de Periodismo de la Facultad de Ciencias y Artes de la Comunicación de la Pontificia Universidad Católica del Perú (diseño de la interfaz). Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a la Profesora Nadia Gamboa, del Departamento de Ciencias de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Sección Química, por su asesoría en la versión preliminar del instrumento.

Referencias bibliográficas

Beth, E., y Piaget, J. (1968). *Relaciones entre la lógica formal y el pensamiento real*. Madrid: Ciencia Nueva.

Cisneros, C. (2014). Entrevista a Gisella Orjeda. *Sophimania*. Recuperado de http://sophimania.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=22318:peru

DeVries, R., y Sales, C. (2011). *Ramps & Pathways: A Constructivist Approach to Physics with Young Children*. Washington: National Association for the Education of Young Children.

Ducret, J. J. (2004). *Méthode clinique-critique piagétienne*. Genève: Service de la recherche en éducation

Eurostat (2013). Eurostat Pocketbooks: Science, technology and innovation in Europe, 2013 Edition. Recuperado de http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-GN-13-001/EN/KS-GN-13-001-EN.PDF

Eichler, M. L., Parrat-Dayán, S., y Da Cruz Fagundes, L. (2008a). Concepções de adolescentes e de adultos sobre a sublimação do iodo (Teenagers' and adults' conceptions of iodine sublimation). *Investigações em Ensino de Ciências*, 13(1), 95-126.

Eichler, M. L., Parrat-Dayán, S., y Da Cruz Fagundes, L. (2008b). Concepciones de adolescentes e de adultos sobre as mudanças de estado do éter. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 131-156.

Frisancho, S. (1996). *Razonamiento probabilístico en estudiantes universitarios*. Tesis de Magister – Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Graduados, mención: Psicología.

Hartley, L. M., Wilke, B. J., Schramm, J. W., D'Avanzo, C., y Anderson, C.W. (2011). College Students' Understanding of the Carbon Cycle: Contrasting Principle-based and Informal Reasoning. *Bioscience*, 61, 65-75.

Inhelder, B., y Piaget, J. (1955/1985). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente: ensayo sobre la construcción de las estructuras operatorias formales*. Buenos Aires: Paidós.

IPEBA (Instituto Peruano de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad de la Educación Básica) (2013). *Competencias Científicas. ¿Cómo abordar los estándares de aprendizaje de Ciencias?* Lima: Ipeba

Kriner, A., Castorina, J. A., y Cerne, B. (2003) El "Adelgazamiento de la Capa de Ozono": algunos obstáculos para su aprendizaje. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(2), 136-154.

Lam, L., y Frisancho, S. (2014). Explicaciones causales en adolescentes bilingües de escuela pública de Ayacucho. *Schème, Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas*, 6, 164-193.

Meltzer, D., y Otero, V. K. (2015). A brief history of physics education in the United States. *American Journal of Physics* 83, 5, 447-458

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2014). *OECD Factbook 2014: Economic, Environmental and Social Statistics*. OECD Publishing. Recuperado de http://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook_18147364

Piaget, J. (1972/2008). Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood. *Human Development*, 51, 40–47.

Piaget, J. (1976). *El lenguaje y el pensamiento en el niño. Estudio sobre la lógica del niño* (I). Buenos Aires: Guadalupe.

Piaget, J. (1977). *Ensayo de lógica operatoria*. Buenos Aires: Guadalupe

Piaget, J., y Inhelder, B. (1967). *Génesis de las estructuras lógicas elementales: clasificaciones y seriaciones*. Buenos Aires: Guadalupe.

Piaget, J., y Inhelder, B. (2007). *Psicología del niño*. Madrid: Morata

Programme for International Student Assessment (PISA). *PISA 2009 Assessment Framework. Key competencies in reading, mathematics and science*. Recuperado de <http://www.oecd.org/edu/school/programmeforinternationalstudentassessmentpisa/pisa2009assessmentframework-keycompetenciesinreadingmathematicsandscience.htm>

Programme for International Student Assessment (PISA). *PISA 2012 Assesment and Analytical Framework. Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. Recuperado de

http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/PISA%202012%20framework%20e-book_final.pdf

Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana (RICYT) (2013). *El Estado de la Ciencia: Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología - Iberoamericanos/Interamericanos*. Recuperado de http://www.ricyt.org/files/Estado%20de%20la%20Ciencia%202013/1_1-Estado_en_imagenes.pdf

Shin, J., y Steffe, L. (2009). Seventh Graders' Use of Additive and Multiplicative Reasoning for Enumerative Combinatorial Problems. *Paper presented at the annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, OMNI Hotel, Atlanta, GA Online*. Recuperado de http://citation.allacademic.com/meta/p_mla_apa_research_citation/3/6/9/3/8/pages369383/p369383-1.php

Sutil, N., Orquiza de Carvalho, L. M., y Pereira Alves, J. A. (2013). Formação de profesores e pesquisa em ensino de Física em perspectiva freiriana: considerações sobre proceso de problematização da prática educacional. *Revista Lusófona de Educação*, 24, 97-113

Teaching and Learning Research Program (TLRP) (2009). *Science Education in Schools. Issues, Evidence and Proposals*. Londres: University of London.

UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2000). Educación Científica, Tecnológica y Matemática: Una Perspectiva Global. *Contacto. Boletín internacional de la UNESCO de educación científica, tecnológica y ambiental*, 25(3-4), 1-28. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001462/146293s.pdf>

UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2005). *Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago de Chile: Unesco. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001390/139003s.pdf>

UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2006). *Construyendo ciudadanía a través de la educación científica. Proyecto: ConCiencias para la sostenibilidad*. Santiago de Chile: Unesco. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001595/159537S.pdf>