

Consecuencias de la singularidad cósmica inicial

Oswaldo M. Moreschi



Facultad de Matemática Astronomía, Física y Computación (FaMAF)
Universidad Nacional de Córdoba,
Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG), CONICET,
Ciudad Universitaria, (5000) Córdoba, Argentina

II Jornadas de Fundamentos, Filosofía e Historia de la Física
10, 13 y 14 de septiembre, 2021 - Buenos Aires - Argentina

Contenido

- 1 Introducción
- 2 La singularidad cósmica inicial
- 3 El permanente principio de causalidad
- 4 Información en una región del espaciotiempo
- 5 Necesidad, contingencia, ..., ¿teorema de incompletitud?
- 6 Posible estructura discreta y lenguajes formales
- 7 Necesidad de que el presente sea real
- 8 Especulaciones sobre las leyes físicas

Introducción: I

Deseamos indagar en lo que se obtiene de exigir algunos postulados fundamentales; comenzando por:

- ◆ El universo tiene una singularidad inicial.
- ◆ El principio de causalidad. (La única ley permanente[1].)

hemos inmediatamente agregado el infaltable principio de causalidad, pero iremos aumentando los ítems a considerar.

En principio, estamos al tanto de que el universo está en expansión, y todo indica que hace mucho tiempo, cuando la materia estaba más junta, había un estado de alta temperatura. Lo que está corroborado por las múltiples observaciones de la radiación cósmica de fondo.

Pero, ¿qués es eso de la singularidad inicial? Aclararemos esto más adelante.

Además deseamos agregar algo del estilo de pensamiento de Leibniz en lo concerniente a necesidad, contingencia y que vivamos en el mejor de los mundos (universos) posibles. También recurriremos a anteriores aportes nuestros sobre lenguajes formales, entropía del universo temprano, teorema de Gödel y otros.

La singularidad cósmica inicial I

Ejemplo de pregunta engañosa:

¿Qué sucedía antes del big bang?

La respuesta canónica es:

Singularidad inicial 1

Disculpe, pero no es legal hacer esa pregunta si se toma en serio la existencia de la singularidad inicial, pues no existe la noción de tiempo (ni espacio) anterior a ella, en el que pudiese 'suceder' algo.

Esto nos lleva a la necesidad de aclarar un poco más lo que entendemos por singularidad inicial.

La singularidad cósmica inicial II

Algunos puntos donde hay acuerdo generalizado:

- el Universo está en expansión; siguiendo en primer orden la ley de Hubble.

$$v = Hr. \quad (1)$$

- a escalas muy grandes el Universo tiene propiedades de homogeneidad e isotropía.
- hay una radiación cósmica de fondo a una temperatura de 2,7K.
- la gran explosión cósmica fue a altísima temperatura.
- dada la actual tasa de expansión se estima que la gran explosión (big bang) ocurrió hace unos 13.500 millones de años. (¡Acabamos de nacer!)

Si a todo esto agregamos la [aplicación directa de la relatividad general](#), que es nuestra manera de entender la estructura del espaciotiempo, se concluye además que:

- el espaciotiempo tiene una singularidad inicial cósmica que ocurrió hace aproximadamente unos 13.500 millones de años.

La singularidad cósmica inicial III

¿Qué significa aplicación directa de la relatividad general?

Significa asumir que las ecuaciones de campo, también llamadas de Hilbert-Einstein, se satisfacen a escalas cosmológicas.

Singularidad inicial 2

Dentro de la relatividad general se pueden probar teoremas que indican que líneas temporales dirigidas hacia el pasado, no pueden ser extendidas indefinidamente; a lo que se llama singularidad inicial.

Pero,

¿qué sucede muy cerca de la singularidad inicial?

¿Podemos todavía confiar en todas las leyes de la física como las conocemos?

El permanente principio de causalidad I

¿En qué sentido decimos que el principio de causalidad es **permanente**?

- En varios; por un lado debido a que toda ciencia natural tiene incorporado una versión apropiada de la causalidad.
- Por otro lado, que incluso en especulaciones como la discusión de una posible estructura discreta del espaciotiempo, siempre exigiremos la participación del apropiado principio de causalidad.

¿Cuáles son las consecuencias del principio de causalidad en el contexto cosmológico?

- Dado que existe una velocidad máxima de las interacciones, coincidente con la velocidad de la luz en el vacío, y que sabemos de una singularidad cósmica inicial; se deduce que **cada observador puede recibir información de una porción limitada del universo**.

Problemas cósmicos y falsas soluciones

- *El problema del horizonte:* La hipersuperficie que separa el universo observable del no observable recibe el nombre de 'horizonte de partículas'. Debido a la existencia de este horizonte se deduce que si observamos la radiación cósmica de fondo en dos direcciones opuestas en la esfera celeste, entonces estaremos observando radiación electromagnética proveniente de regiones en el pasado, que estaban **causalmente desconectadas**. Esto provoca la pregunta natural: ¿Cómo es posible que la radiación proveniente de regiones causalmente desconectadas puedan tener la misma característica de estar a 2.7 grados Kelvin con una precisión de unas cinco cifras significativas? A esto se lo suele denominar el 'problema del horizonte'.
- *Falsas soluciones:* Con el objeto de resolver este 'problema', se introdujeron en el pasado los llamados universos inflacionarios; que lamentablemente no dan respuesta satisfactoria a la pregunta, pues asumen un substrato homogéneo inicial que desean explicar; además de contradecir varias leyes de la física. En particular, para hacer sobrevivir a estas especulaciones, se suele recurrir al requerimiento de que la relatividad general deje de cumplirse en una época, ó que la mecánica cuántica deje de ser válida en algún momento.

El permanente principio de causalidad III

- *La solución:* La respuesta a esta pregunta fue resuelta en nuestro trabajo de [2, 3, 4] donde señalamos que de calcular correctamente el comportamiento de la densidad de entropía en el universo temprano; se deduce que la misma tiende a cero cuando uno se aproxima a la singularidad inicial, en vez de diverger como se asume usualmente. De aquí se deduce que la similitud de distintas regiones del universo, no proviene de que estuviesen en equilibrio termodinámico (como normalmente se afirma) sino que no tenían disponibles otro tipo de datos iniciales.

Información en una región del espaciotiempo I

Una de las ideas más provocativas es la de relacionar el concepto de entropía con el concepto de información.

Las consideraciones anteriores nos invitan a incluir en las consideraciones a otro ítem más.

- ◆ El universo tiene una singularidad inicial.
- ◆ El principio de causalidad.
- ◆ Contenido de información en una región del espaciotiempo.

El concepto de información, si bien escurridizo, adquiere cada vez más relevancia en los marcos teóricos de la física.

Notemos que:

- Del estudio básico de sistemas termodinámicos se deduce que existe una función de estado, llamada entropía S , que aparece naturalmente en la descripción de estos sistemas.
- Cuando uno describe la entropía, en mecánica estadística, haciendo uso de una descripción microscópica de la materia, la entropía se describe como:

$$S = -k_B \sum p_i \ln p_i; \quad (2)$$

donde k_B es la constante de Boltzmann, p_i es la probabilidad de encontrar al sistema en el microestado i y la suma es sobre todos los microestados posibles.

- En un estudio sobre la capacidad de transmisión de información sobre canales, Shannon[5] requirió tres simples y razonables propiedades sobre una medida de información C (que él también asoció a 'choice' [elección] y 'uncertainty' [incertidumbre]) y encontró como teorema que la única C que satisface sus tres suposiciones es de la forma:

$$C = -K \sum p_i \ln p_i; \quad (3)$$

donde K es una constante positiva. Por su similitud con la función termodinámica también llamó a esta medida entropía.

- En un estudio sobre la entropía de un agujero negro, Bekenstein[6] empleó la igualdad entre las dos entropías para estimar la correspondiente a un agujero negro.

Información en una región del espaciotiempo III

- Exigiendo la segunda ley de la termodinámica para sistemas que incluyen agujeros negros Bekenstein[7] encontró una desigualdad involucrando la entropía y otras cantidades físicas como la energía y el tamaño; dada por

$$S < \frac{2\pi k_B}{\hbar c} RE, \quad (4)$$

donde R lo denomina el radio efectivo del cuerpo y E su contenido de energía.

Debería ser enfatizado que toda región que decrezca en su tamaño y contenido de masa-energía, tendrá su entropía y por ende su capacidad de contenido de información también en disminución

Esto es lo que sucede con el pasado causal de un observador cuando se consideran puntos cada vez más cerca de la singularidad cósmica inicial.

Y es debido a este comportamiento que pudimos probar que la entropía por centímetro cúbico tiende a cero[2] cuando uno se aproxima a la singularidad inicial.

Necesidad, contingencia, ..., ¿teorema de incompletitud? I

Deseamos incluir otro punto más dentro de los temas a tener en cuenta.

- ◆ El universo tiene una singularidad inicial.
- ◆ El principio de causalidad.
- ◆ Contenido de información en una región del espaciotiempo.
- ◆ Rigidez de las leyes de la naturaleza.

Aunque no deseamos analizar los pensamientos de Leibniz, sí mencionaremos algunas observaciones que nos parece están relacionadas con la temática tocada aquí.

- En "Necessary and Contingent Truths"[8] Leibniz expresa que una proposición es absolutamente necesaria si su opuesta implica una contradicción. En vez sobre las proposiciones contingentes afirma que estas proposiciones son tales que son verdaderas a un cierto tiempo; ellas expresan no sólo que atañen a cierta posibilidad de cosas, pero que también existen, o podrían existir contingentemente si ciertas cosas fueran provistas, por ejemplo que "ahora yo estoy vivo".
- Pero luego relaciona estos conceptos con la [leyes universales](#)[9] al expresar que hay algunas proposiciones que son verdadera en el curso de la naturaleza, de tal forma que una excepción sería adjudicada a un milagro.
- Lamentablemente luego complica su discurso al querer salvar a Dios como el que sí puede hacer milagros.

Necesidad, contingencia, ..., ¿teorema de incompletitud? II

Obviando los problemas existenciales que Gottfried tenía con el tema de Dios, rescatamos su intuición sobre su descripción de proposiciones y analogías con leyes de la naturaleza.

- A lo anterior podemos agregar otras afirmaciones de Leibniz, que en “On the Ultimate Origination of Things”[10] expresa: ‘... se deduce que todas las cosas que son posibles, o expresan esencia o posibilidad de realidad, tienden con igual derecho hacia la existencia en proporción a **la cantidad de esencia o realidad que ellas incluyen**, o en proporción al grado de perfección que pertenece a ellas, ...’

Este tipo de concepción suele regir la búsqueda de soluciones en ciencias naturales. Pero ahora deseamos relacionar las ideas anteriores con el llamado teorema de incompletitud de Gödel.

- En un extraordinario trabajo, Gödel pudo probar[11, 12], usando el sistema de axiomas para los números naturales, que había afirmaciones dentro del formalismo que no se puede probar si son verdaderas o falsas.

En otra oportunidad hemos[13] contribuido con las implicaciones de este resultado en las ciencias; pero en esta ocasión deseamos asociarlo a los pensamientos de Leibniz.

Necesidad, contingencia, ..., ¿teorema de incompletitud? III

Sugerimos la analogía entre las **verdades necesarias** con los **axiomas iniciales** naturales de un formalismo. Al aparecer una afirmación dentro del formalismo inicial que no se puede probar si es verdadera o falsa; tomamos una decisión e incorporamos ésta como un **nuevo axioma** de un formalismo evolucionado del primero, por ejemplo tomando que la afirmación es verdadera. Este último axioma sería un ejemplo de **verdad contingente** de Leibniz.

Haciendo una analogía con sistemas lógicos, deberíamos admitir la posibilidad de que en el universo temprano, las propias leyes eran dinámicas y se fueron ajustando a las que conocemos hoy.

Posible estructura discreta y lenguajes formales I

◆ Posible estructura discreta del espaciotiempo \iff lenguajes formales.

Anteriormente hemos comentado[14] sobre la posible **naturaleza discreta del espaciotiempo** y sus implicaciones en cosmología. Allí presentamos la tesis:

Todo sistema finito puede ser descrito completamente (o equivalentemente: puede ser representado perfectamente) por medio de una expresión finita de un lenguaje formal.

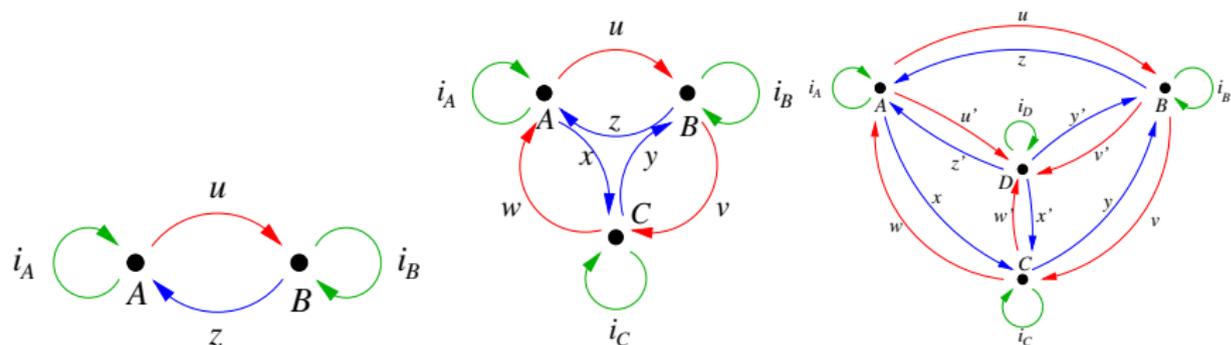
Luego, usando la medida de información de Shannon, probamos que si $C(\gamma(\tau))$ representa la cantidad de información disponible en la descripción completa del pasado causal del punto $\gamma(\tau)$, a lo largo de la curva temporal γ con tiempo propio τ y con comienzo en la singularidad cósmica inicial ($\tau = 0$); luego

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} C(\gamma(\tau)) = 0. \quad (5)$$

Pero por otro lado, dado que el pasado causal de $C(\gamma(\tau))$ va disminuyendo con τ , su descripción completa en término de un lenguaje formal, debería ser cada vez más sencilla.

Posible estructura discreta y lenguajes formales II

Fue así que en [15] estudiamos la construcción de lenguajes formales sencillos, incrementando su complejidad progresivamente.



Luego de reconocer en estos lenguajes estructura natural, fuimos capaces de relacionar los mismos al álgebra de Clifford de espaciotiempos con dimensionalidad correspondientemente creciente; esto es la estructura:

$$\gamma_a \gamma_b + \gamma_b \gamma_a = 2g_{ab} ; \quad (6)$$

donde γ_a es un elemento del álgebra de Clifford y g_{ab} es la métrica del espaciotiempo. **Notar que los espinores, que representan las partículas elementales, como los quarks y leptones, son vectores en el espacio de representaciones del álgebra de Clifford.**

Necesidad de que el presente sea real I

Deseamos incluir otro punto más dentro de los temas a tener en cuenta.

- ◆ El universo tiene una singularidad inicial.
- ◆ El principio de causalidad.
- ◆ Contenido de información en una región del espaciotiempo.
- ◆ Rigidez de las leyes de la naturaleza.
- ◆ Posible estructura discreta del espaciotiempo \iff lenguajes formales.
- ◆ La realidad del presente.

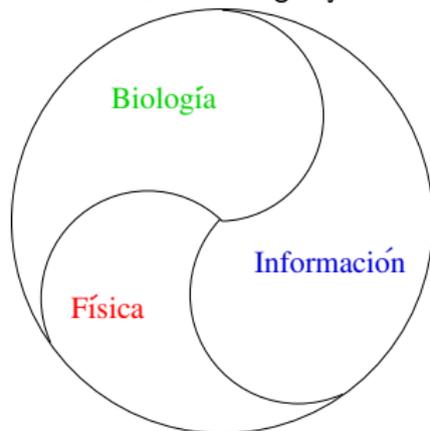
Es desconcertante que por un lado en las ciencias biológica y en nuestra experiencia cotidiana como humanos, percibimos al presente con una realidad indiscutible. Sin embargo, dentro de la física, no existe una descripción del presente; sino que a los sumo, elegimos que un parámetro temporal t tome un cierto valor t_0 que adjudicamos a lo que mide nuestro reloj ahora. Pero no existe una explicación ni descripción del presente.

La actitud usual es asumir que no debemos hacernos problema cuando estudiamos física, de nuestras percepciones, por el hecho que el observador es un ser vivo que tiene estas experiencias, que probablemente son ilusorias y no son reales, desde el punto de vista físico.

Necesidad de que el presente sea real II

Pues nosotros tendemos a tener la visión alternativa, que esta situación está marcando una deficiencia fundamental en nuestro entendimiento de la naturaleza del universo al que vemos con nuestra actual comprensión de la física.

En otra oportunidad hemos señalado[16] que deberíamos profundizar la interrelación entre nuestro entendimiento de la física, la biología y la información:



Especulaciones sobre las leyes físicas I

Deseamos incluir otro punto más dentro de los temas a tener en cuenta.

- ◆ El universo tiene una singularidad inicial.
- ◆ El principio de causalidad.
- ◆ Contenido de información en una región del espaciotiempo.
- ◆ Rigidez de las leyes de la naturaleza.
- ◆ Posible estructura discreta del espaciotiempo \iff lenguajes formales.
- ◆ La realidad del presente.
- ◆ La necesidad de que éste sea el mejor de todos los universos posibles.

En realidad desearíamos proseguir adjuntando más items dentro de los temas a tener en cuenta, pero debido a limitaciones de tiempo y espacio, directamente pasamos a presentar algunas ideas especulativas, mencionando al pasar alguno de los otros temas faltantes.

Especulaciones sobre las leyes físicas II

Continuamos con preguntas engañosas:

¿Cómo se originó la vida?

Respuesta canónica: <https://es.wikipedia.org/wiki/Abiogénesis>

...la vida comenzó su existencia en algún momento del período comprendido entre 4.410 millones de años, cuando se dieron las condiciones para que el vapor de agua pudiera condensarse por primera vez, y entre 4.280 y 3.770 millones de años atrás, cuando aparecieron los primeros indicios de vida.

Tal vez más atinado sería preguntar: ¿Cuándo y cómo es que aparecieron los primeros vestigios, de lo que conocemos como manifestaciones de la vida, en nuestro planeta? Pues, por ejemplo en [17] hemos argumentado que la ley que explica la vida debe ser una [ley universal](#) y que por lo tanto tiene validez desde el comienzo del universo. Allí observamos que la vida hace uso casualmente de los átomos más estables disponibles sobre la cresta de nuestro planeta; pero que en otras circunstancias haría uso de aquellos que sean accesibles.

Especulaciones sobre las leyes físicas III

Esta **ley universal de la vida**, la reconocemos sólo al presente por sus manifestaciones en nuestro planeta; pero por ser universal, ha estado vigente desde los comienzos del universo.

Otro punto que deseamos considerar:

La necesidad en que haya dos ámbitos, uno cuántico discreto y otro clásico y más o menos determinista, salvo por las acciones de los humanos y otros seres vivos.

◆ Realidad cuántica discreta \iff realidad clásica determinista.

La necesidad de estos dos aspectos de la realidad parece ser un requerimiento de que vivimos en 'el mejor de todos los universos posibles'.

Notemos que las leyes de la **física clásica** son absolutamente **deterministas**; esto es, dados los datos iniciales, las ecuaciones proveen de soluciones únicas a la evolución del sistema.

Especulaciones sobre las leyes físicas IV

En vez, si bien las **ecuaciones** del **mundo cuántico** son deterministas, el **resultado de sus predicciones**, no lo son. Uno podría imaginar por ejemplo que en algún lugar del universo, sin intervención de seres inteligentes, se organizó una situación como la expresada en el experimento de Stern-Gerlach, en el que el resultado posterior del sistema depende de cómo sale el espín de un electrón de una zona, donde el campo magnético está a noventa grados del espín inicial del electrón.

En particular los procesos de los sistemas vivos parecen requerir de esta parte de la naturaleza física de la materia.

Es como si se necesitase un **aspecto necesario** de la realidad y **otro de contingencia**. De otro modo sería difícil el entendimiento evolutivo que se tiene del proceso de la vida en nuestro planeta.

Somos conscientes que el entendimiento usual en la comunidad de la física, es que los procesos de la vida se explican por completo dentro del concepto de fluctuaciones termodinámicas de la materia. Pero nosotros no compartimos esa visión. Pensamos que en el desarrollo de los sistemas vivos es esencial la incertidumbre inherente a los sistemas cuánticos.

Especulaciones sobre las leyes físicas V

Vayamos recolectando otros puntos a incluir en nuestras consideraciones:

- El universo temprano debe ser simple (y lo es, su entropía tiende a cero)
- La estructura más básica del espaciotiempo discreto se puede expresar por elementos de un lenguaje formal que conducen a la existencia de álgebras de Clifford.
- Al buscar la descripción del universo temprano, se debe usar fuertemente la premisa de Leibniz de que estamos en el mejor de todos los universos posibles.

Ésta suele ser objetada por lo siguiente:

- ⊙ Dada la torpeza y brutalidad que se observa en la sociedad humana, ¿no es esto manifestación suficiente de que no vivimos en el mejor de todos los universos?
 - ⊛ Respuesta optimista: la vida manifiesta su fuerza creadora y de prueba en todos los rincones, es posible que en otro planeta haya una especie que lo esté haciendo mejor que nosotros.
-
- Es probable que la ley universal de la vida, rige por sobre las leyes de la física, por lo que el universo se originó en un 'proceso' de prueba, de configuraciones.

Especulaciones sobre las leyes físicas VI

Universo temprano

Nuestra tesis es que el universo temprano, se debe asociar a 'una zona' (espacio-temporal o no) en donde se estuvieron probando las configuraciones básicas de estructura, con el mínimo contenido de información posible, hasta que finalmente quedó solidificada la estructura lorentziana del espaciotiempo, junto con sus componentes de materia básicos. Ésta fue la que mostró la mayor cantidad de posibilidades para la realidad, que todavía separamos en, física y biológica.

Esto constituiría una descripción microscópica, tal vez fuera de lo que llamamos espaciotiempo, en las cercanías de la singularidad cósmica inicial clásica.

¿Existía una noción generalizada de tiempo en esta zona entonces?
aplicable a sistemas discretos.
¿Por cuánto tiempo duró?

Dado que está implícito en nuestra tesis especulativa, una demanda a nuestro actual entendimiento de la física y de la biología, no la proponemos por sus posibles implicancias observacionales, sino por su influencia en nuestra comprensión del origen del (único) universo.



O. M. Moreschi, "El principio de causalidad: la única ley parmanente," *Epistemología e Historia de la Ciencia* **6** no. 305–312, (2000) .



O. M. Moreschi, "Causal statistical mechanics calculation of initial cosmic entropy and quantum gravity prospects," *Int.J. Theo. Phys.* **38** no. 4, (1999) 1373–1983.



O. M. Moreschi, "Entropy at the early Universe," *Nuclear Physics B, (Proc.Suppl.)* **80** no. 236, 04/12, (2000) .



O. M. Moreschi, "Available cosmic initial data from quantum gravity premises," *Nuclear Physics B, (Proc.Suppl.)* **80** no. 244, 12/18, (2000) .



C. E. Shannon, "The mathematical theory of communication," in *The Mathematical Theory of Communication*, C. Shannon and W. Weaver, eds., pp. 3–91.

The University of Illinois Press, 1959.



J. Bekenstein, "Black holes and entropy," *Phys.Rev.D* **7** (1973) 2333.



J. Bekenstein, "Universal upper bound on the entropy-to-energy ratio for bounded systems," *Phys.Rev.D* **23** (1981) 287.



G. W. Leibniz, "Necessary and contingent truths," in *Leibniz Philosophical Writings*, G. Parkinson, ed.

J.M. Dent & Sons Ltd., London, 1973.

-  O. M. Moreschi, "Leyes universales en ciencias," *Epistemología e Historia de la Ciencia* **13** (2007) 389–396.
-  G. W. Leibniz, "On the ultimate origination of things (23 nov. 1697)," in *Leibniz Philosophical Writings*, G. Parkinson, ed.
J.M. Dent & Sons Ltd., London, 1973.
-  K. Gödel, "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I," *Monatshefte für Mathematik und Physik* **38** (1931) 173–198. Leipzig.
-  K. Gödel, *On Formally Undecidable Propositions Of Principia Mathematica And Related Systems*.
Basic Books, Inc., New York, 1962.
Translated by B. Meltzer, with Introduction by R.B. Braithwaite.
-  O. M. Moreschi, "Implicaciones del teorema de Gödel en ciencias," *Epistemología e Historia de la Ciencia* **12** (2006) 426–432.
-  O. M. Moreschi, "Sobre la posible naturaleza discreta del espaciotiempo y sus implicaciones en cosmología," *Epistemología e Historia de la Ciencia* **5** no. 317, (1999) .
-  O. Moreschi, "Simple formal languages and the structure of spacetime," *Epistemología e Historia de la Ciencia* **7** no. 380–388, (2001) .



O. M. Moreschi, "Física, biología, teoría de información: una eterna trenza platino," *Epistemología e Historia de la Ciencia* **16** no. 424–432, (2010) . "Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/3539>".



O. M. Moreschi, "Física-biología: delimitando el eslabón faltante," *Epistemología e Historia de la Ciencia* **11** no. 557–567, (2005) .