

# A Filosofía Física de Mario Bunge

*Gustavo E. Romero*

Nalgún lugar de *Otras Inquisiciones*, Jorge Luís Borges evoca unha frase de Hudson, onde este di que moitas veces na vida emprende o estudo da metafísica, pero sempre lle interrompeu a felicidade. Confeso que escasos sucesos interromperon os meus moitos anos de estudo e dedicación á física. Con todo, recordo brillantes momentos de felicidade intelectual nunha vida á que lle poden faltar moitas cousas, pero non o pensamento. Aínda hoxe emociónome ao lembrar a fascinación e a ledicia que me produciu a lectura de *Foundations of Physics*, de Mario Bunge. A través da néboa dos anos, podo aínda albiscar a un mozo desencantado das miserias da Academia e doído polas cicaterías ás que deben enfrontarse os investigadores que aspiran a un coñecemento xenuíno en países abatidos pola politiquería barata e o populismo. Podo ver aínda como as páxinas dese libro singular e único devolvíanme un lume que se apagaba, afogado pola inmensidade da insignificancia humana. Mario Bunge restituíume o amor pola física, pola sede de verdade, pola claridade. Sería 1989, seica. A Arxentina ardía na convulsión política. Nalgún lugar da cidade da Prata, onde hoxe mesmo escribo isto, ese mozo lía con desbordada paixón ese libro prístino, ao que os filósofos ignoraron por consideralo escuro. Bunge cometera un sacrilexio imperdoable: escribía sobre o que entendía. Bunge sabía de física. Se escribía sobre relatividade ou mecánica cuántica, alí estaban as teorías: axiomatizadas, formalizadas, despexada a bruma das palabras e-as meras opinións. Lóxica, matemática, semántica, todo iso ao servizo da análise da ciencia á que decidira dedicar a miña vida. Non máis ocultar os problemas, non máis solucións máxicas. Era en serio. Era o programa de Hilbert levado adiante, con coñecemento das limitacións formais, na forma máis rigorosa posible, por un arxentino expatriado que estudara nas mesmas aulas que eu. Propúxenme estudar toda a súa obra: co meu amigo Santiago Pérez Bergliaffa formamos un grupo de lectura e análise dos seus libros. Para 1991 xa dominabamos o esencial. Foi entón que soubemos que Bunge iría ditar un curso en Florianópolis, Brasil. Non dubidamos; sacamos unha pasaxe en autobús (que pagamos cos nosos magros salarios) e fómonos a oílo. O curso foi brillante e das preguntas en clase, pasamos ás que lle faciamos no hotel. Foi neses días felices en que nos indicou cuestións abertas na axiomatización da mecánica cuántica. Ao volver a Arxentina, decidimos atacar o problema. Discutímoloo co noso director de tese, e ao pouco tempo tiñamos lista unha nova axiomatización da teoría que enviamos a Bunge.

Para a nosa sorpresa, gustoulle e instounos a publicala (cousa que nin se nos ocorreu). Ao pouco tempo aparecía no *International Journal of Theoretical Physics*. Sería o primeiro de moitos artigos que escribiría sobre filosofía da física e filosofía científica, a pesar de desenvolver a miña carreira profesional principal na astrofísica. Tamén sería o comezo dun amizade con Mario que durou ata hoxe. Como dixen algunha vez, ao presentar as súas *Memorias entre Dous Mundos* (Gedisa - Eudeba, Barcelona - Buenos Aires, 2014), o meu encontro con Mario Bunge foi un dos feitos capitais da miña vida intelectual. E de todas as súas obras, por máis que admirei a súa *Treatise*, a súa *Causality*, a súa *Chasing Reality*, é o *Foundations* o libro que me marcou. Tanto o fixo que a súa luz aínda me aluma, aquí, agora, mentres escribo estas liñas sobre a filosofía da física de Mario. Esta é, entre outras, unha das formas do meu agradecemento polo que me deu.

Mario Bunge naceu en Florida Oeste, a 17 km da cidade de Buenos Aires, Arxentina, o 21 de setembro de 1919. Fillo dun médico e deputado socialista de familia patricia, o Dr. Augusto Bunge, o mozo Mario viviu sempre nun ambiente de liberdade intelectual e compromiso social. A súa nai, de orixe alemá, era Marie Müser quen fora enfermeira da cruz vermella en China. O mozo Mario pronto sentiu atraído pola filosofía. En 1936 comezou a realizar lecturas máis ou menos sistemáticas de tópicos filosóficos, pero pronto se convenceu de que se quería facer filosofía seriamente debía primeiro coñecer a fondo a ciencia. Inscribiuse na carreira de física da Universidade Nacional da Prata en 1938, onde se graduou cara a 1944, e máis tarde doutorouse en 1952, cunha tese sobre a cinemática do electrón relativista. O seu mentor de física foi Guido Beck (1903-1988), quen fora asistente de Heisenberg en Leipzig. En 1944 Bunge publicou o seu primeiro artigo de física na revista *The Physical Review*, sobre a representación das forzas nucleares. Foi o primeiro artigo teórico neste tema realizado no país. Nese mesmo ano participou da fundación da Asociación Física Arxentina. Pero xa antes Bunge incursionara na filosofía, publicando en 1939 un volume titulado "Introducción al Estudio de los Grandes Pensadores". En 1944 fundou a revista de filosofía *Minerva*, onde se publicaron artigos de varios dos pensadores máis prestixiosos de Latinoamérica. O propio Bunge escribiu varios artigos para a revista, que durou un ano. Un deses artigos, "Que es la epistemología", é quizais o primeiro artigo de filosofía da ciencia escrito en castelán.

En 1945 publicou en *Nature* un novo artigo de física nuclear, sobre as seccións eficaces de dispersión entre protóns e neutróns. En 1951 apareceu o seu primeiro artigo de filosofía en inglés: "What is chance", na revista *Science and Society*. O artigo sería o punto de partida das investigacións de Bunge sobre a causalidade, que culminarían na publicación do seu clásico libro *Causality*, aparecido en 1959 co selo de Harvard University Press. Nesa obra Bunge considera o rol da causalidade na física moderna, e conclúe que o mundo, aínda que é determinista, non é estritamente causal. O determinismo implica legalidade: non hai sucesos que non estean restrinxidos por unha lei. Pero esas leis non son necesariamente causais.

Por eses anos (a mediados da década de 1950) Bunge comeza a explorar as diferentes interpretacións da mecánica cuántica e a fixar a súa propia posición respecto diso. Deste período son dous artigos importantes: "A survey of the interpretations of

*quantum mechanics*", aparecido no *American Journal of Physics*, e "*Strife about complementarity*", publicado polo *British Journal for the Philosophy of Science*. Dese tempo datan tamén os primeiros contactos de Bunge con Karl Popper, que naquel momento tamén defendía unha interpretación realista (aínda que no seu caso estatística) da mecánica cuántica. Nos anos 1960, mentres vivía sucesivamente en EEUU, Alemaña, e Canadá (onde finalmente se radicou en 1966) Bunge produciu unha gran cantidade de traballos en filosofía da física, publicados en diversos medios como o *American Journal of Physics*, *The Monist*, *Reviews of Modern Physics*, e *Philosophy of Science*, entre outras revistas. A súa visión esencial dos grandes temas da física maduraría nestes anos e culminaría na publicación, en 1967, do seu extraordinario *Foundations of Physics* (Springer).

*Foundations of Physics* foi un libro pioneiro e único en moitos sentidos. Pioneiro polo seu estilo rigoroso tanto desde o filosófico como desde o físico. Aínda que moitas veces físicos habían escrito sobre filosofía e filósofos sobre física, esta vez o autor estaba en completo dominio de ambos os campos de investigación. Único polo seu alcance (o libro trata de metodoloxía xeral en filosofía da ciencia e de todas as teorías principais da física), profundidade, e rigor (Bunge presentaba no libro axiomatizacións rigorosas de todas as teorías que discutía). O libro está cheo de observacións felices e aclaracións de toda clase de erros conceptuais que, dado o transfondo exacto do tratamento, vólvense obvios para o lector. É un libro enormemente xeneroso en ideas e suxestións de liñas de investigación. O capítulo segundo inclúe un bosquejo de programa de investigación filosófico que Bunge desenvolvería entre 1974 e 1989: un sistema completo de filosofía científica que inclúe semántica, ontoloxía, epistemoloxía e ética. Nese capítulo feliz está a semente do que logo sería o monumental *Treatise on Basic Philosophy* (1974-1989), obra de 8 volumes e 9 tomos onde Bunge explicita o seu sistema de filosofía. O *Treatise* seica sexa o proxecto de investigación filosófica máis importante do século XX e ten a súa orixe no feito de que ao realizar as súas investigacións sobre os fundamentos da física, Mario Bunge decatouse que a filosofía de fondo sobre a cal se debe apoiar a ciencia non estaba adecuadamente desenvolvida. Iso procreou un proxecto de filosofía científica completo, que daría extraordinarios froitos.

Logo de *Foundations of Physics*, Bunge continuou desenvolvendo diferentes aspectos da súa filosofía da física en *Philosophy of Physics* (1973), *Controversias en Física* (1983), no tomo 7 do *Treatise*, e en *Mind and Matter* (2010). Os seus últimos artigos de filosofía da física, á data de escribir estas liñas (2016), son: "*Does the Aharonov-Bohm Effect Occur?*" e "*Gravitational Waves and Spacetime*", ambos en *Foundations of Science*. Máis de 70 anos de traballo en física e filosofía da física.

Os dous puntos esenciais da filosofía da física de Mario Bunge son o realismo epistemolóxico e o materialismo ontolóxico. As teorías científicas representan unha realidade que ten unha existencia obxectiva e independente do suxeito. Iso non implica, por suposto, que nas nosas descrições da realidade podamos prescindir dun sistema de referencia. Unha descripción da realidade pode ser perfectamente obxectiva e realista, pero *relativa* a un sistema de referencia. Bunge, nos anos 1960, encarou a axiomatización das teorías maiores da física, sempre facendo explícito a existencia dunha clase de sistemas de referencia para cada teoría. Estes sistemas non son obxectos conceptuais,

senón cousas concretas, e certamente non deben confundirse cos *sistemas de coordenadas* que usamos para cuantificar as nosas conceptualizacións en física. Bunge é moi coidadoso en sinalar que a matemática é un sistema de ficcións formais que utilizamos para representar aspectos de sistemas reais. As nosas ideas e representacións da realidade son as que son matemáticas, non a realidade mesma.

Nas súas axiomatizacións, Bunge representa as propiedades de sistemas físicos por medio de funcións, ou conxuntos de funcións e aos sistemas como conxuntos. Así, por exemplo, en relatividade xeral o espazo-tempo é representado por unha variedade real, 4-dimensional e pseudo-Riemanniana (unha clase moi particular de conxunto) e as propiedades do mesmo por medio dun conxunto de 10 funcións definidas sobre a devandita variedade chamadas *métrica*. As propiedades dos sistemas materiais diferentes do espazo-tempo, represéntanse por medio doutro conxunto de funcións estruturado no chamado tensor de *enerxía-impulso*. Logo, as leis da teoría, son representadas por relacións entre funcións que determinan restricións sobre a forma destas a través de *sistemas de ecuacións*. Como en xeral as leis son puramente locais, as ecuacións son diferenciais. En xeral, as leis da física represéntanse por *ecuacións integro-diferenciais*. Desta forma, a estrutura axiomática das teorías queda caracterizada por tres conxuntos de axiomas: 1) os puramente formais que fixan a forma matemática da teoría, 2) os semánticos, que relacionan certos construtos formais con ítems físicos, e 3) os enunciados de lei, que son os que representan o núcleo de relacións físicas entre os referentes da teoría. Bunge foi o primeiro en sinalar a importancia de facer explícitos os axiomas semánticos a fin de esclarecer as cuestións de interpretación das teorías da física. Para tratar con exactitude os aspectos interpretativos, desenvolveu toda unha teoría semántica nos dous primeiros tomos do seu *Treatise*.

O *Foundations of Physics* é o intento máis serio que se levou a cabo para implementar algo parecido ao programa de Hilbert de axiomatización e exactificación da física. As críticas que algúns autores realizaron aducindo que o programa é obsoleto debido aos teoremas de incompletitude de Gödel carecen de fundamento. Esas críticas só demostran, en realidade, unha incompreensión completa dos teoremas de incompletitude. Os teoremas de incompletitude afirman que 1) ningunha teoría formal capaz de describir a aritmética é á vez consistente e completa, e 2) a consistencia dunha teoría non pode probarse dentro da mesma teoría. No caso das teorías da física, se se llas formaliza completa e correctamente, non hai perigo de inconsistencias xa que as teorías non aspiran á completitude: o que buscamos en física é a mellor descrición posible da realidade, non unha teoría completa no sentido formal. Tampouco nos interesa probar a consistencia das nosas teorías dentro da propia teoría: todo físico traballa usando metalinguaxes adecuadas, aínda que non o saiba...

Por outra banda, é moito o que se gaña en claridade axiomatizando unha teoría, como Bunge explica en detalle na súa *Philosophy of Physics* (1973). Por exemplo, a axiomatización da mecánica cuántica pon en evidencia que o bendito "observador" dos libros de texto non está en ningún lado. A mecánica cuántica non é "subxectiva": o mundo non existe, como pensaba Berkeley, porque o observamos. É ao revés: podemos observalo porque existe. O observador non desempeña ningún papel na mecánica cuántica. Bunge sinalou isto incontables veces, e aínda hoxe seguimos oíndo sobre a su-

posta relación entre a conciencia do observador e a “función de onda” ou peor aínda, sobre o seu colapso. Síntoo magufos, divulgadores de medio pelo e fisicastro: a función de onda non “colapsa”. Como vai colapsar se é un obxecto matemático, isto é, un obxecto conceptual? Colapsan os países como o meu, os nervios, e os edificios, pero a función de onda? a función de onda é unha función complexa en espazo infinito-dimensional! Bunge mostrou coa súa axiomática que o que pode evolucionar, en todo caso, é o sistema cuántico por interacción coa súa contorna, pero non a función de onda. A ecuación dinámica da mecánica cuántica refírese a sistemas físicos, cousas como electróns ou fotóns. A función de onda, como postulou Born, simplemente dá a probabilidade de que o sistema estea en tal ou cal estado, cando a ecuación se resolve para tal ou cal conxunto de condicións de contorno. A relación coa contorna, Bunge sinala correctamente, debe ser non lineal, e non pode por tanto ser descrita pola función de onda que satisfai unha ecuación lineal. Para estudar a relación entre o sistema cuántico e a contorna fai falta unha teoría cuántica da medición. Moito despois de que Bunge escribise a *Foundations*, desenvolveuse a teoría da decoherencia, que mostra como as propiedades cuánticas se perden rapidamente cando sistemas de moitas partículas interactúan con sistemas complexos.

Nos seus libros e artigos, Mario demoleu moitos mitos populares sobre a mecánica cuántica e as súas interpretacións. Sinalou, por exemplo, que as desigualdades de Heisenberg son un teorema, non un principio, e que de incerteza (unha propiedade de certos cerebros), non teñen nada, como nada ten que ver a observación con elas, xa que se deducen da non conmutatividade dos operadores cuánticos e a desigualdade (puramente matemática) de Schwarz. Sinalou como a función de onda do famoso gato de Schrödinger non existe: o que existe é un garabato que algúns extraviados escriben no seu lugar e á que atribúen propiedades cuánticas. É o mesmo que escriban  $\langle \text{Psi} | \text{gato}$  que  $\langle \text{Psi} | \text{Xúpiter}$  ou  $\langle \text{Psi} | \text{salchicha}$ .  $\langle \text{Psi} |$  debe ser unha expresión matemática que satisfaga a correspondente ecuación. Nun sistema tan complexo como un gato, as propiedades cuánticas desapareceron a un nivel de composición apenas por arriba do dunha molécula. De alí que os gatos non estean en superposicións de estados cuánticos. Aínda que o seu dono sexa Schrödinger.

En obras posteriores (por exemplo, *Controversias en Física e Mind and Matter*) Bunge ocúpase do paradoxo EPR, as desigualdades de Bell, a suposta violación do realismo polos experimentos de Aspect e similares, e o chamado *entanglement* ou entrelazamento cuántico. Bunge sempre nos ofrece o mesmo: a resposta máis sensata que se corresponde ao formalismo real da teoría. Sinala, por exemplo, que a refutación das desigualdades de Bell non implica que non é válido o realismo, senón que as teorías deterministas con variables ocultas son incompatibles coa suposición de localidade. A mecánica cuántica é claramente non local. Pero iso non implica problema para unha interpretación realista, a menos que se teña unha concepción clasicista do realismo, algo que certamente non é o caso da interpretación de Bunge.

Seica poderíamos dicir que a interpretación de Bunge é a máis directa e simple de todas as propostas. Poderíamos dicir que é unha interpretación realista non local cunha ontoloxía *sui generis*, os seus famosos “cuantóns”. Bunge interpreta aos operadores da mecánica cuántica como obxectos matemáticos que representan propiedades

físicas dos referentes da teoría: sistemas cuánticos *sui generis*. Estes obxectos non teñen por que compartir as propiedades dos sistemas clásicos. Baixo certas circunstancias poden comportarse *coma* se fosen partículas e baixo outras *coma* se fosen ondas, pero non son nin ondas nin partículas, que son obxectos clásicos. Moito menos son ambas as cousas á vez. Os cuantóns son obxectos cuánticos, singulares, con propiedades cuánticas diferentes das clásicas. O *spin*, por exemplo, non é momento angular intrínseco do sistema cuántico: os sistemas cuánticos non rotan. O *spin* *parécese nalgúns aspectos* ao momento angular intrínseco dun obxecto clásico, pero é unha propiedade cuántica. O mesmo sucede coas demais propiedades, excepto a enerxía, que segue sendo a capacidade de cambiar do sistema. A enerxía, para Bunge, é a única propiedade realmente universal. É a que comparten todos os existentes. No dominio cuántico é unha propiedade discreta e, consecuentemente, os “cuantóns” cambian discretamente.

Como é posible que un sistema cuántico composto, preparado nun certo estado, permaneza dalgunha maneira ligado, aínda longo tempo despois de ser separado, mesmo se a separación é tal que fai imposible calquera interacción directa ou causal? Cal é a orixe do *entanglement* cuántico? Antes de ver como responde Bunge, debo remarcar certos feitos que adoitan sortearse. 1) O *entanglement* non é universal (como a acción gravitacional, digamos); ocorre só entre sistemas cuánticos que foron preparados de certa maneira. 2) Non implica propagación de enerxía a unha velocidade maior que a da luz. 3) Non implica un cambio de estado do sistema nin unha acción a distancia. 4) Non pode usarse para transmitir información.

Vexamos un exemplo de *entanglement* sinxelo. Consideremos unha fonte de luz non polarizada que emite fotóns en todas direccións. Supoñamos que dous fotóns saen en direccións opostas. A súa polarización total, pola forma que foron producidos, é nula. Cada un dos fotóns, con todo, ten unha polarización igual e oposta. A mecánica cuántica implica que un deles ten unha probabilidade  $\frac{1}{2}$  de ter unha polarización (e unha probabilidade tamén  $\frac{1}{2}$  de ter a polarización oposta (-) — os fotóns teñen só dous modos de polarización—. Supoñamos que determinamos que a polarización é (-). Entón, concluimos con probabilidade 1 que o outro fotón ten polarización (+). Con todo, a mesma teoría da mecánica cuántica predi que se o outro fotón é un sistema independente, a súa probabilidade de estar no modo (+) non é 1 senón  $\frac{1}{2}$ . Os experimentos mostran que o segundo fotón está sempre no estado que corresponde á preparación inicial, independentemente de cal sexa a determinación do estado do primeiro fotón. O sistema segue “conectado” dalgunha maneira.

En realidade non hai conexión, senón correlación non local: unha vez que se formou un estado entrelazado, o sistema permanece entrelazado independentemente da separación espacial das compoñentes. Contradi o sentido común? Pois si. E non é o único que o contradi no mundo cuántico, o cal non debería sorprendernos, xa que o sentido común se forxou coa experiencia nun mundo diferente, o macroscópico, ao que chamamos “clásico”. Cando especificamos o estado do primeiro fotón, especificase o estado do segundo, de acordo ao sistema inicial. Unha vez que unha interacción destruíu o entrelazamento, as compoñentes sepáranse e deixa de haber correlacións. Fago notar que se queremos usar o entrelazamento para transmitir información máis rápido que a luz fracasaremos: non hai forma de que no momento que se mide a segunda polarización se

saiba o valor da primeira. Esa información só pode transmitirse á velocidade da luz, como sempre. Tampouco hai “traballo” instantáneo sobre o segundo fotón realizado polo primeiro. Non hai cambio de estado, senón especificación do estado na segunda determinación. Se hai traballo sobre o fotón, faio o segundo detector, localmente.

Bunge, pois, convídanos a aceptar o mundo real como é: non local, legal (obedécense as leis representadas pola mecánica cuántica), e independente dos suxeitos cognoscentes: dá o mesmo que o segundo fotón sexa rexistrado por un instrumento ou interactúe naturalmente. Todos estes procesos ocorrían antes de que o ser humano suxira sobre a terra, e seguirán ocorrendo moito despois de que desaparecese.

A posición de Bunge comparouse ás veces coa de Sir Karl Popper. Aínda que é certo que Popper, como Bunge, era realista na súa interpretación da mecánica cuántica, pensaba que a función de onda se correspondía a unha colección de partículas e non a obxectos cuánticos individuais. Nese sentido, a posición de Popper era similar á do físico americano Leslie E. Ballentine, no seu libro *Quantum Mechanics: A Modern Development* (World Scientific, Singapore, 1998). Popper, por outra banda, estaba disposto a aceptar que certos fenómenos cuánticos teñan unha relevancia para explicar a natureza da conciencia, algo por demais inaceptable para Bunge.

A maior parte de *Foundations of Physics* está dedicado a teorías clásicas da física, como a mecánica, a electrodinámica, e a teoría xeral da relatividade. Na análise que Bunge realiza destas teorías poden albiscarse as ideas xerais subxacentes ao que logo conformaría o núcleo da súa ontoloxía, expresada nos volumes 3 e 4 do *Treatise*. Bunge considera que os compoñentes do mundo son corpúsculos e campos. A forma de composición dos mesmos é diferente: os campos superpóñense, mentres que as partículas se xuxtapoñen (as clásicas polo menos). A análise que Bunge ofrece das teorías de campo é particularmente iluminante. Separa claramente o concepto matemático de campos do concepto físico. Un campo matemático é un obxecto conceptual que satisfai unha teoría que incorpora un principio de mínima acción e unha densidade lagrangiana. Un campo físico, en cambio, é un obxecto real. Bunge distingue tres tipos de teorías de campos en física: teorías de campos puras, materiais e mixtas. As primeiras teñen como referentes obxectos físicos que non poden ser eliminados por meros cambios no sistema de referencia adoptado na formulación dun modelo da teoría. Os segundos campos, os materiais, representan propiedades de sistemas materiais estendidos. Exemplos de campos puros son o electromagnético e o gravitacional. Exemplos de campos materiais, o campo de velocidade dun fluído e o campo de temperaturas dun corpo. Non é posible eliminar o campo electromagnético ou o gravitacional en forma global mediante un cambio da nosa descrición da natureza. En cambio, todo o que dicimos dos campos materiais podemos dicilo en termos de partículas, polo menos en principio. As teorías de campos mixtas son aquelas que combinan campos puros con materiais, por exemplo o macro-electromagnetismo.

A análise que fai Bunge do campo electromagnético é notablemente lúcido. Entre outros puntos, sinala que a teoría non contén propiamente a hipótese de que as cargas son *fontes* do campo. Estritamente, a teoría electromagnética é unha teoría das interaccións entre os campos e as partículas cargadas. A hipótese de que as cargas son fontes do campo débese agregar ás ecuacións de Maxwell a fin de poder descartar as contribucións avanzadas (determinadas por sucesos futuros) ás solucións da ecuación D'alambert-

tiana inhomoxénea de campo por medio da aplicación do principio de causalidade. Está hipótese é lóxica, ontolóxica e epistemoloxicamente independente do resto da teoría. Algo similar sucede coa teoría xeral da relatividade: a hipótese de que a materia é a causa da curvatura do espazo-tempo (campo gravitacional) é *a posteriori*. Bunge sinala outros puntos escasamente comprendidos en conexión coa relatividade xeral. Por exemplo, que a diferenciación entre masa gravitacional e inercial é unha mera conxectura, refutada pola experiencia, e de alí que a identidade de “ambas” masas non é unha lei. De feito, non hai tales masas. Bunge sinala ademais o carácter meramente heurístico do principio de equivalencia (que pode ser derivado como teorema na súa axiomática), clarifica que o principio de covariancia xeral é un enunciado meta-nomolóxico (ou sexa, un enunciado prescritivo para a formulación de leis *básicas*), a incompletitude da teoría, o feito de que non é só a materia a que determina a xeometría do espazo-tempo senón a materia máis as condicións iniciais e de contorna<sup>1</sup>, e finalmente que a existencia de ondas gravitacionais é compatible coa teoría, pero non é un teorema directo da mesma. Co descubrimento das ondas gravitacionais en 2016, Bunge modificou a súa visión da ontoloxía da relatividade xeral, admitindo a identidade do espazo-tempo e o campo gravitacional (Bunge 2016). Con todo, mantivo a súa posición “presentista”, no sentido de que pensa que só os eventos presentes existen, e non así os futuros e pasados (contrariamente aos sostido polos “substantivalistas” e a maioría do realistas respecto ao espazo-tempo).

Ao longo de máis de 70 anos Mario Bunge leva investigado os fundamentos da física. A diferenza doutros filósofos dedicados á filosofía desta ciencia, Bunge investigou en física e foi profesor universitario de física. Isto deulle unha visión e unha profundidade únicas neste campo. Tamén, en certa forma, illoulle dos seus pares, máis proclives ás discusións semánticas. A 50 anos da súa publicación, *Foundations of Physics* segue sendo un libro de enorme profundidade e xenerosidade. Ninguén que se acheque a el sairá cunha man chea de nada e outra cousa de ningunha. Eu mesmo, ao relelo para escribir este artigo, volvíñ sentir a súa luz extraordinaria, tal como naqueles días memorables da miña mocidade.

### **Bibliografía básica de Mario Bunge en física e filosofía da física<sup>2</sup>**

- Bunge, Mario (1939). «Introducción al estudio de los grandes pensadores», Conferencias, III, págs. 105-109 y 124-126.
- (1943). Significado físico e histórico de las ecuaciones de Maxwell, Buenos Aires, Universidad Obrera Argentina.
- (1944a). «Una nueva representación de los tipos de fuerzas nucleares», Revista de la Facultad de Ciencias Físicomatemáticas, págs. 221-239.

<sup>1</sup> Notar que aínda que o tensor de enerxía impulso  $T_{ab}$  sexa nulo, as ecuacións de Einstein  $R_{ab} - 1/2 R g_{ab} = 0$  admiten solucións con  $g_{ab} \neq 0$ . De feito, nin sequera cando o propio tensor de Riemann (formado con derivadas segundas da métrica) é nulo, o campo desaparece, xa que hai solucións con  $g_{ab} = \text{constante}$ .

<sup>2</sup> Inclúense os artigos e libros citados e outros relevantes ao tema discutido neste artigo. A lista é incompleta.



- (1944b). «A new representation of types of nuclear forces», *Physical Review*, 65, pág. 249.
- (1945). «Neutron-proton scattering at 8.8 and 13 MeV», *Nature*, 156, pág. 301.
- (1951a). «What is chance?», *Science and Society*, 15, págs. 209-231.
- (1955a). «A picture of the electron», *Nuovo Cimento*, ser, X, 1, págs. 977-985.
- (1955b). «Strife about complementarity», *British Journal for the Philosophy of Science*, 6, págs. 1-12 y 141-154.
- (1955c). *La edad del universo*, La Paz, Laboratorio de Física Cósmica.
- (1955d). «Exposición y crítica del principio de complementaridad», *Notas del Curso Interamericano de Física Moderna*, págs. 27-36, La Paz, Laboratorio de Física Cósmica.
- (1956b). «A survey of the interpretations of quantum mechanics», *American Journal of Physics*, 24, págs. 272-286.
- (1957). «Lagrangian formulation and mechanical interpretation», *American Journal of Physics*, 25, págs. 211-218.
- (1959b). *Causality: The Place of the causal Principles in Modern Science*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- (1960a). «Levels: A semantical preliminary», *Review of Metaphysics*, 13, págs. 396-406.
- (1960b). «The place of induction in science», *Philosophy of Science*, 27, págs. 262-270.
- (1960c). *Cinemática del electrón relativista*, Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán
- (1961). «Laws of physical laws», *American Journal of Physics*, 29, págs. 518-529.
- (1962a). «Cosmology and magic», *The Monist*, 44, págs. 116-141.
- (1966). «Mach's critique of Newtonian mechanics», *American Journal of Physics* 34, págs. 585-596.
- (1967a). *Foundations of Physics*, Berlín/Heidelberg/Nueva York, Springer-Verlag.
- (1967b). *Scientific Research*, Berlín/Heidelberg/Nueva York, Springer-Verlag.
- (1967c). «Physical axiomatic», *Reviews of Modern Physics*, 39, págs. 463-474.
- (1967d). «Analogy in quantum mechanics: From insight to nonsense», *British Journal for the Philosophy of Science*, 18, págs. 265-286.
- (1967e). *Delaware Seminar in the Philosophy of Science*, Berlín/Heidelberg/Nueva York, Springer-Verlag.
- (1967f). «The structure and content of a physical theory». In M. Bunge, Ed., *Delaware Seminar in the Foundations of Physics*, pp. 15-27. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1967.
- (1967g). «Quanta y filosofía», *Crítica*, 1 (3), págs. 41-64.
- (1968a). «Physical time: The objective and relational theory», *Philosophy of Science*, 35, págs. 355-388.
- (1969a). «Corrections to Foundations of Physics: Correct and incorrect», *Synthese*, 19, págs. 443-452.
- (1970). «Problems concerning inter-theory relations», en P. Weingartner y G. Zecha (comps.), *Induction, Physics and Ethics*, Dordrecht, Reidel, págs. 285-315.
- (1973a). *Philosophy of Physics*. Dordrecht, Reidel.
- (1973b). *Method, Matter and Model*. Dordrecht, Reidel.
- (1974c). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 1, *Sense and Reference*, Dordrecht/Boston, Reidel.

- (1974d). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 2, *Interpretation and Truth*, Dordrecht/Boston, Reidel.
- (1977c). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 3, *The Furniture of the World*, Dordrecht/Boston, Reidel.
- (1979c). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 4, *A World of Systems*, Dordrecht/Boston, Reidel.
- (1983c). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 5, *Exploring the World*, Dordrecht, Reidel.
- (1983d). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 6, *Understanding the World*, Dordrecht, Reidel.
- (1985a). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 7, parte I, *Formal and Physical Sciences*, Dordrecht, Reidel.
- (1985b). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 7, parte II, *Life Science, Social Science, and Technology*, Dordrecht, Reidel.
- (1989e). *Treatise on Basic Philosophy*, vol. 8, *The Good and the Right*, Dordrecht/Boston, Reidel.
- (2002a). «Twenty-five centuries of quantum physics: From Pythagoras to us, and from subjectivism to realism», *Science and Education* 12, págs. 445-466.
- (2002b). «Quantons are quaint but basic and real», *Science and Education*, 12, págs. 587-597.
- (2003b). «Velocity operators and time energy relations in relativistic quantum mechanics», *International Journal of Theoretical Physics*, 42, págs. 135-142.
- (2006). *Chasing Reality: Strife over Realism*, Toronto, Toronto University Press.
- (2010). *Matter and Mind*, Boston Library in the Philosophy of Science, nº 287.
- (2015). «Does the Aharonov–Bohm Effect Occur?», *Foundations of Science*, 20, Issue 2, págs. 129–133.
- (2016). «Gravitational Waves and Spacetime», *Foundations of Science*, en prensa.
- y Kálnay, Andrés J. (1969). «A covariant position operator for the relativistic electron», *Progress of Theoretical Physics*, 42, págs. 1.445-1.459.
- y— (1983a). «Solution to two paradoxes in the quantum theory of unstable systems», *Nuovo Cimento*, B77, págs. 1-9.
- y— (1983b). «Real successive measurements on unstable quantum systems take nonvanishing time intervals and do not prevent them from decaying», *Nuovo Cimento*, B77, págs. 10-18.
- y García Maynez, A. (1977). «A relational theory of physical space», *International Journal Theoretical Physics*, 15, págs. 961-972.



Gustavo E. Romero  
Investigador Superior de CONICET no Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), C.C. No. 5, 1894 Villa Elisa, Buenos Aires, Argentina.  
gustavo.esteban.romero(at)gmail.com