

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVIII JORNADAS

VOLUMEN 14 (2008)

Horacio Faas  
Hernán Severgnini

Editores



ÁREA LOGICO-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



# Sugerencias, reflexiones y patologías sobre la *creatio ex nihilo*

Mario A. Castagnino\* y Alejandro Gangui†

## 1. Introducción

La cosmología actual, basada en el modelo del Big Bang, presupone la existencia de una singularidad espacio-temporal, cuya descripción detallada aun escapa tanto a la física como a la filosofía pero que, sin embargo, habilita una interesante discusión sobre el tema. Ese evento singular, de en efecto haber sucedido en un pasado remoto, habría dado eventualmente origen a partir de la "nada" a todo lo que luego formará nuestro universo observable: una "creatio ex nihilo" que sugiere el origen temporal del universo a partir de ningún objeto o cosa "preexistente"; una creatio ex nihilo que implica también el propio origen del tiempo (lo que por cierto impide todo razonamiento hecho antes de la creación del universo; Gangui, 2005). En esta nota discutiremos esta idea. Una primera observación es que lo que aquí denominamos "la nada" poco tiene que ver con "la Nada" de los filósofos, sobre la cual, siendo los autores tan solo físicos, no nos atreveríamos a discutir con profundidad suficiente. Nuestra "nada" será más bien el "vacío" de los físicos, de modo que la expresión "ex nihilo" debiera quizás substituirse por "ex vacuo", cuyo estatus ontológico es más transparente. Seguiremos, sin embargo, usando la terminología donde "nada" sugiere un universo tan vacío que, en cuanto a su contenido de materia-energía, este ni siquiera existe.

## 2. La ley de conservación de la energía (sin considerar la geometría)

Una muy discutida crítica (patológica) de este proceso consiste en invocar la violación de leyes físicas, especialmente de una hipotética ley de conservación de la energía (o, luego de las teorías de Einstein, de la materia-energía). Veremos que la creación ex nihilo no viola dicha ley, ni tampoco ninguna de las leyes físicas conocidas. En efecto, el universo (considerado por el momento clásico, es decir no cuántico) evidentemente obedece las leyes de la Relatividad General, donde un "ingenuo" concepto de conservación de la energía no está bien definido, o al menos no debe confundirse con la noción ordinaria. Como bien se sabe, en Relatividad General la densidad de materia-energía forma parte de un tensor, el llamado tensor de energía-momento (que no contiene la "energía geométrica" de la que hablaremos luego) y dicho tensor es una matriz formada de la siguiente manera:

$$(2.1) \quad T_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} T_{00} & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{20} & T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{30} & T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix} =$$
$$= \begin{pmatrix} T_{00} = \text{Densidad de materia energía} & T_{0i} = \text{Densidad de momento lineal} \\ T_{i0} = \text{Flujo de materia energía} & T_{ij} = \text{Flujo momento lineal} \end{pmatrix}$$

\* IAFE - Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET

† CEFIEC - Centro de Formación e Investigación en la Enseñanza de las Ciencias, FCEyN-UBA

donde  $\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$  y  $i, j = 1, 2, 3$ . Este objeto contiene las densidades y los flujos de la materia-energía y del momento lineal, o sea contiene la información más completa del estado de la materia-energía en cada punto del universo. Es sobre este objeto que tenemos que aplicar la ley usual de conservación: esta consiste en decir que el flujo de cualquier magnitud (en particular, de la energía) que entra dentro de un dado volumen produce un incremento de la densidad de dicha magnitud (en este caso particular, un incremento de energía). Esto puede ilustrarse de la siguiente forma

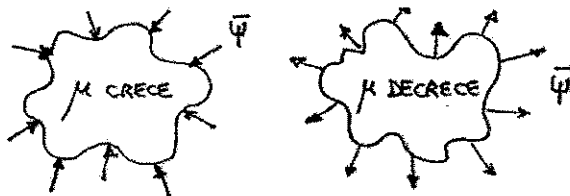


Figura 1

Aquí  $\mu$  es la densidad de energía y  $\vec{\psi} = (\psi_1, \psi_2, \psi_3)$  es el vector flujo de energía. La versión matemática de esta ley es la siguiente:

$$(2.2) \quad \frac{\partial \mu}{\partial t} + \frac{\partial \psi_1}{\partial x^1} + \frac{\partial \psi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial \psi_3}{\partial x^3} = 0,$$

que, traducida en el lenguaje covariante frente al grupo de Lorentz de la Relatividad Especial, es

$$(2.3) \quad \partial_\mu \psi^\mu = 0,$$

donde  $\psi^0 = \mu$ .

Pero la Relatividad General es invariante frente al grupo general de cambios de coordenadas, de modo que la última ecuación debe ser

$$(2.4) \quad \nabla_\mu \psi^\mu = \partial_\mu \psi^\mu + \Gamma_{\mu\nu}^\mu \psi^\nu = 0,$$

donde  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$  es la llamada conexión, una corrección que se introduce justamente para obtener dicha covariancia. Este resultado se puede también obtener de un axioma fundamental de la Relatividad General: el Principio de Equivalencia Fuerte (consecuencia del Principio de Equivalencia débil entre el peso y la aceleración). De la ecuación (2.4) aplicada al tensor (2.1) resulta que la divergencia covariante de este último se anula, o sea

$$(2.5) \quad \nabla_\mu T^{\mu\nu} = 0.$$

En una ley de conservación ordinaria, que se deduce del razonamiento de la Figura 1, es la divergencia ordinaria la que se anula, no la covariante. La diferencia entre las dos divergencias es

$$(2.6) \quad \nabla_\mu T^{\mu\nu} - \partial_\mu T^{\mu\nu} = t^\nu$$

Entonces esta diferencia entre las dos últimas ecuaciones es el "objeto"  $t^\nu$ , que no es un vector y cuya verdadera naturaleza nadie a desentrañado hasta hoy. (En efecto, es solo un conjunto de 4 números, o coordenadas, que varían de un sistema de referencia a otro sin que se les haya podido asociar una entidad física bien definida, como sería el caso de la "flecha" del vector geométrico ordinario, o el que simboliza la velocidad o la aceleración). Esta diferencia

esencial está a la raíz del llamado "problema de conservación" de la Relatividad General, problema que ya fue planteado en los mismos albores de la teoría y que nunca ha sido resuelto, a pesar de muchos intentos con explicaciones insatisfactorias (ver por ejemplo Landau y Lifschitz, 1970, pag. 402; Adler et al., 1965, ecuación 11.13; Moller, 1952, pag. 126). Vemos entonces que la conservación de la energía en el universo de la Relatividad General presenta evidentemente ciertas sutilezas físicas que un investigador serio no puede ignorar, y que desde luego descartan la aplicación de la ley de conservación al menos en esta forma'. Esta discusión se hará más transparente en la próxima sección.

### 3. Conservación de la energía considerando la geometría

Trataremos ahora de salvar la ley de la conservación de la energía presentándola en otra de sus versiones. Pero antes recordemos la historia de las leyes de conservación de la energía. Comienza con la bien conocida conservación de la energía cinética (en los choques de las partículas, por ejemplo) la que es siempre positiva. Luego, a medida que se agregan otros fenómenos físicos: calor, electromagnetismo y gravedad, resulta que la energía cinemática total no se conserva, lo que fuerza a introducir las energías térmica, electromagnética y gravitatoria, respectivamente, para mantener la regla de conservación. Con la Relatividad Especial la masa, que se identifica con la energía, sigue el mismo proceso. Estas energías resultan *todas positivas* de modo que una de ellas puede crearse a partir de las otras, pero la suma permanece constante impidiendo la creación ex nihilo.

Precisamente, todas estas energías están *acotadas inferiormente*, es decir, tienen un mínimo. Como a las energías se les puede en general sumar una constante arbitraria (o sea, lo que importa es en realidad las diferencias de energía), se puede elegir tal constante de modo tal que la cota inferior tenga energía cero y en consecuencia que la energía en cuestión resulte siempre positiva. La excepción a esta regla la constituyen las energías "coulombianas" (como las de la gravitación o la electrostática) que son inversamente proporcionales a la distancia entre los cuerpos que interactúan. Pero como en la práctica dos cuerpos reales no pueden estar a distancia cero, la cota inferior se cumple también para ellas.

Para que esto quede un poco más claro veamos el ejemplo de los dos péndulos acoplados:

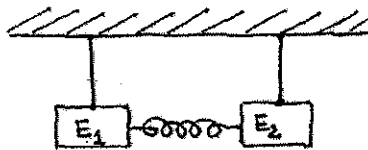


Figura 2

Aquí el primer péndulo tiene energía  $E_1 \geq 0$  y el segundo  $E_2 \geq 0$  y, desde luego,

$$(3.1) \quad E_1 + E_2 = E_{total} \geq 0.$$

Esta ley de conservación permite confeccionar la siguiente tabla:

$E_1$	$E_2$	$E_{total}$
4	0	4
3	1	4
2	2	4
1	3	4

Tabla 1

de modo que en este caso no podemos sacar una cierta "energía" de la nada. Pero con la Relatividad General aparece un nuevo objeto dinámico, la geometría, a la que hay que atribuir también una energía. Esto se puede hacer utilizando la ecuación de Einstein,

$$(3.2) -G_{\mu\nu} + 8\pi GT_{\mu\nu} = 0$$

(donde  $G$  es la constante de la gravitación de Newton), de la cual puede deducirse que la energía correspondiente a la geometría, o sea  $-E_G = -G_{00}$ , resulta "negativa", mientras que la energía de la materia-energía, o sea  $E_{M-E} = T_{00}$ , resulta "positiva". Este hecho posibilita la creación de estas últimas energías a expensas de la energía "almacenada" en la geometría y, en consecuencia, la creación ex nihilo. Para verlo claramente consideremos un modelo de una geometría de Robertson-Walker donde la materia esta representada por un campo escalar de masa  $m$ . La ecuación de Einstein deviene (Castagnino, Gunzig, Nardone, 1990)

$$(3.3) -p_a^2 + p_\phi^2 + m^2 a^2 \phi^2 = 0,$$

donde  $a$  es el radio del universo y  $p_a$  su momento asociado, o sea las magnitudes que representan la geometría, y  $\phi$  es el campo escalar con  $p_\phi$  su correspondiente momento, las magnitudes que representan la materia-energía. Por su parte,  $m^2 a^2 \phi^2$  es un término de interacción positivo. En este caso vemos claramente que la "energía" de la geometría es negativa y podemos escribir la ecuación correspondiente a la (3.1) como

$$(3.4) -E_G + E_{M-E} = E_{total} = 0$$

(hemos incluido el término de interacción dentro de la energía de la materia). Esta ley de conservación permite confeccionar la siguiente tabla:

$E_G$	$E_{M-E}$	$E_{total}$
0	0	0
1	1	0
2	2	0
3	3	0

Tabla 2

De modo que en este caso podemos sacar energía de la nada o, más precisamente, de la geometría, creando este universo "de juguete" ex nihilo (Castagnino, 1994; Castagnino, Sanguineti, 2007). Así, esta ley de "conservación de la energía" que contiene a la geometría como un tipo más de energía sí admite la creación ex nihilo. Además, nos permite representar este universo como una especie de paraboloides de dos dimensiones, una espacial y otra temporal (aunque en realidad este universo debería ser de cuatro dimensiones  $U_4$ ) inmerso en un espacio

euclídeo de tres dimensiones (en realidad, este espacio euclídeo  $E_5$  debería contar con cinco dimensiones), como lo indica esquemáticamente la figura siguiente.

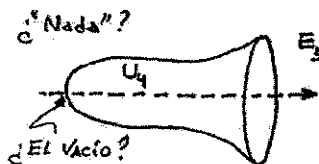


Figura 3

Observemos que el espacio de tres dimensiones (en realidad, el espacio  $E_5$  de cinco dimensiones) de la figura ciertamente. En consecuencia, podemos nosotros decir ahora que fuera del  $U_4$  está la Nada. Esto también permite entender la imposibilidad de razonar "antes de la creación del universo" (o sea, más o menos en la recta de puntos previa al paraboloide de la Figura 3) ya que allí, en principio, no hay nada."no existe" y se ha introducido al solo efecto de poder visualizar de algún modo el presente universo.

#### 4. Una versión cuántica provisoria

La curvatura del espacio-tiempo en el hipotético momento inicial es enorme, de modo que obliga a utilizar una teoría más abarcadora (y por el momento mal conocida). la Gravedad Cuántica. Ensayemos pues finalmente una versión cuántica. Debemos decir que todo sistema cuántico debe ser descrito por sus propiedades (masa, energía, spin, etc.; ver Omnès, 1994, 1999), que corresponden a operadores autoadjuntos de un espacio de observables que pertenece a un álgebra (Emch, 1948; Haag, 1993; Primas, 1983), base de la teoría en cuestión (e.g., la teoría de la gravitación cuántica en nuestro caso). En efecto, de acuerdo a Von Neumann, fundador de la lógica cuántica, la proposición básica de dicha lógica o *predicado elemental* es "un observable toma cierto valor" (o sea, una propiedad tipo adquiere una propiedad caso)<sup>2</sup>. Los estados son funcionales definidos sobre el espacio de observables, entre ellos el estado de vacío que es solamente un estado particular. En consecuencia, la mejor manera de considerar los objetos cuánticos es simplemente considerarlos "haces de las propiedades" (descritas matemáticamente por un formalismo algebraico; ver Lombardi, Castagnino, 2007). Como el tiempo debe considerarse como uno de estos observables, la verdadera creación a partir de la Nada sería así, hipotéticamente, un evento de creación del álgebra conteniendo todas sus propiedades, entre ellas el tiempo y el espacio, y todos los estados, conteniendo también el vacío, estado fundamental donde luego aparecerán las partículas cuya masa-energía se obtendrá de la geometría, como ya hemos explicado. Por cierto, nosotros, en tanto físicos, no somos idóneos para discutir esta Nada de los filósofos pero, como resulta de lo dicho, de ninguna manera confundimos esta Nada con la "nada" coloquial que hemos usado más arriba, vale decir, con el vacío. La Nada sería la ausencia de propiedades y de las correspondientes leyes físicas (o, si se quiere, el espacio  $E_5$  de la Figura 3). El filósofo deberá ilustrarnos al respecto, pero de ninguna manera es nuestro vacío. En este trabajo, como ya lo aclaramos antes, solo estamos hablando de una "creatio ex vacuo". En efecto, existen modelos teóricos que, a partir de este vacío, crean todo el universo cuántico, parafraseando lo dicho en las secciones 2 y 3. Por cierto no podemos ni remotamente afirmar que

las cosas hayan ocurrido de esta forma (como de alguna manera lo pretendían las teorías de los años 1980; ver Hartle, Hawking, 1983; Vilenkin, 1988, y actualmente lo siguen pretendiendo varios autores). Lo que sí señalamos es que al presente no hay ley física que impida este escenario.

Pero una conclusión de esta sección también es que la más sencilla interpretación de la mecánica cuántica debe estar simplemente basada en la noción de propiedades (Loux, 1998; Russel, 1919), y no ser del tipo de aquellas que atribuyen propiedades a individuos u objetos preexistentes<sup>3</sup>, los que probablemente sugieren la vieja noción de *sustancia*. ¿Qué sustancia se le puede atribuir al vacío cuántico que tiene número de partículas  $N=0$  en un sistema inercial y número de partículas  $N$  distinto de cero (en realidad un baño térmico) en un sistema acelerado? Este es el llamado efecto Unruh, entre partículas definidas en un sistema inercial y partículas definidas en uno de Rindler, las hipérbolas de la Figura 4 (Birrell, Davies, 1982), muy similar al efecto Hawking hoy generalmente aceptado.

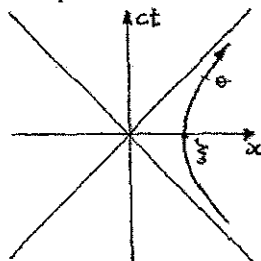


Figura 4

¿Qué queda del "individuo vacío" cuando se le sacan todas sus propiedades? (Entre ellas  $N=0$  en sistemas no acelerados) Es mucho más simple afirmar que el vacío "es" el haz de propiedades contextuales, que podríamos enumerar, y entre las que se hallan las que acabamos de señalar.

## 5. Conclusión

El resultado práctico de toda esta discusión es que con las nuevas teorías físicas pueden ponerse a prueba las viejas teorías filosóficas, por ejemplo, discutir la diferencia entre "Nada" y "vacío" de la que ya hemos hablado. Pero se puede, además, precisar el lenguaje (o la ontología) más adecuado para tratar, por ejemplo, la interpretación de la mecánica cuántica (como se trata de hacer en Lombardi, Castagnino, 2007).

## Notas

<sup>1</sup> Mario Bunge, sin embargo, parece insistir en negar la posibilidad de la singularidad del Big Bang basándose en las leyes de conservación no relativista (Bunge, 1977).

<sup>2</sup> En consecuencia un predicado elemental de la cuántica sería "El color es negro" y no sería "El gato es negro"

<sup>3</sup> En mecánica cuántica la noción de objeto no es primitiva y se basa en la noción previa de propiedad; ver Omnès, 1994.ç

## Bibliografía

- Adler R., Bazin M., Schiffer M. 1965, Introduction to general relativity, Mc. Graw Hill, New York  
 Birrell N., Davies P. 1982, Quantum fields in curved space, Cambridge University Press, Cambridge  
 Bunge M. 1977, Treatise on basic philosophy, Reidel, Dordrecht-Boston  
 Castagnino M., Gunzig E., Nardone P., 1991, "The problem of the wave function of the universe in the radiation dominated case", Proceedings of the V Moscow Quantum Gravity Seminar, 1990, p. 600, ed. M. Markov et al., World Scientific, Singapore.

- 
- Castagnino M. 1994, *Introducción a Sanguinetti J. J., El Origen del Universo*, UCA, Buenos Aires.
- Castagnino M., Sanguinetti J. J. 2007, *Tiempo y Universo*, Editorial Catálogos, Buenos Aires.
- Emch G. G. 1948, *Mathematical and conceptual foundations of 20th century physics*, North Holland, Amsterdam.
- Gangui A. 2005, *El Big Bang: la génesis de nuestra cosmología actual*, Editorial Eudeba, Buenos Aires.
- Haag R. 1993, *Local quantum Theory*, Springer Verlag, Berlin.
- Hartle J., Hawking S. 1983, *Phys. Rev. D* 28, p. 2960.
- Landau L., Lifschitz E. 1970, *Théorie des champs*, Mir, Moscú.
- Lombardi O., Castagnino M. 2007, "The modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics", *Studies on History and Philosophy of Modern Physics*, en prensa.
- Loux M. 1998, *Metaphysics. A contemporary introduction*, Routledge, London-New York.
- Moller C. 1952, *The theory of relativity*, Oxford-Clarendon, Oxford.
- Omnès R. 1994, *The interpretation of quantum mechanics*, Princeton, New Jersey.
- Omnès R. 1999, *Understanding quantum mechanics*, Princeton, New Jersey.
- Primas H. 1983, *Chemistry, quantum mechanics and reductionism*, Springer-Verlag, Berlin.
- Russel B. 1919, *Introduction to mathematical philosophy*, George, Allen, and Unwin, Londres.
- Vilenkin A. 1988, *Phys. Rev. D* 37, p. 888.