

## VARIACIÓN EN ESTILOS DE EXPERIMENTACIÓN Y CONOCIMIENTO ESPECÍFICO<sup>1</sup>

MARIO CÓRDOBA\*  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR (COLOMBIA)

JORGE LARREAMENDY-JOERNS\*\*  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (BOGOTÁ, COLOMBIA)

*Recibido, febrero 13/2007*

*Concepto evaluación, abril 9/2007*

*Aceptado, abril 14/2007*

### Resumen

Este estudio explora la relación entre estrategias de experimentación y conocimiento específico en una tarea de descubrimiento científico. Grupos de biólogos expertos, psicólogos experimentalistas y legos en biología y experimentación se enfrentaron a una tarea en ecología de poblaciones, que implicaba lograr, a través de la manipulación de parámetros, un equilibrio entre presas y predadores. Se analizaron las tasas de éxito en la tarea, la amplitud y profundidad de la búsqueda experimental y los estilos globales de experimentación. Los resultados indican que los estilos de experimentación están asociados al conocimiento previo de los participantes. Los legos realizaron una extensa búsqueda a través del espacio del problema, contrario a los participantes de alto conocimiento, quienes concentraron su proceso de investigación en un número reducido de parámetros. *Palabras clave:* descubrimiento científico, cognición, estrategias de experimentación, conocimiento específico.

## VARIATION IN EXPERIMENTATION STYLES AND DOMAIN-SPECIFIC KNOWLEDGE

### Abstract

This study explored the relationship between experimental strategies and domain-specific knowledge within a task of scientific discovery. Groups of expert biologists, experimental psychologists, and lay people in both biology and experimentation were asked to solve a task on population ecology, which implied reaching an equilibrium between preys and predators through parameter manipulation. Success rates, depth and breadth of search, and global styles of experimentation were analyzed. Results indicated that experimentation styles are associated with the participants' prior knowledge. Novices engaged in an extensive search through the scope of the problem, whereas expert participants focused their research process on a limited number of parameters.

*Keywords:* scientific discovery, cognition, experimental strategies, domain-specific knowledge.

---

La actividad científica constituye un escenario privilegiado para estudiar cómo las personas detectan patrones, razonan a partir de evidencia, formulan hipótesis y generan explicaciones (Dunbar, 2001; Simon, 1966). En particular, los procesos de descubrimiento constituyen un caso límite de resolución de problemas. El descubrimiento científico ilustra la manera como son resueltos problemas complejos, ubicados en la frontera del conocimiento humano. En tal sentido, la investigación cognitiva sobre la actividad científica proporciona claves importantes acer-

ca de procesos, como la inteligencia y la creatividad, que a menudo han sido rodeados de un halo de misticismo e inefabilidad (Klahr & Simon, 1999; Dunbar & Fugelsang, 2005).

En décadas recientes, la psicología cognitiva ha recurrido a una variedad de estrategias para investigar los procesos de descubrimiento científico (Klahr & Simon, 1999). Algunas son el estudio de documentos históricos (Nersessian, 1992; Thagard, 1998), los estudios de laboratorio (estudios *in vitro*) en los que se observan proce-

---

\* Programa de Psicología, AA. # 1372, Cartagena, Colombia. mcordoba@unitecnologica.edu.co

\*\* Departamento de Psicología, Universidad de los Andes, Carrera 1E # 18A-10, Bogotá, D.C., Colombia. jlarream@uniandes.edu.co

<sup>1</sup> Los autores están listados en orden alfabético. Esta investigación fue financiada a Jorge Larreamendy-Joerns por la División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

sos de resolución de problemas en situaciones diseñadas para aislar aspectos esenciales de la actividad científica (Larreamendy-Joerns, Sandino & Tascón, 2001; Okada & Simon, 1997), la observación etnográfica de actividades científicas genuinas (estudios *in vivo*) (Larreamendy & Sandino, 2004; Sun, Newstetter, & Nersessian, 2006; Trafton, Trickett, Stitzlein, Saner, Schunn, & Kirschenbaum, 2006; Trickett, Trafton, Schunn, & Harrison, 2001), y el diseño de modelos computacionales que simulan procesos de descubrimiento (Kulkarni & Simon, 1988).

Uno de los problemas más destacados en la literatura sobre razonamiento científico es el origen de la variación en las estrategias de experimentación que las personas despliegan durante la resolución de tareas de descubrimiento (Klahr & Dunbar, 1988; Klahr & Nigam, 2004; Okada & Simon, 1997; Schunn & Anderson, 1999). Típicamente, en dichas tareas se le propone un problema a una persona y se le pide que descubra cuáles son las variables que controlan un fenómeno, cuál teoría es consistente con las observaciones, o qué regularidades existen en un conjunto determinado de datos. Para hacerlo, a la persona se le permite manipular variables y observar los resultados de sus experimentos.

Estudios previos reportan variabilidad en las estrategias de experimentación emprendidas por los sujetos. Por ejemplo, en un estudio clásico, Klahr y Dunbar (1988) proporcionaron a sus sujetos un contexto simulado en el que debían descubrir el funcionamiento del comando de un programa de computación que controlaba un pequeño robot. Los autores identificaron dos tipos de solucionadores: los experimentadores y los teóricos. Estos últimos generaban, con anterioridad a la realización de experimentos, un número considerable de hipótesis alternativas sobre el funcionamiento del comando y luego conducían experimentos para rechazar o aceptar las hipótesis consideradas. De esta manera, el surgimiento de hipótesis alternativas no era resultado directo de la experimentación. Por el contrario, los experimentadores solucionaban el problema en dos fases. En la primera, formulaban una hipótesis y realizaban experimentos para evaluarla. En la segunda, conducían experimentos sin hipótesis explícitas y de los resultados obtenidos abstraían nuevas hipótesis, para luego probarlas. Aunque ambos tipos de sujetos descubrían finalmente la función del comando, Klahr y Dunbar encontraron que los teóricos tomaban menos tiempo para hallar la solución que los experimentadores.

Klahr y Dunbar interpretaron estas dos estrategias en términos de su modelo dual de razonamiento. El modelo dual está basado en el concepto de espacio del problema, propuesto por Newell y Simon (1972). Espacio del pro-

blema es la representación mental que un solucionador se hace del problema (definido en términos de su estado inicial, su meta, sus elementos constituyentes y las acciones permitidas). Dicha representación es función de los parámetros de procesamiento del sistema cognitivo (e.g., capacidad de la memoria de trabajo), el conocimiento previo y las características objetivas del problema (o ambiente de la tarea). El espacio del problema determina la manera en que una persona enfrenta el problema, es decir, la búsqueda de acciones y estrategias para alcanzar la solución.

En tareas que implican razonar científicamente, Klahr y Dunbar distinguen dos espacios del problema: el espacio de los experimentos y el espacio de las hipótesis. El primero integra las posibles manipulaciones y combinaciones de y entre las variables del problema. El segundo incluye conjeturas sobre la relevancia de variables y conexiones causales o funcionales entre variables. Según Klahr y Dunbar, el solucionador emprende búsquedas de acciones efectivas en estos dos espacios. En el estudio citado, los experimentadores realizaron una búsqueda intensiva en el espacio de los experimentos, mientras que los teóricos concentraron su búsqueda en el espacio de las hipótesis. Klahr y Dunbar atribuyeron las diferencias en estrategias de experimentación al efecto del conocimiento previo, más que a diferencias estables en estilos cognitivos individuales.

Resultados semejantes son reportados por Okada y Simon (1997), quienes emplearon una tarea en genética molecular para estudiar el proceso de descubrimiento colaborativo. La tarea consistió en descubrir un mecanismo genético que regula la actividad enzimática. Los autores identificaron cuatro estilos de experimentación: a) experimentación comprensiva, que consiste en generar numerosas hipótesis e indagar muchas dimensiones del espacio experimental; b) experimentación guiada por teoría, en la cual se generan muchas hipótesis, pero no se investigan muchas dimensiones del espacio experimental; c) experimentación empírica, en la que se generan pocas hipótesis, pero se investigan muchas dimensiones del espacio experimental; y d) experimentación pasiva, en donde no se investiga a fondo ni el espacio experimental, ni el espacio de las hipótesis. La mayoría de los sujetos adoptó bien el estilo de experimentación empírica, o bien el estilo de experimentación guiada por teoría. Sin embargo, no se encontró una asociación significativa entre el estilo de experimentación, el número de experimentos cruciales conducidos y la calidad del desempeño en la tarea. Okada y Simon sugieren que la adopción de un estilo de experimentación determinado puede ser función de la solidez del conocimiento previo y del estilo cognitivo del sujeto.

Aunque las taxonomías propuestas en los estudios de Okada y Simon y Klahr y Dunbar capturan aspectos importantes de la variabilidad en estrategias de experimentación, dichos estudios no son concluyentes respecto a la relación entre el uso de estrategias de experimentación y el conocimiento previo, ya que no incorporaron en su diseño diversos niveles de conocimiento sobre el dominio de la tarea.

La relación entre la variabilidad en el uso de estrategias y el conocimiento previo fue abordada explícitamente por Schunn y Anderson (1999), quienes llevaron a cabo un estudio sobre la especificidad y generalidad de las habilidades que los científicos emplean para diseñar e interpretar experimentos. Los autores diseñaron una tarea de descubrimiento en psicología de la memoria, en la cual se solicitó a los participantes evaluar experimentalmente dos teorías rivales sobre el efecto de espaciamiento. El estudio incorporó tres niveles de conocimiento, estableciendo una distinción entre conocimiento del dominio disciplinar y conocimiento genérico experimental: psicólogos expertos en el campo de la memoria (expertos en el dominio), psicólogos expertos en desarrollo o cognición (expertos en experimentación) y estudiantes de pregrado (legos). Schunn y Anderson encontraron que la diferencia más notable entre los estudiantes, por un lado, y los expertos y los experimentalistas, por el otro, fue la apreciación del propósito de la tarea científica. “Contrariamente al propósito de la tarea, muchos de los estudiantes no usaron las teorías para diseñar los experimentos, ni relacionaron los resultados de sus propios experimentos con la teoría.” (Schunn & Anderson, 1999, p. 367-368). Aunque Schunn y Anderson incluyeron diversos niveles de conocimiento en el diseño, no establecieron una relación explícita entre dichos niveles y estilos de experimentación, cuando menos definidos en términos de las taxonomías de Klahr y Dunbar (1988) y Okada y Simon (1997).

El propósito del presente estudio fue producir evidencia directa sobre la relación entre conocimiento previo y la adopción de diversos estilos de experimentación, definidos a la manera de Okada y Simon (1997); con ello se pretende contribuir a la explicación de las fuentes de variabilidad cognitiva. Adicionalmente, para incrementar la validez de las inferencias, el estudio se propuso estudiar la relación entre conocimiento y estrategias de experimentación en el contexto de una tarea de descubrimiento científico que fuera suficientemente desconocida y desafiante tanto para participantes de bajo como de alto conocimiento. El dominio elegido fue la biología evolutiva y, en particular, la ecología de poblaciones.

## MÉTODO

### *Tipo de Estudio*

Este es un estudio de tipo cuasi-experimental, con tres grupos definidos en función de su conocimiento sobre experimentación y su conocimiento disciplinar sobre biología y ecología, y variables dependientes asociadas al desempeño de los participantes en una tarea de descubrimiento científico.

### *Participantes*

El estudio empleó una muestra intencional de 20 personas (N=20), quienes fueron asignadas a los siguientes tres grupos de acuerdo con su nivel de conocimiento en biología y experimentación: a) alto conocimiento disciplinar (en adelante biólogos), conformado por seis biólogos investigadores colombianos (n=6) en evolución y ecología; b) alto conocimiento experimental (en adelante experimentadores), conformado por cuatro psicólogos experimentales colombianos (n=4) con experticia en procesos cognitivos y aprendizaje; y c) bajo conocimiento (en adelante legos), conformado por 10 estudiantes (n=10) de semestres iniciales de psicología de una universidad pública en Colombia, sin conocimiento especializado en biología, ni formación previa en investigación experimental. Los criterios para la selección de los biólogos y experimentadores participantes fueron haber cursado estudios de maestría o doctorado en sus especialidades, contar con un mínimo de cinco años de experiencia en investigación y docencia universitaria, y haber publicado en revistas científicas indexadas. El tamaño de la muestra seleccionada fue comparable al de estudios semejantes (Schauble, Glaser, Raghavan & Reiner, 1990; Schunn & Anderson, 1999; Okada & Simon, 1997).

### *Tarea Experimental*

La tarea consistió en un problema de descubrimiento científico en el área de biología evolutiva y ecología de poblaciones. Se empleó el micromundo virtual Predapredatore, diseñado por DiFerdinando (1999). Predapredatore es un software interactivo que simula algunos mecanismos evolutivos, en el contexto de la interacción de tres poblaciones: una población vegetal (cebo), una población animal que se alimenta del cebo (i.e., presas) y una población animal que se alimenta de las presas (i.e., predadores). El programa integra algoritmos evolutivos y permite al usuario modificar parámetros en cuatro dominios que regulan la actividad de las poblaciones: reproducción, percepción, metabolismo y evolución. En cada dominio existen parámetros que pueden ser modificados. Los do-

Tabla 1

Dominios y parámetros modificables para cada población en Predapredatore.

Población	Dominio del Parámetro	Parámetros	Condiciones iniciales
Cebo	Reproducción	Primera reintroducción	1
		Intervalo de reintroducción	1
		Cantidad reintroducida	5
	Percepción	Capacidad visual	20
		Energía inicial	10
	Metabolismo	Decremento de energía	0
Incremento de energía		1	
Edad de reproducción		100	
Presas / Predadores	Reproducción	Número de hijos	2
		Edad máxima	101
		Primera selección	100
		Intervalo de selección	100
	Evolución	Porcentaje de eliminación	50%
		Tasa de mutación	10%
		Entidad de mutación	100%

minios y parámetros para cada población se presentan en la Tabla 1.

El tiempo de la simulación se expresa en ciclos. Un ciclo indica el tiempo en el que el conjunto de los organismos de Predapredatore ejecuta una acción discreta (e.g., moverse de un lugar a otro, alimentarse, reproducirse). Una vez se definen los parámetros, se ejecuta la simulación y los participantes observan una representación analógica de la interacción de las tres poblaciones en una ventana de la interfase. Dependiendo del valor de los parámetros en cada uno de los dominios, Predapredatore da lugar a cuatro resultados posibles en  $n$ -ciclos: a) la población de presas se extingue; b) la población de predadores se extingue; c) el ambiente se satura de presas, predadores o cebo, y d) las poblaciones de presas, predadores y cebo coexisten en equilibrio dinámico.

A los participantes se les presentó la simulación con una configuración inicial (véase tabla 1) que produce que las poblaciones interactúen durante 38 ciclos, al final de los cuales la población de presas se extingue. Se solicitó a los participantes que modificaran la configuración de manera que presas, depredadores y cebo interactuaran al menos 700 ciclos. Se permitió ejecutar un máximo de 18 experimentos para alcanzar la meta, y en cada uno de ellos los participantes podían modificar todos los parámetros que desearan excepto el número inicial de presas, depredadores y cebo. Un experimento se definió como la modificación de parámetros y la ejecución de la simulación para observar resultados.

Aunque la tarea experimental es un problema bien estructurado dado que la meta está bien definida (i.e., lograr

700 ciclos), también es un problema abierto puesto que admite diversas estrategias de solución. Por ejemplo, una de las soluciones exitosas requiere la manipulación de la edad de reproducción de las presas y la capacidad visual de los depredadores. Dado que en la configuración inicial existe un número considerable de depredadores (10), es necesario que las presas no se extingan por efecto de la depredación. Para ello, debe controlarse la capacidad de depredación de los depredadores, limitando su capacidad visual, de manera que no puedan hallar a sus presas. Simultáneamente, es necesario aumentar la tasa de reproducción de las presas (reduciendo la edad en la cual se reproducen), sin que ello conduzca a una sobrepoblación de presas.

#### *Procedimiento*

El procedimiento experimental se realizó de forma individual en dos fases. La primera, o fase de entrenamiento, consistió en la presentación y explicación de Predapredatore a los participantes, quienes para familiarizarse con la simulación realizaron dos experimentos a partir de configuraciones iniciales de menor dificultad. El experimentador despejó cualquier duda sobre el funcionamiento del programa. En la segunda fase, o fase de descubrimiento, se pidió a los participantes descubrir en un máximo de 18 experimentos una configuración de parámetros que permitiera el equilibrio entre cebo, presas y predadores durante un mínimo de 700 ciclos, sin modificar las condiciones iniciales de los parámetros. Se permitió a los participantes repetir experimentos para verificar resultados y llevar registros escritos. El experimentador registró en

una plantilla las modificaciones de los parámetros y los resultados de la simulación. Igualmente, se solicitó a los participantes que pensarán en voz alta durante la resolución del problema. Las verbalizaciones fueron audiogradas y transcritas para su posterior análisis.

#### *Codificación y Análisis*

Los datos obtenidos fueron estudiados en cuatro niveles de análisis: a) desempeño general en la tarea, b) características de los procesos de búsqueda, c) tipo de operaciones cognitivas realizadas y d) estilos globales de experimentación.

Para caracterizar el desempeño general en la tarea de cada participante se registró el máximo número de ciclos alcanzados durante la sesión experimental, el número de experimentos realizados y el tiempo total de ejecución del problema.

Los procesos de búsqueda en el espacio del problema fueron descritos a partir de su amplitud y profundidad. La amplitud de la búsqueda se refiere a la diversidad de hipótesis que los participantes consideraron. Para estimar la amplitud de la búsqueda en el espacio del problema, se consideraron dos medidas adaptadas de Okada y Simon (1997). Primero, el número de parámetros modificados y, segundo, el número de dominios modificados; es decir, el número de cambios efectuados en parámetros pertenecientes al mismo dominio de tarea.

La profundidad de búsqueda se refiere al grado en el cual una persona persevera en la exploración de una misma hipótesis. Para estimar la profundidad, se tomaron dos medidas adaptadas de Schunn y Anderson (1999). Primero, la variación de parámetros entre experimentos adyacentes, que fue calculada contando el número total de parámetros que fueron manipulados en un experimento, pero no fueron manipulados en el experimento inmediatamente anterior. Segundo, la variación de dominios entre experimentos adyacentes, que fue estimada contando el número total de dominios que fueron manipulados en un experimento pero que no fueron manipulados en el experimento inmediatamente anterior. Si una hipótesis se explora exhaustivamente, el participante perseverará en la manipulación de los mismos parámetros y dominios entre experimentos adyacentes, mientras que si cambian los parámetros y dominios, presumiblemente la(s) hipótesis habrá(n) cambiado. Una menor variación de parámetros y dominios entre experimentos sugiere una mayor especificación de la(s) hipótesis considerada(s).

Para el análisis de las operaciones cognitivas realizadas, se muestrearon las verbalizaciones de los participantes correspondientes a los cinco primeros y cinco últimos experimentos. Las verbalizaciones fueron segmentadas en

unidades ideacionales y asignadas a una de las siguientes categorías: a) formulación de metas; b) formulación de hipótesis y explicaciones; c) modificación de parámetros; d) heurísticas de experimentación; e) lectura de resultados; f) evaluación de resultados; g) formulación de preguntas; y h) actividades metacognitivas. Para efectos del presente análisis sólo se reportan los resultados correspondientes a la categoría “formulación de hipótesis y explicaciones”, a la que fueron asignadas verbalizaciones que expresaban predicciones, conjeturas causales o explicativas.

Para controlar los efectos de la extensión de las verbalizaciones sobre los resultados de la categorización, las frecuencias correspondientes a cada categoría se transformaron a proporciones relativas al número total de unidades codificadas para cada sujeto. Un 15% de las verbalizaciones fue codificado por dos jueces independientes para estimar la confiabilidad. La confiabilidad promedio entre jueces fue del 86.1%, con un rango entre 72% y 95.8% dependiendo de las categorías.

Para identificar el estilo general de experimentación de cada participante se adaptó la metodología de Okada & Simon (1997). Se calculó el promedio de hipótesis generadas por los participantes del estudio y el promedio de dominios experimentales manipulados. Se asignó cada participante a uno de los siguientes estilos generales de experimentación:

- *Comprehensivo*. En este estilo el participante formula un alto número de hipótesis; sin embargo, explora un alto número de dominios de manera no sistemática. La proporción de hipótesis y dominios explorados está por encima de las correspondientes medias generales.

- *Teórico*. En esta estrategia, la experimentación está guiada por hipótesis y por un modelo causal de la situación. Sin embargo, la indagación se limita a dominios definidos por las hipótesis formuladas y, por lo tanto, tiene menor amplitud. La proporción de hipótesis está por encima de la media general y el número de dominios explorados está por debajo del promedio general.

- *Empírico*. En esta estrategia, el participante genera pocas hipótesis y manipula un número considerable de dominios sin generar un modelo causal del ambiente. Así, su experimentación está guiada inductivamente por los resultados de los experimentos, más que por hipótesis específicas. A esta categoría se asignaron participantes que exploraron un número de dominios experimentales superior a la media general, pero cuya proporción de hipótesis y explicaciones estuvo por debajo de la media.

- *Pasivo*. En esta estrategia, el participante no genera un modelo causal de la situación, postula pocas hipótesis, y la amplitud de su indagación está limitada a pocos dominios. El número de dominios y la proporción de hipó-

tesis generadas están por debajo de las medias generales correspondientes.

Para estimar la significación estadística de diferencias entre los grupos experimentales en las diversas medidas se empleó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y la prueba de Mann-Whitney para análisis post hoc. Considerando el reducido tamaño de la muestra y la posibilidad de cometer errores de Tipo II, se adoptó, al igual que estudios semejantes en la literatura (Schunn & Anderson, 1999), un alfa nominal de .10 para aceptar como significativas las diferencias observadas.

## RESULTADOS

### *Desempeño General en la Tarea*

De los 20 participantes del estudio, sólo dos (uno del grupo biólogos y el otro del grupo de experimentadores) lograron resolver exitosamente la tarea. El resto de los participantes llevó a cabo los 18 experimentos permitidos, sin alcanzar la meta de los 700 ciclos. Entre los grupos experimentales no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el número de experimentos realizados, en el máximo número de ciclos alcanzados durante la fase de experimentación, ni en los tiempos de resolución del problema. En síntesis, los resultados muestran que los grupos no difieren en su desempeño general en la tarea y que el logro de la meta fue excepcional. A pesar de la uniformidad entre grupos en términos del éxito en la tarea, se detectaron diferencias en los procedimientos de búsqueda emprendidos por los participantes.

### *Proceso de Búsqueda en el Espacio del Problema*

Puesto que la resolución de la tarea fue excepcional, el análisis de los resultados se concentró en el comportamiento típico de los grupos. Por lo tanto, los dos participantes exitosos fueron excluidos de dichos análisis.

### *Amplitud de la Búsqueda*

La amplitud de la búsqueda en el espacio del problema varió entre los grupos experimentales. Como se observa en la Figura 1, el grupo de biólogos manipuló menos parámetros ( $\bar{X} = 34.40$ ,  $DE = 9.81$ ) que el grupo experimentadores ( $\bar{X} = 37.33$ ,  $DE = 8.14$ ); y los experimentadores, a su vez, menos que el grupo de legos ( $\bar{X} = 61.10$ ,  $DE = 29.85$ ). Estas diferencias entre grupos fueron estadísticamente significativas ( $H = 4.54$ ,  $p = .10$ ). Por otra parte, el grupo de experimentadores ( $\bar{X} = 27.67$ ,  $DE = 2.08$ ) y el de biólogos ( $\bar{X} = 28.00$ ,  $DE = 6.20$ ) modificaron menos dominios que el grupo de legos ( $\bar{X} = 43.40$ ,  $DE = 18.05$ ). Estas diferencias también fueron estadísticamente significativas ( $H = 5.30$ ,  $p = .07$ ). Análisis post hoc indicaron diferencias significativas entre los grupos de biólogos y legos, y entre el de experimentadores y legos, pero no entre los grupos de biólogos y experimentadores. Estos resultados sugieren una asociación entre el nivel de conocimiento y la amplitud de la búsqueda emprendida al resolver tareas de descubrimiento científico.

### *Profundidad de la Búsqueda*

Los grupos experimentales difirieron en la profundidad con la que buscan a través del espacio del problema. Como ilustra la Figura 2, el grupo de legos modificó con

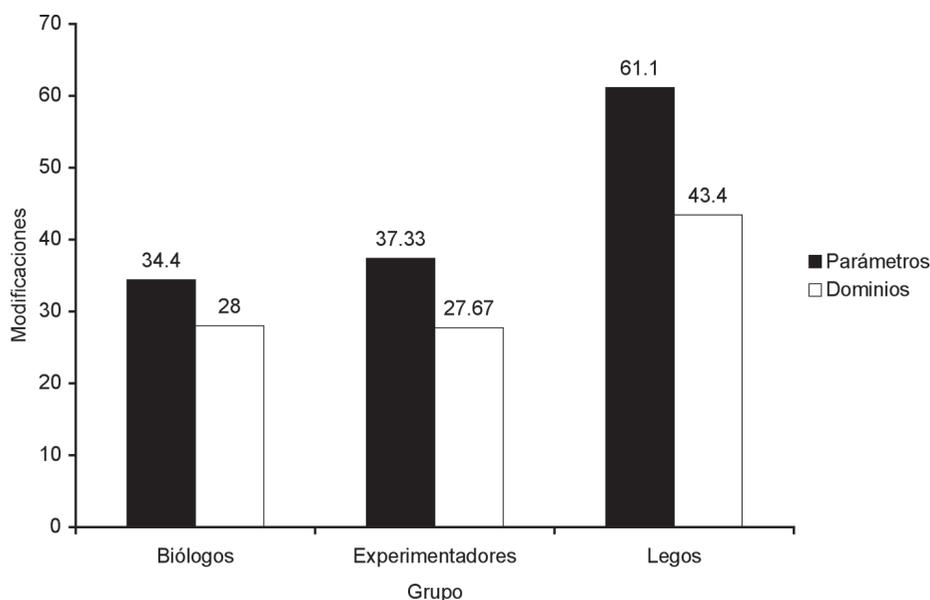


Figura 1. Promedio de parámetros y dominios modificados por grupo experimental.

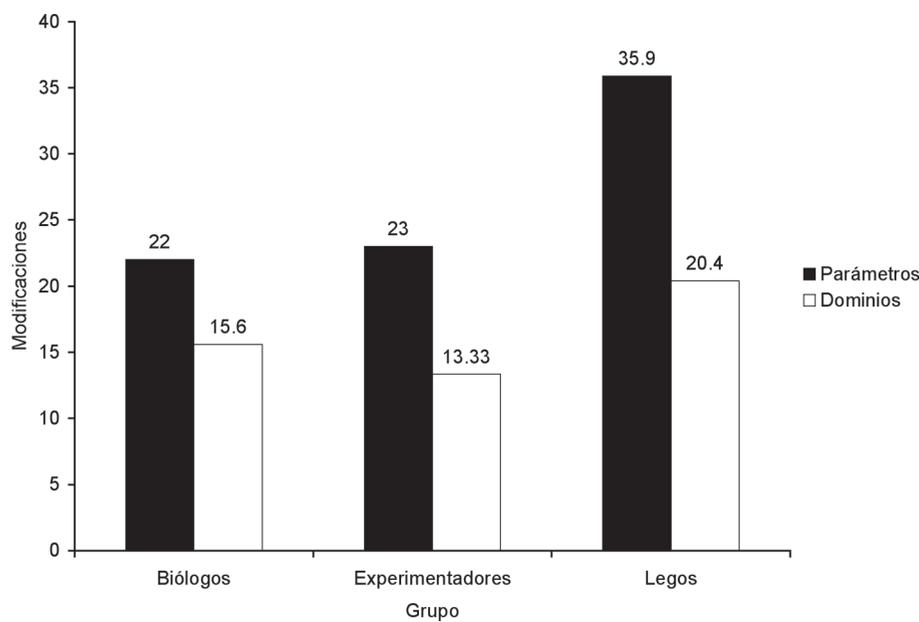


Figura 2. Promedio de cambio de parámetros y dominios entre experimentos adyacentes por grupo experimental.

mayor frecuencia parámetros distintos entre experimentos adyacentes ( $\bar{X} = 35.90$ ,  $DE = 11.08$ ), seguidos por el grupo de experimentadores ( $\bar{X} = 23.00$ ,  $DE = 5.57$ ), y finalmente por el grupo de biólogos ( $\bar{X} = 22.00$ ,  $DE = 5.83$ ). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $H = 7.89$ ,  $p = .02$ ).

De manera similar, el grupo de legos modificó dominios diferentes entre experimentos adyacentes con mayor frecuencia ( $\bar{X} = 20.40$ ,  $DE = 6.31$ ) que los participantes del grupo biólogos ( $\bar{X} = 15.60$ ,  $DE = 6.80$ ) y del grupo de experimentadores ( $\bar{X} = 13.33$ ,  $DE = 1.53$ ) (véase figura 2). El análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre grupos en la variación de dominios entre experimentos adyacentes ( $H = 6.24$ ,  $p = .04$ ). Contrastes post hoc indicaron diferencias significativas entre el grupo de legos y los grupos de alto conocimiento (biólogos y experimentadores), pero no entre los grupos de biólogos y experimentadores. Estos resultados muestran consistentemente que los participantes de los grupos de biólogos y experimentadores se comprometieron en una búsqueda más profunda que los participantes del grupo de legos, lo cual sugiere una asociación entre el nivel de conocimiento y el seguimiento dado a las hipótesis o alternativas de solución.

Cabe anotar que los dos grupos de alto conocimiento, biólogos y experimentadores, condujeron experimentos más controlados que los legos. Se ha señalado repetidamente que el control de variables constituye una heurística

experimental que incrementa la informatividad de los resultados y favorece su interpretación (Okada & Simon, 1997; Chen & Klahr, 1999; Tschirgi, 1980). La sistematicidad con la que fue explorado el espacio del problema fue estimada contando la frecuencia de experimentos en los que se manipuló un solo dominio a la vez. Esta frecuencia fue promediada para cada grupo experimental. Los biólogos ( $\bar{X} = 10.20$ ,  $DE = 3.96$ ) y experimentadores ( $\bar{X} = 10.00$ ,  $DE = 1.00$ ) diseñaron más experimentos controlados que los legos ( $\bar{X} = 5.80$ ,  $DE = 3.43$ ). El análisis estadístico muestra diferencias significativas en el promedio de experimentos controlados entre los grupos ( $H = 5.62$ ,  $p = .060$ ). Contrastes post hoc indican diferencias significativas entre los grupos de biólogos y legos ( $U = 9.50$ ,  $p = .05$ ) y entre los grupos de experimentadores y legos ( $U = 4.00$ ,  $p = .061$ ), pero no diferencias entre los grupos biólogos y experimentadores ( $U = 7.5$ ,  $p = 1.00$ ). La tendencia de los participantes de alto conocimiento a conducir un mayor número de experimentos unidomínios sugiere una asociación entre el nivel de conocimiento y la sistematicidad de la búsqueda. Estas diferencias no se observaron en la manipulación de un parámetro a la vez.

#### Operaciones Cognitivas Realizadas

Las verbalizaciones referidas a la modificación de parámetros fueron las más frecuentes, totalizando el 35.6 % de las verbalizaciones, seguidas por las de lectura de resultados (16.8 %), formulación de hipótesis y explica-

ciones (14.9%), actividades metacognitivas (12.8 %), evaluación de resultados (7.9 %), formulación de metas y submetas (5.8 %), heurísticas de experimentación (4.2 %) y, en último lugar, formulación de preguntas (2 %).

Al comparar las proporciones de categorías de procesamiento entre los grupos se observaron diferencias significativas en la generación de hipótesis-explicación ( $H = 5.13$ ,  $p = .07$ ), la modificación de parámetros ( $H = 7.12$ ,  $p = .03$ ) y las verbalizaciones relativas al uso de heurísticas de experimentación ( $H = 7.77$ ,  $p = .02$ ). Contrastes post-hoc indicaron diferencias entre los grupos de alto conocimiento y el de legos, pero no entre los dos grupos de alto conocimiento.

#### *Estilos Generales de Experimentación*

Se calculó la proporción promedio de hipótesis generadas por todos los participantes del estudio ( $\bar{X} = 14.92$ ) y el promedio de dominios experimentales manipulados ( $\bar{X} = 37.10$ ). Posteriormente se asignó cada participante a uno de los cuatro estilos de experimentación: comprensivo, teórico, empírico y pasivo. En la Figura 3 se presenta la distribución de participantes en cada uno de los estilos, representados en los cuadrantes del plano. Como puede verse, los biólogos y los experimentadores tendieron a verbalizar un mayor número de hipótesis, pero examinaron una cantidad limitada de dominios. Inversamente, los legos tendieron a explorar un mayor número de dominios y formular pocas hipótesis. Sin embargo, hay que resaltar que los legos presentaron una mayor variabilidad en los estilos de experimentación en comparación con los dos grupos de alto conocimiento.

En términos de los estilos generales de experimentación, la mayoría de los participantes del grupo de biólogos (cuatro de cinco sujetos) y del grupo de experimentadores (tres de cuatro sujetos) adoptaron un estilo de experimentación teórico. Por su parte, los legos exhibieron mayor variabilidad, aunque se presentó una tendencia a adoptar un estilo de experimentación empírico (cinco de diez). Para estimar la significancia estadística de esta distribución de frecuencias se llevó a cabo un análisis de chi-cuadrado. Los resultados indican que la distribución observada es estadísticamente diferente de una distribución al azar,  $\chi^2(6, N = 20) = 11.74$ ,  $p = .068$ .

## DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue investigar la relación entre la variabilidad en estrategias de experimentación y el conocimiento específico (disciplinar y experimental). Un primer resultado para discutir es la baja tasa de éxito

de los tres grupos participantes. Como cabría esperar, la baja tasa de éxito sugiere que la tarea resultó altamente compleja. Hay que anotar, sin embargo, que no es sorprendente encontrar bajas tasas de éxito en una tarea de descubrimiento científico, incluso en participantes con alto nivel de conocimiento. Las investigaciones que han documentado diferencias considerables en las medidas de éxito entre novatos y expertos han empleado tareas que resultan simples para los expertos y que, por tanto, no representan genuinos procesos de descubrimiento (Chi, Feltovich & Glaser, 1981). Estos estudios contrastan con la novedad típica de las tareas de descubrimiento, en las cuales el conocimiento de los participantes no anticipa la solución, sino que debe ser puesto en uso para alcanzarla (VanLehn, 1989).

Es plausible que la ausencia de diferencias en las medidas de éxito entre grupos en el presente estudio se deba a que el conocimiento de dominio específico (i.e., teorías ecológicas y evolutivas), o el conocimiento acerca de estrategias de experimentación (i.e. diseño de experimentos controlados) no haya logrado compensar el nivel de complejidad de la tarea, cuya resolución exigía la construcción del modelo de funcionamiento de un ambiente dinámico, la selección del conjunto de parámetros que deben ser primordialmente analizados en un número limitado de experimentos disponibles y la selección de los valores numéricos que deben ser asignados a cada parámetro. El nivel de dificultad de la tarea demandó a los participantes comprometerse con auténticos procesos de descubrimiento científico eligiendo estrategias de experimentación que limitaran y guiaran la búsqueda en el espacio del problema.

Aunque suponemos que la complejidad de la tarea incidió en la presentación de una baja tasa de éxito generalizada para los tres grupos, la tarea permitió detectar diferencias en los procedimientos de solución emprendidos por los participantes. Específicamente, se observaron diferencias en relación con la amplitud, la profundidad y la sistematicidad de la búsqueda, por una parte, y la referencia explícita al uso de heurísticas de experimentación y la generación de hipótesis y explicaciones, por otra. Los legos se comprometieron en una extensa búsqueda a través del espacio del problema, explorando los efectos de múltiples parámetros y dominios, en oposición al comportamiento de los participantes de alto nivel de conocimiento, quienes concentraron su proceso de investigación en un número reducido de parámetros y dominios.

Estos resultados sugieren que tanto el conocimiento especializado en el dominio de la tarea, como el conocimiento general sobre el diseño y conducción de experimentos, cumplen una importante función en la delimitación del espacio de búsqueda. De manera complementaria

ria, las diferencias entre los grupos de alto conocimiento y el grupo de legos en lo referente a la profundidad de la búsqueda, sugieren un mayor compromiso de los biólogos y experimentadores en la especificación de sus hipótesis y alternativas de solución. Nótese que mientras los legos cambiaron frecuentemente los parámetros y dominios que manipularon entre experimentos adyacentes, los grupos de alto conocimiento profundizaron en el estudio de unos mismos parámetros y dominios. Schunn y Anderson (1999) reportan resultados semejantes: mientras que los expertos en el dominio (psicólogos de la memoria), los expertos en la tarea (psicólogos sociales) y los estudiantes de pregrado de “habilidad alta” no difieren entre sí en términos del porcentaje de variaciones entre experimentos adyacentes, estos tres grupos realizan menos variaciones comparados con los estudiantes de pregrado de “habilidad media”. Estos datos sugieren que tanto el conocimiento declarativo y especializado en el dominio de la tarea como el conocimiento procedimental acerca de la actividad de experimentación promueven una exploración más profunda del espacio del problema.

En conformidad con los hallazgos de Chen y Klahr (1999) y Kunh, García-Milla, Zohar y Andersen (1995), los legos diseñaron, en comparación con los biólogos y experimentadores, un reducido número de experimentos en los que se manipulan únicamente parámetros pertenecientes al mismo dominio. Estos resultados son consistentes con el mayor número de verbalizaciones referidas al uso de heurísticas de experimentación en los participantes de alto nivel de conocimiento. Schunn y Anderson (1999) también han reportado la tendencia de los sujetos sin entrenamiento previo a violar la estrategia de realizar experimentos simples (i.e. mantener constantes las variables no relevantes para una hipótesis) y otras heurísticas de experimentación en contextos de descubrimiento científico. Por ejemplo, los legos tienden a diseñar experimentos sin una finalidad explícita o argumentar en favor de una conjetura sin contar con evidencia experimental.

Biólogos y experimentadores se concentraron en la estrategia de experimentación teórica, caracterizada por el control experimental de unos pocos dominios y la frecuente generación de hipótesis y explicaciones. Esto sugiere que cuando los participantes cuentan con conocimiento de dominio específico enfrentan la tarea procurando asegurar la coherencia conceptual de los elementos implicados en el problema generando un modelo causal. Por otra parte, aunque los experimentadores no contaban con una base de conocimiento específica en el dominio de la tarea, es posible que el entrenamiento previo en sus dominios de experticia los llevara a emprender un estilo teórico en su proceso de descubrimiento.

Schunn y Anderson encontraron que psicólogos expertos en el dominio de la memoria y psicólogos expertos en otras áreas comparten un conjunto considerable de habilidades experimentales, las cuales son descritas mediante sistemas de reglas de producción e implementadas en programas computacionales. Los resultados de la presente investigación hacen extensivos los hallazgos sobre la generalidad de algunas habilidades científicas, no sólo a los miembros de un mismo dominio disciplinar con diferentes especialidades (i.e. psicólogos cognitivos y psicólogos sociales), sino también a científicos de diferentes disciplinas (i.e. psicólogos y biólogos).

La evidencia provista por Schunn y Anderson (1999) y los datos de la presente investigación, promueven una visión de la experticia en ciencia como un proceso diversificado de adquisición de conocimiento y habilidades de diferentes niveles de especificidad/generalidad. Por ejemplo, algunas habilidades y conocimientos son específicos a ciertos problemas de un dominio y otras son generales a diferentes dominios de conocimiento.

De manera consistente con la variabilidad documentada en estrategias de experimentación exhibidas por participantes no expertos en tareas de descubrimiento científico (Klahr & Dunbar, 1988; Okada & Simon, 1997), en este estudio los legos exhibieron mayor variabilidad que los biólogos y experimentadores. Sin embargo, como se ilustra la Figura 3, existió una clara tendencia de los legos a concentrarse en la estrategia experimental, explorando múltiples dominios experimentales y generando pocas hipótesis y explicaciones. Este comportamiento sugiere que la ausencia de conocimiento disciplinar y conocimiento sobre heurísticas de experimentación está asociada a un estilo de experimentación particular, en el cual los sujetos procuran adquirir abundante información, pese a que ella sea compleja y difícilmente interpretable.

Igualmente importante resulta el hecho de que la información generada experimentalmente no haya sido integrada por algunos participantes en un modelo causal, como lo señala la baja proporción de actividades explicativas de los legos. Los estudios coinciden en que las actividades de explicación promueven la integración de información y la construcción de teorías más profundas (Chi & Ohlsson, 2005; Okada & Simon, 1997). Así, el estilo de experimentación empírico refleja una precaria comprensión de los propósitos de la experimentación en la tarea de descubrimiento propuesta y una débil construcción de modelos sobre la naturaleza de los parámetros del ambiente (por ejemplo, sobre parámetros relacionados o relaciones moderadoras o mediadoras).

En síntesis, los datos muestran que los estilos de experimentación están asociados al conocimiento previo de los

participantes, y aunque es posible que otros factores como las preferencias individuales por ciertos tipos de procesamiento de información o estilos cognitivos también estén implicados (Klahr, Dunbar, Fay, Penner, & Schunn, 2000; Okada y Simon, 1997), el efecto del conocimiento parece ser lo suficientemente robusto para sobreponerse a tales preferencias en contextos de descubrimiento científico. De manera similar, los estilos de experimentación se encuentran asociados con la construcción y especificación de modelos causales del ambiente, una actividad crucial en la práctica científica.

## REFERENCIAS

- Chase, W. G., and Simon, H. A. (1973). The mind's eye in chess. En W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 215–281). New York: Academic Press.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098-1120.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chi, M.T.H. & Ohlsson, S. (2005). Complex declarative learning. En K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (Pp. 371-399). Cambridge University Press
- Dunbar, K. (2001). What scientific thinking reveals about the nature of cognition. En Crowley, K., Schunn, D.C., Okada, T. (Eds.) *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings* (pp. 83-114). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Dunbar, K., & Fungelsang (2005). Scientific thinking and reasoning. En K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 705-726). New York: Cambridge University Press.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1-48.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661-667.
- Klahr, D., & Simon, H. A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125(5), 524-543.
- Klahr, D., Dunbar, K., Fay, A. L., Penner, D. E., & Schunn, C. D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Kuhn, D., Garcia-Mila, M., Zohar, A. & Andersen, C. (1995). *Strategies of knowledge acquisition*. Monographs of the Society for Research in Child Development, 60 (4).
- Kulkarni, D., & Simon, H. A. (1988). The processes of scientific discovery: The strategy of experimentation. *Cognitive Science*, 12(1), 139-175.
- Larreamendy-Joerns, J., & Sandino, J. C. (2004). *Biology field-work: Doing science and finding identity in the grass*. Trabajo presentado como parte del simposio "Conversation, activity, and informal learning", Kevin Crowley (Presidente). Reunión anual de la American Educational Research Association. San Diego, 2004.
- Larreamendy-Joerns, J., Sandino, J. C., & Tascón, R. (2001). Cuando saber es preguntar: Comprensión, formulación de preguntas y conocimiento en biología evolutiva. *Revista Colombiana de Psicología*, 10, 68-80.
- Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science*. Minnesota studies in the philosophy of science (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Newell, A. and Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Okada, T., & Simon, H. A. (1997). Collaborative discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 21(1), 109-146.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K., & Reiner, M. (1991). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *The Journal of the Learning Sciences*, 1(2), 201-238.
- Schunn, C. D., & Anderson, J. R. (1999). The generality/specificity of expertise in scientific reasoning. *Cognitive Science*, 23(3), 337-370.
- Simon, H. A. (1966). Scientific discovery and the psychology of problem solving. In R. Colodny (Ed.), *Mind and cosmos* (pp. 22-40). Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
- Sun, Y., Newstetter, W., & Nersessian, N. J. (2006). Promoting model-based reasoning in problem-based learning. Trabajo presentado en la reunión anual de la Cognitive Science Society, Vancouver, Canadá.
- Thagard, P. (1998). Ulcers and bacteria: Discovery and acceptance. *Studies in History and Philosophy of Biology and Biomedical Science*, 29, 107-136.
- Trafton, J. G., Trickett, S. B., Stitzlein, C. A., Saner, L., Schunn, C., & Kirschenbaum, S. S. (2006). The relationship between spatial transformations and iconic gestures. *Spatial Cognition & Computation*, 6(1), 1-29.
- Trickett, S., Trafton, G., Schunn, C., & Harrison, A. (2001). "That's odd!" How scientists respond to anomalous data. Trabajo presentado en la reunión anual de la Cognitive Science Society, Edimburgo, Reino Unido.
- VanLehn, K. (1989). Problem solving and cognitive skill acquisition. En M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (pp. 526-579). Cambridge, MA: M. I. T. Press.