

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XXII JORNADAS

VOLUMEN 18 (2012)

Luis Salvatico  
Maximiliano Bozzoli  
Luciana Pesenti  
Editores



ÁREA LÓGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



## Consideraciones epistemológicas sobre la retrocausación

Rolando Núñez Pradenas \*

Desde sus orígenes, la mecánica cuántica ha hecho entrar en conflicto a buena parte de la comunidad científica acerca de su interpretación. Uno de los primeros problemas relacionados a los que se enfrentó la comunidad científica fue a las aparentes paradojas que surgían si la teoría era interpretada literalmente, es decir, si se considera que bajo el formalismo de la mecánica cuántica hay un sustento real y no que es una simple herramienta para la predicción. Desde un punto de vista realista es de esperar que las teorías exitosas también nos otorguen algún grado de comprensión acerca de la realidad física que estaría tras los resultados obtenidos.

Esto es complejo en el caso de la mecánica cuántica, pues es ahí donde van a surgir diferencias conceptuales (el caso más usado en la enseñanza de la mecánica cuántica es el de la expresión matemática para referirse a un electrón, la función de onda, que los representa como ondas, no como partículas). De hecho, Albert Einstein junto con Boris Podolsky y Nathan Rosen demostraron que la mecánica cuántica, interpretada de manera realista, nos conduce a situaciones que pueden en principio, ser consideradas como “perturbadoras”<sup>1</sup>. Esto es planteado en la conocida paradoja Einstein-Podolsky-Rosen (EPR)<sup>2</sup>, en donde a través de un experimento mental se critica a la mecánica cuántica por presentar este tipo de situaciones. Una de éstas radica en que la mecánica cuántica permite la *no-localidad*. Entendemos por localidad<sup>3</sup> el que dos partes de un sistema descrito pueden llegar a interactuar sólo mientras estén a una distancia que mantenga la posibilidad de contacto limitada por la velocidad de la luz. En otras palabras, consideramos localidad como el principio que establece que dos objetos que se encuentran lo suficientemente alejados el uno del otro no pueden interactuar. Dado a que una interpretación realista de la mecánica cuántica involucra la *no-localidad*, Einstein, Podolsky y Rosen consideran que la mecánica cuántica es una teoría incompleta, y deben existir variables locales ocultas para que de ese modo se pueda evitar la *no-localidad*.

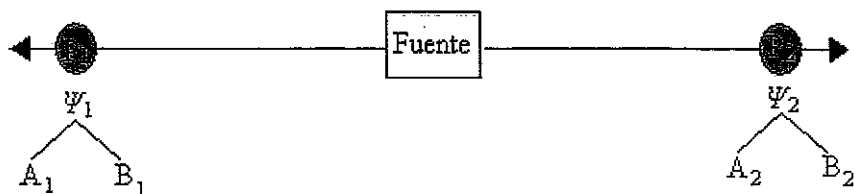
### El teorema de Bell

El físico John Bell formuló un teorema que tomaba en consideración tanto el realismo como la *localidad*, y probó a través del teorema que lleva su nombre que la *no-localidad* de un sistema cuántico es demostrable.

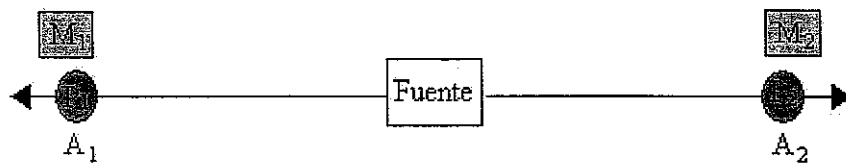
En consecuencia, la evidencia experimental ha respaldado el trabajo de Bell. Básicamente, el fenómeno, que originalmente es planteado en el experimento mental de la paradoja EPR, es el siguiente: Consideremos un par de partículas,  $P_1$  y  $P_2$  las que se crean a partir de un estado-origen  $F$ . Estas partículas se encuentran en un estado cuántico  $\Psi_1$  y  $\Psi_2$  respectivamente, los que al ser medidos, pueden “colapsar” en los estados  $A$  o  $B$ , cada una de ellas (en particular podrían dar como resultado de una medición los estados  $A_1$  o  $B_1$  y  $A_2$  o  $B_2$ , respectivamente), estados que son incompatibles el uno con el otro para cada una de ellas. Las mediciones pueden ser consideradas interacciones causales entre el experimentador y las partículas.

---

\* ANPCyT, nunez.rolando@gmail.com



A continuación, realizamos una medición,  $M_1$ , en la partícula  $P_1$ , lo que da como resultado que ésta colapse a  $A_1$ . Bell demuestra que, dada la aplicación de las leyes de la mecánica cuántica, la medición  $M_1$  modificará de manera simultánea el resultado de la medición en  $P_2$ :  $A_2$ .



### El ejemplo análogo de Dowe

El filósofo australiano Phil Dowe propone la siguiente analogía para presentar el fenómeno de Bell. Supone la existencia de un par de hermanos gemelos que viven en una misma ciudad<sup>v</sup>. Uno de ellos decide mudarse a Ushuaia, una ciudad de clima muy frío de Argentina<sup>v</sup>, en donde cae enfermo afectado por una patología ocasionada por las bajas temperaturas y muere. Un grupo de investigadores comienza a notar cierta correlación entre el clima frío y la muerte de ciertos individuos, debido a que se observa muy a menudo que cuando un par de gemelos idénticos van a una ciudad de clima frío, ambos mueren, al punto que se podría hablar de una correlación uno-a-uno, en donde al someter a dos gemelos idénticos a un clima frío, uno muere si y sólo si el otro también muere. Dentro de la comunidad científica comienza a desarrollarse la hipótesis de que existiría una condición genética causante de la enfermedad, la que puede ser rastreada al momento anterior a que los gemelos se separaran en el vientre de su madre, por lo que si uno tiene esta condición, el otro también la tiene.

Teniendo en cuenta estos datos, se plantea el siguiente experimento. Se convocan a parejas de gemelos participar del experimento en una ciudad cuyo clima no es frío. Una vez iniciado el procedimiento, un par de gemelos es llevado al aeropuerto local y cada uno de los gemelos es subido a aviones diferentes que despegan simultáneamente. Uno de los aviones va siempre en dirección a Ushuaia, mientras que el otro avión va en dirección a Puerto Natales, una ciudad de clima muy frío de Chile, un poco más cercana que Ushuaia. Pero cuando este avión despegue, el piloto del avión debe lanzar una moneda, y según qué el

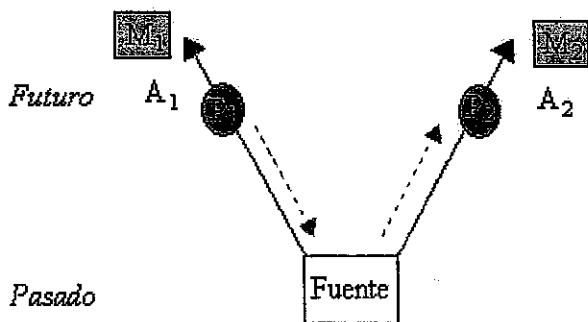
resultado sea cara o cruz, sigue su rumbo a Puerto Natales o vuelve al aeropuerto local. En ambos casos este avión aterriza antes que el que va a Ushuaia. En cuanto los aviones llegan a su destino, cualquiera de ellos sea, los individuos son aislado monitoreados. Los científicos simplemente toman nota de si los participantes mueren o no.

Tenemos entonces dos grupos, los pares Ushuaia - Puerto Natales y los pares Ushuaia - aeropuerto local. En el caso del primer grupo, los investigadores encuentran que el 62% de los gemelos que fueron llevados a Ushuaia murieron y el 62% de los gemelos que fueron llevados a Puerto Natales murieron. El 38% restante en ambos casos sobrevive sin mayores problemas. Este resultado muestra una correlación uno-a-uno entre quienes murieron en Ushuaia y quienes murieron en Puerto Natales, lo que para la comunidad de investigadores confirmaría la teoría del mecanismo genético como causa de esta enfermedad. Pero en el caso del grupo Ushuaia - aeropuerto local los resultados difieren de manera interesante. El 45% de los individuos que fueron llevados a Ushuaia murieron, mientras que ninguno de los que regresaron al aeropuerto local murió. Este último resultado es esperable, pero el descenso en la tasa de mortalidad en los individuos llevados a Ushuaia en comparación con los individuos del grupo anterior es enigmático, porque si la teoría genética es correcta, el hecho de que un gemelo sea o no llevado a Puerto Natales no debería afectar en nada los resultados de la prueba en el otro gemelo, que efectivamente ha sido llevado a Ushuaia. Notaremos que estamos frente a otra versión del fenómeno de Bell, en donde parece ser que la realización del test (específicamente, el que sea llevado o no a un lugar frío) en uno de los gemelos, el que vuelve, va a influir de manera no-local en el resultado del test del otro gemelo, que fue a Ushuaia.

### Interpretando el fenómeno de Bell

En su trabajo, Dowe analiza tres posibles interpretaciones para poder explicar el fenómeno de Bell, las que corresponden a algunas de las interpretaciones de la mecánica cuántica. La primera interpretación que toma en consideración es la interpretación de Copenhague, formulada principalmente por los físicos Niels Bohr y Werner Heisenberg entre otros<sup>vi</sup>. Esta es la formulación que en principio parece tener más amplia aceptación entre los físicos. Según Dowe, en esta interpretación el foco está en la descripción matemática otorgada por el resultado de las mediciones. En otras palabras, para la escuela de Copenhague, la función de estado es una herramienta matemática que nos permite predecir los resultados de las mediciones, pero no es necesario intentar buscar una realidad física subyacente.

La tercera de las interpretaciones que Dowe presenta en su libro es la de la retrocausación-en-el-tiempo. Ésta es una postura que, al igual que la interpretación anterior, también intenta explicar la realidad subyacente bajo el formalismo, pero que, a diferencia de la segunda interpretación que él presenta, intenta postular un proceso físico definido para explicar la conexión entre la medición de una partícula y el resultado de la otra. De acuerdo a esta interpretación, la medición  $M_1$  en el presente va a causar cambios en la fuente de origen en el pasado, la que a su vez va a ser la causa del resultado  $A_2$ . En términos del ejemplo de los gemelos de Dowe, el que uno de los gemelos sea sometido a la prueba del frío en Puerto Natales causará en parte la condición genética en el vientre materno, lo que luego influirá en las mediciones sobre el otro gemelo llevado a Ushuaia.



A juicio de Dowe, el modelo de retrocausación-hacia-el-pasado es uno de los mejores modelos para explicar de manera realista las predicciones de la mecánica cuántica sobre la función de onda, ya que presenta un mecanismo físico bien definido sobre cuáles mediciones pueden afectar a otras. La medición en  $P_1$  (someter a uno de los gemelos al frío de Puerto Natales) genera influencia causal que se propaga hacia atrás en el tiempo hasta la fuente de origen de ambas partículas, en dónde es responsable en parte por algunas de las características ocultas en el estado de ambas partículas. Estas características a su vez son causalmente responsables del resultado de la medición  $M_2$  en  $P_2$  (someter al frío de Ushuaia al otro gemelo)

La idea básica en el modelo de retrocausación-en-el-tiempo la podemos encontrar en la llamada "Interpretación Transaccional" de la mecánica cuántica, defendida principalmente por el físico John G. Cramer. Según esta interpretación, los eventos cuánticos se entienden como interacciones causales entre ondas retrasadas viajando hacia adelante en el tiempo y ondas avanzadas viajando hacia atrás en el tiempo. En palabras de Cramer<sup>vii</sup>, un evento es una transacción entre estas ondas, en donde se genera un intercambio en un doble sentido entre futuro y pasado para los propósitos de transferir energía, *momentum*, etcétera.

Dowe destaca que esta interpretación se ajusta perfectamente con la idea de proceso causal que intenta defender, ya que se estaría generando una transmisión de cantidades conservadas entre pasado y futuro. La línea-mundo (*world-line*) de ambas partículas son procesos que interactúan en la fuente de origen. Las mediciones también son consideradas interacciones, generando una suerte de proceso causal en forma de "V". Lo que ocurriría es que la influencia causal tomaría una dirección contraria a la usual.

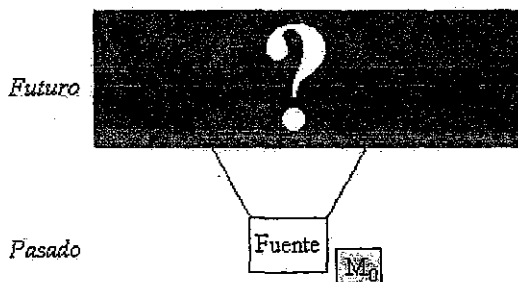
En *Physical Causation*, Dowe va a dejar de lado la discusión sobre si el modelo de la retrocausación-hacia-el-pasado es el modelo correcto para interpretar casos como el del fenómeno de Bell, aún cuando menciona las dificultades que este modelo presenta. Dowe va a considerar la hipótesis de la retrocausación a los efectos de desarrollar una teoría de la dirección de los procesos causales, dentro de la cuál esa hipótesis es una de las premisas de su argumento, el que concluye con su teoría acerca de la asimetría causal. En principio Dowe deja abierta la puerta a las críticas al modelo de la retrocausación, al punto que de hecho menciona que postular la existencia de influencia causal desde el futuro hacia el pasado

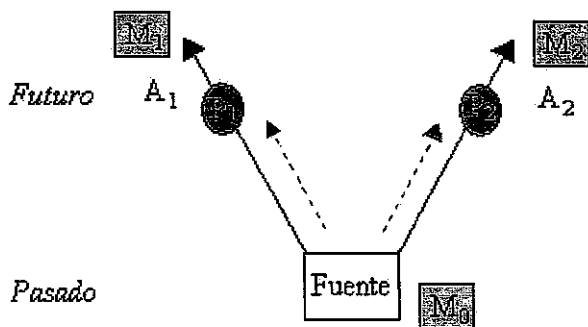
puede ser un problema, pero considera que tomando en cuenta las ventajas de esta interpretación, es un precio que puede llegar a pagar<sup>viii</sup>.

### Tentativas de evitar la retrocausación

A pesar de que en principio el modelo de la retrocausación le permite a Dowe salvar la idea de proceso causal en el fenómeno de Bell y por lo tanto la causalidad física, esta interpretación está expuesta a varias críticas. Sin embargo, hay que destacar que el modelo presenta algunas ventajas expuestas por el mismo Dowe<sup>ix</sup>, las que luego le permiten desarrollar su teoría de la asimetría causal. Nuestra intención no es atacar el posterior trabajo de Dowe basado en asumir el modelo de la retrocausación, sino más bien demostrar que el modelo de la retrocausación tiene algunos otros problemas importantes que la hacen poco atractiva.

Tal y cómo mencionamos anteriormente, el modelo de la retrocausación tiene respaldo en la interpretación transaccional de la mecánica cuántica, que postula la interacción entre ondas avanzadas y retrasadas, generando la interacción futuro-pasado. Esto es de suma importancia para Dowe, ya que una de las ventajas del modelo de retrocausación es poder dar explicación de la causación física a través de las ideas de proceso causal, interacción e intercambio de cantidades conservadas. Esto le permite cierta compatibilidad con la relatividad especial al evitar tener que postular *no-localidad*. Sin embargo, si, como dice Cramer, el formalismo describe ondas físicas reales,<sup>x</sup> entonces queda una pregunta muy importante: ¿qué tipo de cantidad física está asociada a estas ondas como para ser detectables? Comúnmente las ondas avanzadas, aquellas que viajarían hacia atrás en el tiempo son descartadas por ser no-físicas. El motivo de que estas ondas son consideradas como no físicas radica en que si fuesen físicas, podrían ser medidas en el pasado, pero esto no ocurre. Volvamos al fenómeno de Bell. Si las ondas retrasadas viajan hacia el futuro desde la fuente de origen hacia la medición  $M_1$  y las ondas avanzadas viajan hacia el pasado desde la medición  $M_1$  hasta la fuente de origen, podríamos medir en el pasado estas últimas ondas mediante una medición  $M_0$ , antes de que ocurra la medición  $M_1$ . En ese punto, y dado que en condiciones normales desconocemos el futuro, no tendríamos información sobre la medición  $M_1$  aún. Una vez que el experimento se hubiese realizado, ¿por qué motivo consideraríamos que  $M_1$  interactuó de algún modo para que se diera el resultado  $A_2$ ? Desde el punto de vista del investigador podríamos considerar que la causa del resultado  $A_2$  no es  $M_1$ , sino las ondas que detectamos en  $M_0$  en la fuente de origen antes de que ocurriera  $M_1$ . (ver figura)





En términos del ejemplo de los gemelos de Dowe, si el que sometieramos al gemelo 1 a la prueba de frío ( $M_1$ ) es causa de la condición genética generada en el vientre materno ( $M_0$ ) antes de la separación de los gemelos, la que luego afectaría lo que le ocurre a su hermano ( $A_2$ ), los investigadores deberían ser capaces de encontrar esa condición genética al momento del nacimiento de los gemelos (o en el vientre materno). Si esto fuese así, los investigadores considerarían que la causa de la enfermedad ( $A_1$  y  $A_2$ ) que afecta a ambos gemelos es esta condición ( $M_0$ ), no el hecho de que uno de ellos haya sido sometido a una prueba en el futuro ( $M_1$ ).

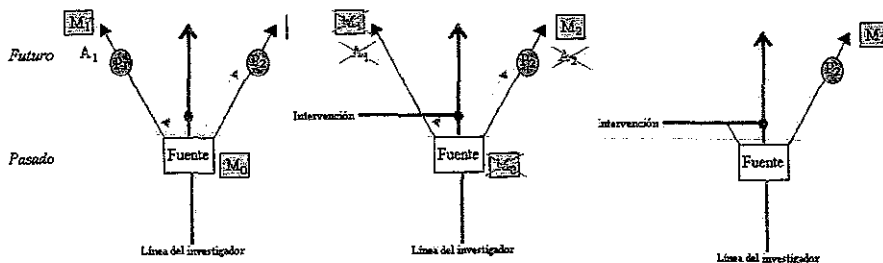
Notemos que en el fenómeno de Bell, la medición en el pasado no se realizó. No hay un  $M_0$ . Pero, aún cuando no se haya medido, la posibilidad de que esa medición hubiese sido realizada debería existir. Alguien podría argumentar que debido a que la causa está en el futuro, como todavía no ha ocurrido, en nuestro pasado no se ha registrado su efecto, o bien que estos efectos afectarían a una línea de tiempo diferente a la de nuestro pasado registrado.

Esto exigiría una teoría adicional sobre la topología temporal. Pero se pierde la idea de causación hacia el pasado, porque aún cuando no hayamos medido en el pasado, y volviendo al ejemplo de los gemelos, si la medición  $M_1$  en el futuro produjo los cambios genéticos  $M_0$ , de acuerdo a la retrocausación, estos cambios que se producen en el pasado, no deberían manifestarse solamente en el momento de la medición  $M_1$ . Si así fuera, eso sería simplemente acción a distancia y no retrocausación.

Esto aún no ha cerrado la puerta a la retrocausación, porque se puede apelar a que la visión presentada por el investigador que descubre  $M_0$  es una visión limitada por nuestra condición epistémica en un tiempo dado. Por lo tanto, lo que ocurre es que simplemente ignoramos lo que pasará en el futuro, por lo que no podríamos, a raíz de nuestras limitantes como humanos detectar el proceso causal que está ocurriendo. En otras palabras, efectivamente sí podríamos medir en el pasado los efectos de la causa futura, pero dado que somos seres situados en el tiempo, encontrar esos efectos nos haría "creer", al modo presentado anteriormente, que esos efectos son la causa y no el efecto de la verdadera causa que está en el futuro que desconocemos. Puesto en términos del ejemplo de los gemelos, efectivamente la medición futura  $M_1$  generaría el problema genético en el pasado, y este problema sería detectable, pero al desconocer que en el futuro se realizará la medición  $M_1$ , creemos que es la condición genética  $M_0$  la que ocasiona los resultados, sólo porque se nos presentó antes.

Sin embargo, esta objeción puede ser limitada evitando el "antropocentrismo temporal", es decir, evitando considerar que nuestra negación de la retrocausación sea una cuestión antropocéntrica. En el caso de los gemelos de Dowe, el doctor que nota el problema genético al momento del nacimiento podría "apiadarse" de uno de los niños y matarlo (aunque es macabro, el experimento completo lo es desde el comienzo). ¿Va a desaparecer el problema genético, debido a que la medición en ese gemelo no va ocurrir? Supongamos que no. Por lo tanto, el contrafáctico "si no ocurriera en el futuro la medición, los gemelos no tendrían el problema genético" no se va a cumplir. Y aún tendríamos al otro gemelo para poder someterlo cruelmente a una medición en el futuro.

Pero en el ejemplo anterior, supusimos que el problema genético no desaparecería. Esto puede ser considerado como una negación inmediata a la retrocausación, ya que si la aceptamos, deberíamos aceptar también que si la causa no ocurre, el efecto tampoco. Concedamos ese punto y pensemos que efectivamente la retrocausación existe y que al no existir la posibilidad de que en el futuro tenga lugar la causa dada la intervención del médico que asesina al gemelo 1 (que iría a Puerto Natales), el efecto tampoco se da. Habiendo descartado anteriormente la posibilidad de que la medición se realizase (porque ya analizamos el caso en que se mantiene el problema genético), sólo nos queda la posibilidad de "fijar" el evento que evita la causa (uno de los dos tiene que ocurrir, los humanos viajamos hacia el futuro normalmente):



La secuencia muestra lo que ocurriría con el investigador que interviene en caso de existir la retrocausación (sin hacer alusión a líneas de tiempo paralelas). Primero detecta, al detectar interviene y con eso elimina la posibilidad de que la medición se haya realizado. Dado a que el investigador viaja hacia el futuro, él nunca midió, y es la última línea a la que el investigador tendría acceso epistémico. En la última línea, el investigador no notaría que está frente a un caso tipo fenómeno de Bell.

Esto "ocultaría" el proceso de retrocausación, ya que no tendríamos acceso epistemológico al fenómeno mismo, sino que accedería a una línea en la que el investigador no midió, sino que solamente intervino. Si existe la retrocausación entonces, nunca accederíamos al caso de medir y evitar la causa a futuro: si evitamos la causa, no medimos en el pasado. Esto equivale a que la retrocausación ocurre, pero no es medible. Y si  $M_0$  fue causada por la medición  $M_1$ , el investigador no puede elegir evitar esta medición.<sup>41</sup>

Lo expuesto señala posibles objeciones a la retrocausación que surgen solamente en el análisis de caso por caso. Sin embargo éstas no socavan el éxito explicativo que adquiere la propuesta al poder dar cuenta del análisis estadístico. Queda entonces por dilucidar el modo



en que la retrocausación pueda ser puesta de manifiesto por medio de apoyo empírico de tipo estadístico que se resista a la manipulación antropocéntrica mencionada para los casos individuales.

---

### Notas

- i Einstein habla específicamente de “espeluznante acción-a-distancia”. Véase la correspondencia entre Einstein y Born en *Born-Einstein Letters* (1979).
- ii A. Einstein, B. Podolsky y N. Rosen (1935).
- iii La definición es de Cramer (1988)
- iv Dowe (2000), p. 181
- v El ejemplo original involucra las ciudades de Hobart, Dunedin y Sidney
- vi Bohr y Heisenberg no lograron estar totalmente de acuerdo con la interpretación del formalismo matemático de la mecánica cuántica. De hecho, ellos nunca utilizaron el término “interpretación de Copenhague”.
- vii Cramer (1988), p. 247.
- viii Aunque inicialmente, en Dowe (1997), defiende el modelo de retrocausación-en-el-tiempo.
- ix Dowe (2000), capítulo 8
- x Cramer (1988), p. 228
- xi Ésta es la conclusión de John Bell después de presentar su teorema

### Bibliografía

- BORN, M. Y EINSTEIN, A. 1979. *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York.
- CRAMER, J. 1986. “The Transactional Interpretation of Quantum Mechanics” en *Reviews of Modern Physics* 58: 647-687.
- CRAMER, J. 1988. “An Overview of the Transactional Interpretation of Quantum Mechanics” en *International Journal of Theoretical Physics* 27. 227-236.
- DOWE, P. 2000. *Physical Causation*, Cambridge University Press, Cambridge.
- DOWE, P. 1997. “A Defense of Backward-in-Time Causation Models in Quantum Mechanics” *Synthese*, 112. 233-246.
- EINSTEIN, A., PODOLSKY, B., Y ROSEN, N. 1935. “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?” *Phys. Rev.* 47, 777-780.