

ASIMETRÍA EN EL RAZONAMIENTO CAUSAL BAYESIANO BAJO INCERTIDUMBRE

J. López y J. García

Jorge López Puga es Profesor Asociado en el Área de Metodología de las Ciencias del Comportamiento en la Facultad de Psicología de la Universidad de Almería (Carretera de Sacramento s/n. 04120-Almería). Juan García García es Profesor Titular de Universidad en el Área de Metodología de las Ciencias del Comportamiento en la Facultad de Psicología de la Universidad de Almería.

El estudio de la causación en psicología no ha sido ampliamente tratado hasta nuestros días. Como señalan Cook y Shadish (1994), el *Annual Review of Psychology* no había publicado ningún trabajo sobre inferencia causal o experimentación hasta mediados de la

década de los noventa, pese a que uno de los objetivos de la psicología es el establecimiento de relaciones causales a través, principalmente, de la experimentación. El problema que subyace en el estudio de la causalidad tiene una doble vertiente. Por un lado, la concepción de la causalidad ha ido cambiando a lo largo de la historia, lo que la convierte en un concepto difícil de abarcar desde un punto de vista científico (Pearl, 2000). Por otro lado, los fenómenos causales son dinámicos e implican cierto relativismo ya que las relaciones causales en un sistema dependen de las variables incluidas en el modelo (Spirtes, Glymour y Scheines, 2000; Spirtes, Scheines, Glymour, Richardson y Meek, 2004; Yela, 1996).

Sin embargo, el estudio de la causalidad tiene relevancia práctica, al menos, por dos motivos. En primer lugar, tener una idea clara de cómo funcionan los procesos causales tiene repercusiones directas en el ámbito de las ciencias sociales y de la salud (Pearl, 2001; Parascandola y Wees, 2001) ya que este conocimiento podría servir para prevenir, diagnosticar y tratar enfermedades o trastornos tanto colectiva como individualmente. Por otra parte, el razonamiento causal así como los proce-

sos de atribución causal parecen estar relacionados con ciertos trastornos psicológicos del estado del ánimo (Matute y Miller, 1998; Notterman, 2004; Overmier y LoLordo, 1998).

El estudio de la causalidad no ha sido una tarea sencilla de acometer, principalmente, como decíamos anteriormente, porque el propio concepto de causalidad ha ido cambiando a lo largo de la historia. Desde la filosofía se han diferenciado dos ramas paralelas de pensamiento en torno a la concepción de la causalidad como elemento integrador de la cognición humana que han generado una marcada divergencia en la investigación de los fundamentos psicológicos de la causación. Por un lado, el empirista británico David Hume (1739/1987) enfatizaba el carácter asociativo de la percepción y el aprendizaje de las relaciones causales a través de ensayos sucesivos con la realidad; mientras que, por otro lado, Immanuel Kant (1781/1965) aludía a la existencia de información previa que servía de guía a la inducción causal. La primera corriente filosófica ha dado lugar a los estudios psicológicos basados en el aprendizaje asociativo y de los reflejos condicionados (Pavlov, 1927) donde el modelo de Rescorla y Wagner (1972) ha sido el paradigma predominante (Domjan y Burkhard, 1982), mientras que la filosofía kantiana ha favorecido el desarrollo de modelos causales al amparo del concepto de la *aproximación de la energía* donde el modelo de Cheng (1997) ha sido el más representativo (Perales, Catena y Maldonado, 2002a, 2002b).

El primer intento sistemático orientado a describir la fenomenología psicológica de la causación proviene de los estudios de Jean Piaget con niños (Piaget, 1928,1930). Aunque los trabajos de Piaget se pueden ubicar en el contexto del desarrollo psicológico; son, más bien, una teoría integrada de la inteligencia (Luque y Palacios, 1990) donde el razonamiento causal tiene un papel esencial. Con posterioridad a los trabajos de Piaget se prestó especial atención al aspecto perceptivo de las relaciones causales. Los trabajos de Michotte (1946/1963) basados en el *efecto de lanzamiento* producido por el choque de objetos fueron el paradigma básico experimental de este periodo del estudio de la causación.

Durante los años setenta el estudio de la causación se centró en juicios bajo incertidumbre donde se puso de manifiesto que las personas cometemos errores sistemáticos en la estimación de probabilidades (Kahneman, 2003; Kahneman, Slovic y Tversky, 1982; Kahneman y Tversky, 1973; Tversky y Kahneman, 1974, 1982). Sin embargo, la perspectiva de los heurísticos y los sesgos en el razonamiento probabilístico fue desafiada dos décadas después, aludiendo a aspectos metodológicos relativos al tipo de información que utilizamos las personas para realizar razonamientos probabilísticos y que podrían estar contaminando la validez de los resultados obtenidos bajo esta perspectiva (Gigerenzer, 1996; Gigerenzer y Hoffrage; 1995; Seldmeier y Gigerenzer, 2001). En concreto, se encontró que cuando la información de los pro-

blemas de razonamiento probabilístico bajo incertidumbre era presentada en un formato de frecuencias naturales (en contraposición a los formatos probabilísticos o porcentuales), se reducían los sesgos y las respuestas de las personas se acercaban más a lo que cabría esperar en base a la teoría estadística.

El avance más reciente en el contexto del estudio de la causación se ha producido con la introducción de las redes bayesianas como modelo formal de referencia en el aprendizaje y razonamiento causal (Glymour, 2001, 2003). La idea que subyace a la propuesta proviene de los postulados de Heider al considerar que las personas somos como *científicos ingenuos* que llevamos a cabo procesos de generación, contraste y modificación de hipótesis sobre la realidad de modo parecido a como la hace el método científico (Morales, 1994). El formalismo de las redes bayesianas sería como una estructura de procesos latente donde se implementa todo el proceso. Esta perspectiva teórica ha dado lugar al desarrollo de una teoría del aprendizaje causal en niños pequeños (Gopnik et al.; 2004; Gopnik y Schulz, 2004). El paradigma experimental que apoya este nuevo modelo del aprendizaje causal en niños proviene de la tarea de detección de *blickets*. En un estudio desarrollado por Gopnik, Sobel, Schulz y Glymour (2001, experimento 1 y 2), utilizando esta metodología, se encontró que niños de cuatro años de edad realizaban juicios causales consistentes con el formalismo de las redes bayesianas. También se ha encontrado que los niños en torno a los cuatro o cinco años son capaces de modificar una situación experimental para dar lugar a un efecto que previamente nunca habían observado (Gopnik et al., 2001, experimento 3; Sobel, Tenenbaum y Gopnik, 2004, experimento 3). Resultados similares han sido encontrados en estudios con animales (Blaisdell, Sawa, Leising y Waldmann, 2006; Clayton y Dickinson, 2006) aunque, no obstante, son necesarios más trabajos que depuren la relación entre las dimensiones observacionales e interventivas del aprendizaje causal (Lagnado y Slogon, 2004; Waldmann y Hagmayer, 2005).

En un trabajo reciente Krynski y Tenenbaum (2007) concluyeron que el formalismo de las redes bayesianas como modelo teórico del razonamiento bajo incertidumbre, podía explicar mejor el comportamiento de las personas ante juicios causales frente a las perspectivas frecuentista y de los sesgos.

En este estudio hemos evaluado los juicios causales emitidos por un grupo de estudiantes universitarios sobre un problema que define una estructura de red bayesiana convergente, donde un efecto (padecer cáncer de pulmón) depende probabilísticamente de dos causas independientes (fumar y tener un gen concreto) asumiendo las hipótesis del modelo de Krynski y Tenenbaum (2007). En primer lugar, hemos presentado la tarea en dos formatos de razonamiento: en unos casos las personas tenían que estimar el grado en que una persona padecería

cáncer de pulmón teniendo en cuenta que es fumadora (razonamiento de la causa al efecto) y en otros casos tenían que estimar la verosimilitud de que una persona que tiene cáncer sea fumadora (razonamiento del efecto a la causa). Bajo la perspectiva de los heurísticos y los sesgos se ha encontrado que los razonamientos de la causa al efecto son los que se realizan más eficientemente (Tversky y Kahneman, 1982); sin embargo, el modelo propuesto por Krynski y Tenenbaum (2007) no hace las mismas predicciones, ya que se espera que las personas razonen eficientemente siempre y cuando tengan una clara representación estructural y paramétrica del problema. Por otro lado, hemos manipulado tanto el formato de presentación de los datos del problema (en términos porcentuales y en frecuencias naturales). Según la perspectiva frecuentista (Gigerenzer, 1996; Gigerenzer y Hoffrage; 1995; Seldmeier y Gigerenzer, 2001), el formato de presentación con frecuencias basado en el muestreo natural daría lugar a inferencias más acertadas. No obstante, el modelo de razonamiento bajo incertidumbre basado en las redes bayesianas no hace tal diferenciación. Por último, se han manipulado los parámetros base de la variable causal que no es objeto del razonamiento (contener un gen concreto). Si las personas razonamos según han propuesto Krynski y Tenenbaum (2007), se observará una diferenciación en las respuestas en función de la manipulación de la proporción base de la variable causal.

Método

Participantes

La muestra estuvo compuesta por 202 alumnos de la Universidad de Almería con edades comprendidas entre los 18 y los 33 años ($M = 21,8$, $DT = 3,4$). El 63,9% (129) de los participantes fueron mujeres mientras que el 36,1% (73) fueron hombres. El 59,9% (121) de los participantes manifestaron no ser fumadores mientras que el 39,1% (79) manifestó fumar habitualmente. Las personas fumadoras indicaron haber estado haciéndolo durante un promedio de 6,2 años ($DT = 3,8$) en el rango comprendido entre uno y 20 años. Ningún participante manifestó haber estado familiarizado en su actividad cotidiana con el teorema de Bayes.

Materiales

Para recoger las respuestas de los participantes se diseñaron cuatro tipos de fichas en papel blanco estándar de 80g/m^2 con unas dimensiones de 11×14 centímetros. Por una de las caras se informaba de que estábamos llevando a cabo una investigación cuyo objetivo era conocer cómo razonaban las personas y se recogían los datos sociodemográficos. En la otra cara de la ficha se presentaba el problema sobre el que tenían que emitir su juicio de verosimilitud.

La cara del problema estuvo dividida en dos partes: en una primera parte se presentó el enunciado del problema, mientras que en la segunda parte se plantearon las preguntas sobre el problema. El problema presentado se basó en una estructura de red bayesiana convergente con todas las variables dicotómicas (Sí – No) donde el padecer cáncer de pulmón (C) dependía de la presencia de un gen ficticio (G) y de fumar (F); esto es, la estructura de la red fue $G \rightarrow C \leftarrow F$. Este tipo de estructura de red bayesiana tiene un comportamiento característico de propagación de probabilidades dependiendo de las evidencias que tenemos sobre el modelo (para una revisión del principio de independencia condicional y su implicación en la propagación de probabilidades en redes bayesianas puede consultar López, García y De La Fuente, 2005; López, García y De La Fuente, 2006; López, García, De la Fuente y De la Fuente, 2007). El modelo tiene 12 parámetros pero a los participantes sólo se les presentaron seis, ya que los complementarios se podían obtener a partir de los datos facilitados. Los parámetros facilitados fueron los siguientes: $p(F = \text{Sí}) = 0,40$, $p(C = \text{Sí} \mid F = \text{Sí}, G = \text{Sí}) = 0,90$, $p(C = \text{Sí} \mid F = \text{Sí}, G = \text{No}) = 0,60$, $p(C = \text{Sí} \mid F = \text{No}, G = \text{Sí}) = 0,70$ y $p(C = \text{Sí} \mid F = \text{No}, G = \text{No}) = 0,05$. El parámetro $p(G = \text{Sí})$ tomó dos valores, en unos casos fue 0,15 (parámetro base bajo) y en otros 0,85 (parámetro base alto). Estas probabilidades se presentaron en dos formatos: en forma de porcentajes, donde, por ejemplo, el parámetro $p(C = \text{Sí} \mid F = \text{Sí}, G = \text{Sí}) = 0,90$ se expresó como *El 90% de las personas que fuman y tienen el gen T desarrolla cáncer*, mientras que en el formato de presentación de frecuencias naturales el mismo parámetro se presentó como *90 personas de cada 100 que fuman y tienen el gen T desarrolla cáncer*. Hubo cuatro tipos de fichas que diferían únicamente en el conjunto de datos presentados en términos de porcentajes con parámetro base alto, datos en porcentajes con parámetro base bajo, en forma de frecuencias con parámetro base alto y datos en frecuencias con parámetro base bajo. El enunciado del problema fue el mismo en todos los casos: *En un estudio reciente se concluyó que hay dos causas que pueden producir cáncer de pulmón de manera independiente: el hábito de fumar y un gen conocido como gen T. Los siguientes datos fueron extraídos del estudio*. Tras el enunciado aparecieron las descripciones de los parámetros en el formato correspondiente presentados en forma de lista precedidos por guión.

A continuación se presentó la pregunta que evaluaba el razonamiento en el sentido de la causa al efecto, que en el caso del formato de porcentajes estuvo expresada como: *Si tomásemos a una persona fumadora al azar, ¿con qué porcentaje de seguridad crees que tendría cáncer?*; mientras que en el formato de presentación de frecuencias naturales la pregunta se planteó del siguiente modo: *Si tomásemos un grupo de 100 personas fumadoras al azar, ¿cuántas crees que tendrían cáncer?* La pregunta orientada a evaluar el razonamiento en el sentido del efecto a

la causa apareció en último lugar y estuvo expresada del siguiente modo en términos de porcentajes: *Si tomásemos a una persona con cáncer al azar, ¿con qué porcentaje de seguridad crees que sería fumadora?*; mientras que en el caso de las frecuencias se expresó como: *Si tomásemos un grupo de 100 personas con cáncer al azar, ¿cuántas crees que serían fumadoras?* En ambos casos, los participantes emitieron sus respuestas sobre una escala milimetrada de cien milímetros con divisiones principales cada diez milímetros, donde se escribió el valor que correspondía en cada caso (0, 10, 20, etc.) y con divisiones secundarias a cada milímetro.

Procedimiento

Las fichas fueron aplicadas individualmente a alumnos que se encontraban en el campus de la Universidad de Almería. Los cuatro tipos de ficha se administraron aleatoriamente a los participantes a medida que fueron tomando parte en el estudio. De los 202 participantes, 54 respondieron a la ficha con parámetro base bajo en formato de frecuencias, 54 respondieron a la ficha con parámetro base alto en formato de frecuencias, 45 a la ficha con parámetro base bajo en formato de porcentajes y 49 a la ficha en formato de porcentajes con el parámetro base alto.

Lo primero que se hizo fue comentar a los participantes la intención del estudio y preguntarles si estaban familiarizados con el cálculo de probabilidades o el Teorema de Bayes. Se les dijo que no tenían que preocuparse por dar una respuesta matemáticamente correcta, más bien, se les instó a que respondiesen típicamente como lo harían al pensar respecto a los datos que se les planteaban. A continuación se les pidió que leyesen la cara de la ficha donde aparecía la presentación del estudio y se les pidió que rellenasen los datos sociodemográficos. Una vez cumplimentados los datos sociodemográficos los participantes pasaron a la cara de la ficha donde estaba el problema y las preguntas correspondientes. La persona que administró las fichas permaneció con los participantes para resolver las dudas que pudieran plantearse.

Todos los participantes tomaron parte en el estudio voluntariamente y no se les recompensó ni con dinero ni con ningún tipo de crédito, sólo se agradeció verbalmente su participación en el estudio.

Análisis y diseño

Las respuestas de los participantes sobre las escalas milimetradas se operacionalizaron para que tuviesen el sentido de sesgo diferencial en función del valor correcto en cada pregunta. En concreto, a la respuesta de cada participante se sustrajo el valor de la respuesta que daría una red bayesiana teniendo en cuenta los parámetros concretos del modelo evaluado. De esta manera obtuvimos una variable que representaba el porcentaje de sesgo que cometían los participantes al evaluar un por-

centaje o una frecuencia en relación a los valores normativos según el formalismo de las redes bayesianas. Valores de cero o cercanos a cero en esta variable indicarían una ejecución cercana a lo que cabría esperar en términos estadísticos. Por su parte, los valores positivos indicaban una sobrestimación del porcentaje o la frecuencia en una determinada pregunta, mientras que los valores negativos indicaban una subestimación del valor del parámetro buscado. A este nivel, hemos introducido una variación al estudio desarrollado por Krynski y Tenenbaum (2007) ya que ellos trataron las respuestas en términos de aciertos o errores y compararon las proporciones de respuestas correctas. En cualquier caso, los análisis preliminares realizados sobre nuestros datos utilizando el método de Krynski y Tenenbaum (2007) son similares a los que presentamos en la sección de resultados.

Las variables obtenidas en términos de sesgo diferencial se utilizaron como variables dependientes (sesgo de la causa-al-efecto y sesgo del efecto-a-la-causa) en dos análisis de varianza factorial $2 \times 2 \times 2$, tomando como variables independientes el formato de presentación (porcentajes/frecuencias), el parámetro base (bajo/alto) y el hábito en el consumo de tabaco (sí/no). Para analizar la presencia de sesgo estadísticamente significativo se usaron pruebas *t* de Student para una muestra tomando el cero como valor de contraste.

Resultados

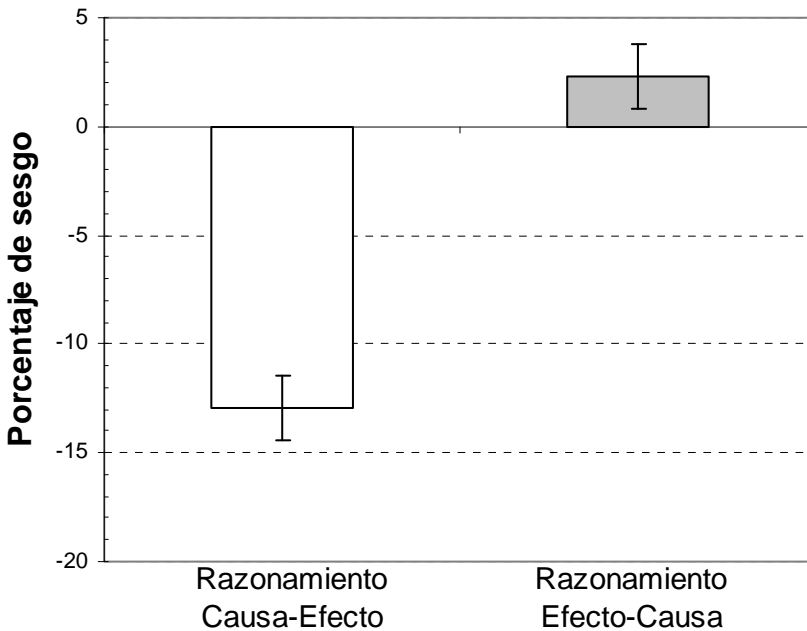
El ANOVA factorial no encontró efectos de interacción significativos de segundo orden en ninguno de los dos casos, ni cuando se razonó en el sentido de la causa al efecto ($F(1, 199) = 0,003$, $p = 0,93$) ni cuando se realizó el razonamiento del efecto a la causa ($F(1, 199) = 0,027$, $p = 0,87$). Tampoco hubo efectos de interacción significativa de primer orden (Tabla 1).

Tabla 1
Tabla del ANOVA para el modelo y las interacciones de primer orden

Fuente de Variación	Sentido del Razonamiento				Sesgo del efecto a la causa			
	gl	MC	F	p	gl	MC	F	p
Modelo	7	2953,34	9,54	<0,01	7	5246,29	15,64	<0,01
Intersección	1	30814,99	99,51	<0,01	1	921,80	2,75	0,10
Fumar × Formato	1	1045,55	3,38	0,07	1	735,38	2,192	0,14
Fumar × Parámetro	1	159,31	,514	0,47	1	21,87	0,07	0,80
Formato × Parámetro	1	863,64	2,79	0,10	1	241,16	0,72	0,40

Como se puede observar en la Figura 1, los participantes cometen más sesgo cuando se les pide que razonen en el sentido de la causa al efecto que cuando se les pide que lo hagan del efecto a la causa ($t(400) = -7,17, p < 0,001, d = 0,72$). En concreto, se produce una diferencia de sesgo en el razonamiento de un 15,25 ($IC_{95\%} = 11,07; 19,43$). Por su parte, mientras que se produce una subestimación estadísticamente significativa del parámetro cuando se pide un razonamiento de la causa al efecto ($t(200) = -9,15, p < 0,001, d = 1,29$), no se observa una diferencia estadísticamente significativa respecto al valor normativo cuando se pide que se razone del efecto a la causa ($t(200) = 1,46, p = 0,15$).

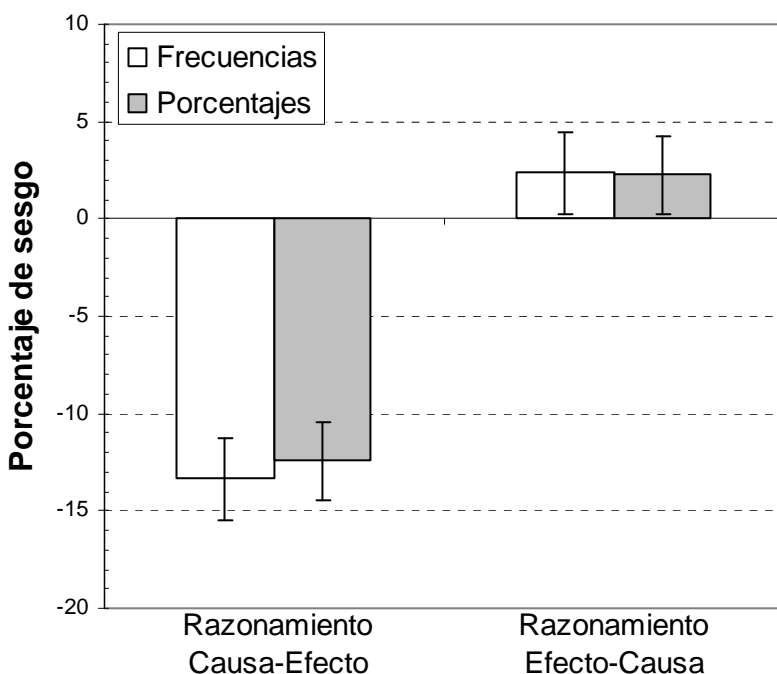
Figura 1
Porcentaje medio de sesgo (\pm ET) en función del sentido del razonamiento



El patrón de respuestas observado cuando se tienen en cuenta los formatos de presentación es similar al descrito anteriormente (Figura 2). Aunque no hay diferencias estadísticamente significativas en los niveles de sesgo cuando se razona de la causa al efecto ($F(1, 199)=0,50, p=0,48$) y del efecto a la causa ($F(1, 199)=0,03, p=0,88$), cuando se realiza el razonamiento en sentido de la causa al efecto se produce una subestimación significativa del parámetro independientemente de si el

problema se presentó en formato de frecuencias naturales ($t(107)=-6,47$, $p < 0,001$, $d=1,25$) o con porcentajes ($t(92)=-6,57$, $p < 0,001$, $d=1,37$), mientras que cuando se pide a los participantes que razonen en sentido inverso no se produce tal sesgo en ninguno de los dos casos ($t(107) = 1,13$, $p = 0,26$ y $t(92) = 0,93$, $p = 0,37$ respectivamente).

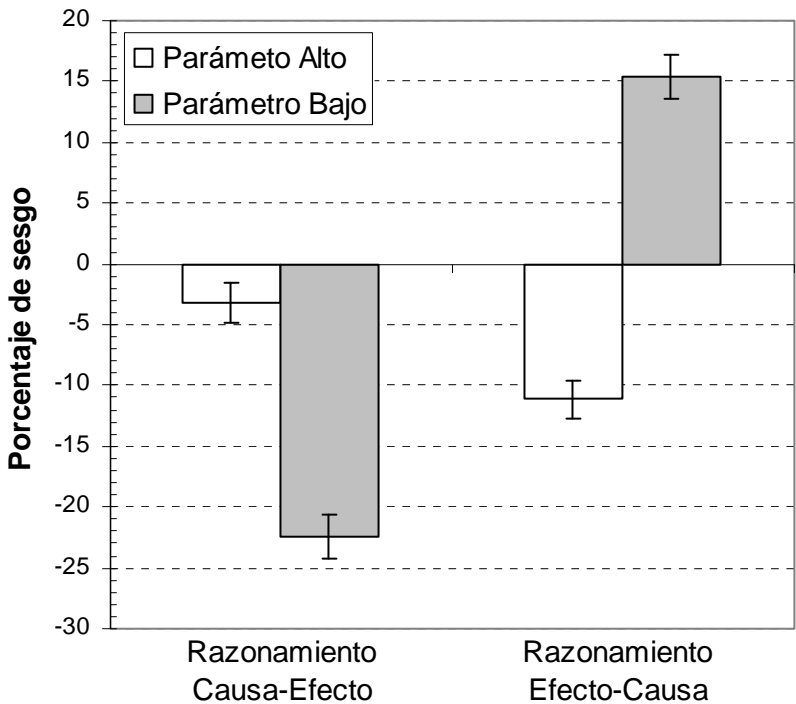
Figura 2
Porcentaje medio (\pm ET) de sesgo en función del sentido del razonamiento y del formato de presentación.



En lo que respecta a la manipulación de los parámetros base de la variable del gen ficticio, se observa una asimetría en función del sentido del razonamiento (Figura 3). Mientras que en el razonamiento de la causa al efecto se aprecia una subestimación del valor del parámetro independientemente del tipo de parámetro ($F(1, 199)=55,56$, $p < 0,001$, $\eta^2=0,48$), en el razonamiento del efecto a la causa se observa una subestimación del parámetro cuando el parámetro base es alto y una sobrestimación cuando es bajo ($F(1,199) = 100,46$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,59$). No obstante, la subestimación que se produce cuando el razonamiento es desde la causa al efecto y el parámetro base alto no es estadística-

mente diferente de cero ($t(98) = -1,74, p = 0,09$) frente a la subestimación que se produce cuando el sentido del razonamiento es desde el efecto a la causa ($t(98) = -5,63, p < 0,001, d = 1,14$). Por su parte, cuando el parámetro es bajo tanto la subestimación que se produce cuando en el razonamiento desde la causal al efecto ($t(101) = -13,25, p < 0,001, d = 2,69$) como la sobrestimación que se observa al razonar del efecto a la causa ($t(101) = 9,33, p < 0,001, d = 1,86$) son estadísticamente significativas.

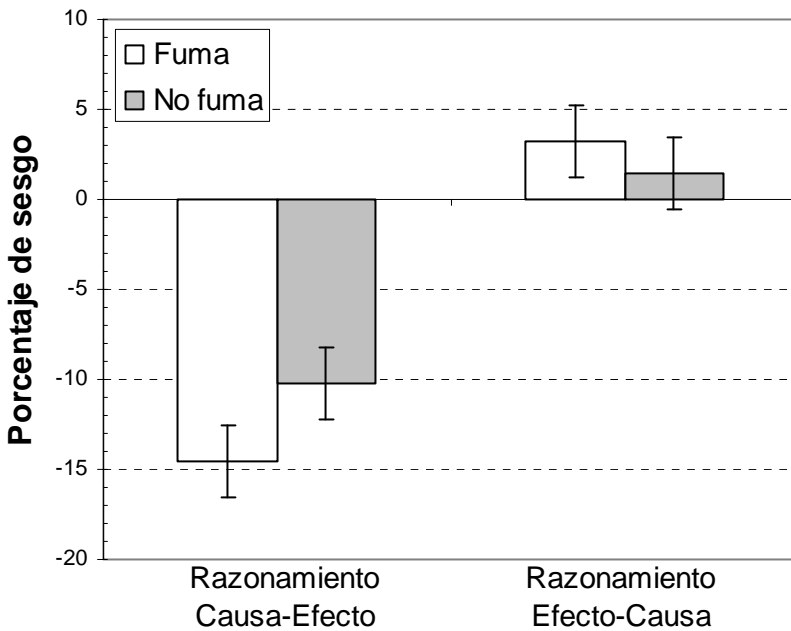
Figura 3
Porcentaje medio de sesgo (\pm ET) en función del sentido del razonamiento y del tipo de parámetro base del problema.



Para terminar, como se puede apreciar en la Figura 4, las personas fumadoras y no fumadoras responden diferencialmente en la tarea de estimación cuando el sentido del razonamiento es desde la causa al efecto así como cuando se realiza en sentido inverso, aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa en ninguno de los dos casos ($F(1, 199) = 0,97, p = 0,33$ y $F(1, 199) = 2,38, p = 0,13$ respectivamente). No obstante, la subestimación que se produce tanto en personas fuma-

doras como no fumadores cuando razonan en el sentido de la causa al efecto es estadísticamente significativa ($t(78) = -4,57, p < 0,001, d = 1,03$ y $t(119) = -7,95, p < 0,001, d = 1,46$ respectivamente), mientras que la sobrestimación que se produce en el modo de razonamiento del efecto a la causa no es estadísticamente diferente de cero ($t(79) = 1,42, p = 0,16$ y $t(119) = 0,66, p = 0,51$).

Figura 4
Porcentaje medio de sesgo (\pm ET) en función del sentido del razonamiento y de si se fuma o no.



Discusión

El estudio aquí presentado es consistente con la idea de considerar que las personas razonan análogamente a como establece el formalismo normativo de las redes bayesianas (Glymour, 2001, 2003; Gopnik et al., 2001; Gopnik et al.; 2004; Gopnik y Schulz, 2004; Sobel et al., 2004). El primer hallazgo que hemos encontrado respecto al modelo clásico de los heurísticos y los sesgos es que las personas razonan más eficientemente cuando lo hacen en el sentido del efecto a la causa y no de la causa al efecto como se había observado anteriormente (Tversky y Kahneman, 1982). No obstante, esta asimetría observada en el razonamiento causal bajo incertidumbre asociada al sentido del razonamiento

puede ser fruto del tipo de tarea que hemos presentado y de la naturaleza de la muestra utilizada. En segundo lugar, hemos encontrado, igual que Krynski y Tenenbaum (2007), que nuestros participantes son sensibles a la manipulación de los parámetros base en la tarea que les hemos presentado. Esto indica que, pese a que las respuestas no son correctas en términos absolutos, las personas no ignoramos del todo las proporciones base como se había venido observando en los juicios de incertidumbre (Kahneman, 2003; Kahneman y Tversky, 1973, 1996; Tversky y Kahneman, 1974, 1982). Diseños futuros más finos y controlados tendrán que determinar el espectro de certeza o error en que oscilan las estimaciones probabilísticas en tareas similares.

Por otro lado, hemos observado que el formato de presentación (porcentajes/frecuencias) no tiene mucho efecto en la mejora del razonamiento causal bajo incertidumbre. Esto puede ser debido a que el formato de presentación ha sido de *menú completo* (incluyendo todos los parámetros del modelo), mientras que si hubiésemos utilizado la presentación de *menú corto* (incluyendo sólo los parámetros apropiados para realizar el cálculo que se exige) es probable que la ejecución en la condición de frecuencias naturales habría mostrado su superioridad (Gigerenzer y Hoffrage; 1995). En cualquier caso, a la espera de posteriores investigaciones que diluciden la relación entre el formato en los problemas de razonamiento causal bajo incertidumbre y el menú de presentación de las frecuencias naturales, creemos que la perspectiva del muestreo natural en el razonamiento bayesiano puede optimizarse tomando como base el formalismo de las redes bayesianas. Más concretamente, creemos que el campo del aprendizaje asociativo, en el área del aprendizaje e inferencia de segundo orden (Jara, Maldonado, y Vila, 2007), sería el que más se beneficiaría de esta filosofía (López et al., 2007).

En cualquier caso, aunque la teoría normativa de las redes bayesianas puede ser utilizada para entender los procesos de razonamiento causal humano en situaciones inciertas, sería necesario, al igual que en el contexto del aprendizaje asociativo, un conjunto de investigaciones que se dedicasen a aclarar los procesos concretos que subyacen a este fenómeno. Por ejemplo, Borsboom (2002) se plantea que si las personas somos tan hábiles para detectar las relaciones probabilísticas que se establecen en nuestro entorno natural, así como de razonar sobre ellas de un modo estadísticamente eficiente, ¿cómo es posible que el aprendizaje formal de conceptos estadísticos como los de probabilidad condicionada o el teorema de Bayes sean tan difíciles desde un punto de vista instructivo?

Para terminar, hay que destacar que aunque no hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas en las estimaciones causales entre las personas fumadoras y no fumadoras, en estudios piloto previos estas diferencias (siempre en el mismo sentido) sí que han sido estadís-

ticamente significativas. En concreto, se ha observado que las personas fumadoras tienden a subestimar significativamente, más que las no fumadoras, la relación que se establece entre el fumar y el padecer cáncer cuando el razonamiento se realiza en el sentido de la causa al efecto. Aunque son necesarios estudios posteriores y dado que no podemos extraer estas conclusiones de los datos que aquí presentamos, una hipótesis tentativa para explicar estos resultados sería que este fenómeno podría ser provocado por un mayor grado de sesgo optimista en las personas fumadoras en relación al riesgo de padecer cáncer cuando se fuma (Sharot, Riccardi, Raio y Phelps, 2007; Weinstein, 1980) o a errores en la interpretación de situaciones hipotéticas (Chiu, Lohrenz y Montague, 2008), lo cual podría explicar parte su hábito tabáquico. Otra explicación complementaria podría ser la farmacológica. Dado que la nicotina del tabaco tiene efectos sobre el sistema nervioso central relacionados con los mecanismos atencionales (p. e. Redolat, Carrasco y Simón, 1994) y que estudios recientes han concluido que estos mecanismos pueden también mediar la percepción de la incertidumbre (Cohen y Aston-Jones, 2005; Yu y Dayan, 2003, 2005a, 2005b); es posible que algún tipo de regulación en los receptores adrenérgicos esté interactuando con los procesos de razonamiento bajo incertidumbre.

Nota

Los autores deseamos agradecer el apoyo técnico y las sugerencias aportadas por Remedios López (Universidad de Almería), Carmen Romero (Universidad de Almería) y Mirko Trivisani (Università Degli Studi Di Padova Il Bo) durante la elaboración de este trabajo.

Referencias

- Blaisdell, A.P.-Sawa, K.-Leising, K.J.-Waldmann, M.R. (2006, Febrero 17): Causal reasoning in rats. *Science*, 311, 1020–1022.
- Borsboom, D. (2002): [Revisión del libro *The mind's arrows. Bayes nets and graphical causal models in psychology*]. *Acta Psychologica*, 111, 355–357.
- Cheng, P.W. (1997): From covariation to causation: a causal power theory. *Psychological Review*, 104, 367–450.
- Chiu, P.H.-Lohrenz, T.M.-Montague, P.R. (2008): Smoker's brains compute, but ignore, fictive error signal in a sequential investment task. *Nature Neuroscience*, 11, 514–520.
- Clayton, N.-Dickinson, A. (2006): Rational rats. *Nature Neuroscience*, 9, 472–474.
- Cohen, J.D.-Aston-Jones, G. (2005, Julio 28): Decision amid uncertainty. *Nature*, 436, 471–472.
- Cook, T.D.-Shadish, W.R. (1994): Social experiments: some developments over the past fifteen years. *Annual Review of Psychology*, 45, 545–580.
- Domjan, M.-Burkhard, B. (1982): *The principles of learning and behavior*. Belmont, CA: Brooks-Cole.

- Gigerenzer, G. (1996): On narrow norms and vague heuristic: a reply to Kahneman and Tversky. *Psychological Review*, 103, 592–596.
- Gigerenzer, G.-Hoffrage, U. (1995): How to improve bayesian reasoning without instruction: frequency formats. *Psychological Review*, 102, 684–704.
- Glymour, C. (2001): *The mind's arrows. Bayes nets and graphical causal models in psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Glymour, C. (2003): Learning, prediction and causal bayes nets. *Trends in Cognitives Sciences*, 7, 43–48.
- Gopnik, A.-Glymour, C.-Sobel, D.M.-Schulz, L.E.-Kushnir, T.-Danks, D. (2004): A theory of causal learning in children: causal and bayes nets. *Psychological Review*, 111, 3–32.
- Gopnik, A.-Sobel, D.M.-Schulz, L.-Glymour, C. (2001): Causal learning mechanisms in very young children: two, three, and four-years-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, 37, 620–629.
- Gopnik, A.-Schulz, L. (2004): Mechanisms of theory formation in young children. *Trends in Cognitives Sciences*, 8, 371–377.
- Hume, D. (1987): *A treatise of human nature* (2ª ed.). Oxford: Oxford University Press. (Trabajo original publicado en 1739)
- Jara, E.-Maldonado, A.-Vila, J. (2007): Procesos de inferencia y aprendizaje de relaciones causales en el condicionamiento de segundo orden. *Psicológica*, 28, 215–236.
- Kahneman, D. (2003): Experiences of collaborative research. *American Psychologist*, 58, 723–730.
- Kahneman, D.-Slovic, P.-Tversky, A. (1982): *Judgement under uncertainty: heuristic and biases*. New York: Cambridge University Press.
- Kahneman, D.-Tversky, A. (1973): On the psychology of prediction. *Psychological Review*, 80, 237–251.
- Kant, I. (1965): *Critique of pure reason*. Londres: Macmillan. (Trabajo original publicado en 1781)
- Krynski, T.R.-Tenenbaum, J.B. (2007): The role of causality in judgment under uncertainty. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136, 430–450.
- Lagnado, D.A.-Sloman, S. (2004): The advantage of timely intervention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 856–876.
- López, J.-García, J.-De la Fuente, L.-De la Fuente, E.I. (2007): Las redes bayesianas como herramientas de modelado en psicología. *Anales de Psicología*, 23, 307–316.
- López, J.-García, J.-De la Fuente, E.I. (2005, Septiembre): *Las redes bayesianas en psicología*. Comunicación presentada en el IX Congreso de Metodología de las Ciencias Sociales y de la Salud. Granada.
- López, J.-García, J.-De la Fuente, L. (2006): *Modelado causal con redes bayesianas*. Actas de las XXVII Jornadas de Automática, 198–202.
- Luque, A.-Palacios, J. (1990): Inteligencia sensorimotora. En J. Palacios, A. Marchesi y C. Coll, *Desarrollo psicológico y educación*, 1 (pp. 69–84). Madrid: Alianza.
- Matute, H.-Miller, R.R. (1998): Detecting causal relation. En W. O'Donohue (Ed.), *Learning and behavior therapy* (pp. 483–497). Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Michotte, A.E. (1963): *The perception of causality*. New York: Basic Books. (Trabajo original publicado en 1946)
- Morales, J.F. (1994): Procesos de atribución. En J. F. Morales (Ed.), *Psicología social* (pp. 239–252). Madrid: McGraw-Hill.
- Notterman, J.M. (2004): Persistent conceptual issues in psychology. A selective update. *Theory and Psychology*, 14, 239–260.

- Overmier, J.B.-LoLordo, V.M.(1998): Learned helplessness. En W. O'Donohue (Ed.), *Learning and behavior therapy* (pp. 352–373). Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Parascandola, M.-Wees, D.L.(2001): Causation in epidemiology. *Journal of Epidemiology Community Health, 55*, 905–912.
- Pavlov, I.P.(1927): *Conditioned reflexes*. Londres: Oxford University Press.
- Pearl, J.(2000): *Causality. Models, reasoning and inference*. New York: Cambridge University Press.
- Pearl, J.(2001): Causal inference in the health sciences: a conceptual introduction. *Health Services and Outcomes Research Methodology, 2*, 189–220.
- Pearl, J.(2002): Causal inference in the health sciences: a conceptual introduction. *Health Services and Outcomes Research Methodology, 2*, 189–220.
- Perales, J.C.-Catena, A.-Maldonado, A.(2002a): Aprendizaje de relaciones de contingencia y causalidad: hacia un análisis integral del aprendizaje causal desde una perspectiva computacional. *Cognitiva, 14*, 15–41.
- Perales, J.C.-Catena, A.-Maldonado, A.(2002b): Tesis, antítesis y síntesis del aprendizaje causal (o defensa de un modelo integrador). *Cognitiva, 14*, 75–93.
- Piaget, J.(1928): *Judgement and reasoning in the child*. Londres: Routledge y Kegan Paul.
- Piaget, J.(1930): *The child's conception of physical causality*. New York: Harcourt Brace.
- Redolat, R.-Carrasco, M.C.-Simón, V.M.(1995): Efectos cognitivos de la nicotina y el tabaco en sujetos humanos. *Psicothema, 6*, 5–20.
- Rescorla, R.A.-Wagner, A.R.(1972): A theory of Pavlovian conditioning: variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. En A. H. Black y W. F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II: Current research and theory* (pp. 64–99). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Seldmeier, P.-Gigerenzer, G.(2001): Teaching bayesian reasoning in less than two hours. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 380–400.
- Sharot, T.-Riccardi, A.M.-Raio, C.M.-Phepels, E.A.(2007, Noviembre 1): Neural mechanisms mediating optimism bias. *Nature, 450*, 102–106.
- Sobel, D.M.-Tenenbaum, J.B.-Gopnik, A.(2004): Children's causal inferences from indirect evidence: backwards blocking and bayesian reasoning in preschoolers. *Cognitive Science, 28*, 303–333.
- Spirites, P.-Glymour, C.-Scheines, R.(2000): *Causation, prediction and search* (2ª ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Spirites, P.-Scheines, R.-Glymour, C.-Richardson, T.-Meek, C.(2004): Causal inference. En D. Kaplan (Ed.), *The SAGE handbook of quantitative methodology for the social sciences* (pp. 447–477). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Tversky, A.-Kahneman, D.(1974, Septiembre 27): Judgement under uncertainty: heuristic and biases. *Science, 185*, 380–400.
- Tversky, A.-Kahneman, D.(1982): Causal schemas in judgements under uncertainty. En D. Kahneman, P. Slovic, y A. Tversky (Eds.), *Judgement under uncertainty: heuristic and biases* (pp. 117–128): New York: Cambridge University Press.
- Waldmann, M.R.-Hagmayer, Y.(2005): Seeing versus doing: two modes of accessing causal knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 31*, 216–227.
- Weinstein, N.D.(1980): Unrealistic optimism about future life events. *Journal of Personality and Social Psychology, 39*, 806–820.
- Yela, M.(1996): La percepción de la causalidad a distancia. *Psicothema, 8 (Supl.)*, 53–71.

- Yu,A.-Dayan,P.(2003): Expected and unexpected uncertainty: ACh and NE in the neocortex. *Advances in Neural Information Processing Systems, 15*, 157–164.
- Yu,A.-Dayan,P.(2005a): Inference, attention, and decision in a bayesian neural architecture. *Advances in Neural Information Processing Systems, 17*, 1577–1584.
- Yu,A.-Dayan,P.(2005b): Uncertainty, neuromodulation, and attention. *Neuron, 46*, 681–692.