

## Potencial y virtual\*

Marc Richir

Traducción por Javier Arias Navarro (Escuela de Lógica, Lingüística y Artes del Lenguaje de Asturias)

No cabe duda de que, desde hace poco menos de un siglo, la Física, de instauración moderna, en el siglo XVIII, entra en un período de “crisis”, es decir, de profunda revolución. No hay ninguna duda, ya no, de que esta revolución se acelera y profundiza desde hace poco más de cuarenta años, viniendo justamente a poner en cuestionamiento los presupuestos “clásicos”, que parecían los más “naturales”. De la primera mecánica cuántica, la de los fundadores, a la teoría cuántica de campos, y de ésta a las teorías de su unificación, el ascenso es vertiginoso y proclive a arrastrar a cierta embriaguez a la cabeza más fría. Y, sin embargo, a través de esta suerte de “saltos cualitativos”, la mecánica cuántica sigue siendo una *Física*, es decir, una teoría matemática, paradójica y compleja, de los hechos observados. Reformulándolo en otros términos, al cambiar el ángulo desde el que se atacan los problemas, la teoría no deja de afrontar, en último término, sus paradojas fundantes, una de cuyas expresiones condensadas está contenida en las relaciones de indeterminación de Heisenberg. En esta época nuestra de desarrollo, de múltiples extravíos de los pensamientos y de las prácticas, la mecánica cuántica ofrece el ejemplo, prodigioso, de una tradición que se perpetúa a través de sus mutaciones internas y que, a su vez, en contrapartida, aporta un esclarecimiento esencial sobre las bases, que han permanecido hasta la fecha sin explicitar, de la física clásica, pre-cuántica.

Esto no puede por menos de suscitar una suerte de confusión persistente en lo tocante a la relación entre física y filosofía. En la medida en que la mecánica cuántica – señaladamente, a propósito del vacío – lleva a poner en tela de juicio las “evidencias” del sentido común, el teórico de la física está presto a concluir que el desarrollo de aquella pone en cuestión, al mismo tiempo, los conceptos fundamentales de la filosofía y a proclamarse, por así decir, supuesta garante de la verificación por lo “real” (el experimento), como “a la vanguardia” del progreso del pensamiento, destronando a la filosofía, tradicionalmente (e ideológicamente) la supuesta “reina de las ciencias”. O, si es el caso, y en la medida en que la filosofía, con su instauración, no ha jugado ese papel más que como onto-teología, el teórico de la física, acaso demasiado presuntuoso, debería saber que su teoría devendrá teología (al ser matemática la lengua divina) – y es eso lo que se trasluce de modo incontestable en ciertas especulaciones, por ejemplo en cosmología. Por otro lado, dicha confusión habrá llegado al colmo, porque, si el sentido común *de hoy en día* está, a su manera, penetrado de filosofía, en tanto que se pretende y se piensa como “racional” y “razonable”, dicha penetración jamás se piensa o elabora por sí misma, a menos que sea, precisamente, a través de una elaboración *filosófica*, que es una filosofía siempre necesariamente *marginal*, más o menos prudentemente mesurada, del sentido común. Lo que se pone en tela de juicio por la mecánica cuántica no es propiamente la filosofía misma, sino la *creencia*, que a decir verdad se encuentra en vías de extinción entre los filósofos de hoy en

\* NdT: Presentamos aquí una versión mejorada de nuestra traducción de este mismo artículo aparecida en el número 40 de *Eikasia*. Agradecemos la ayuda de Pablo Posada, que nos ofreció valiosos consejos de traducción. El texto de Richir apareció en 1998 en la *Revue de l'Université de Bruxelles*. La versión original del artículo puede consultarse en la página sobre Richir [www.laphenomenologierichirienne.org](http://www.laphenomenologierichirienne.org) puesta en marcha por Sacha Carlson.

día, de que la filosofía puede proporcionar la ciencia absoluta – creencia reforzada por la ignorancia, puesto que esta última no sabe que ya Kant, a fines del siglo XVIII, la sacudió en sus fundamentos. Sería, pues, deseable que a la condescendencia de los “filósofos” respecto de los “científicos”, no la sustituyera la condescendencia inversa. Y ello tanto más por cuanto ocurre que, si los filósofos son, por lo general, ignorantes en materia de física, los físicos deben admitir que son, por lo general, ignorantes en materia de filosofía. Situación en parte desastrosa, ciertamente, que heredamos del siglo XIX, y para la cual no hay ninguna “explicación”. Se podrían discutir los remedios, mas no es ese nuestro propósito aquí.

Debemos, por tanto, admitir, a modo de preliminar, que ya no hay “ciencia absoluta”, que ya no hay “filosofía absoluta” – crearlo, a día de hoy, es cosa de la ideología, esto es, a extensiones ilícitas de los lenguajes (matemático, “natural”) más allá de sus contextos y de sus referencias en contexto, extensiones que tienen por efecto confundir y, por ende, conducir a no saber ya muy bien *qué* se piensa y *a propósito de qué* se piensa. Si hay algo que nos ha enseñado la filosofía desde hace poco más de un siglo, es que ya nadie posee el *arché*, y los tiempos presentes muestran cuán difícil es continuar filosofando cuando la cacofonía reinante rehúye toda dificultad o toda sutileza. Es todavía un efecto de la ideología el de creer que la dificultad de la “ciencia” es legítima, en tanto que la de la filosofía no lo sería. El público culto no debería decepcionarse por la renuncia a una posesión del *arché*, sino que debería reconocer en ello una ganancia en lucidez, incluso si la contrapartida es, sugerimos nosotros, la extrema sutileza de la filosofía del sentido común. De la otra parte, o sea, la de la Física, con la evolución de las teorías cuánticas, ya no se puede decir que el teórico posea el *arché*, el principio, puesto que las teorías en cuestión no han sino reformulado de otra manera las mismas paradojas fundantes. Éstas surgieron de haber tomado en cuenta los dos “aspectos” corpuscular (propio de las partículas) y ondulatorio de los “comportamientos” de la “materia” bajo ciertas condiciones experimentales y, como siempre sucede en Física, sin preguntarse jamás por la significación *en general* de dicha “complementariedad” y de dicha “inseparabilidad” — incluso si las remodelaciones de la teoría han aportado, en cierto sentido, ulteriores especificaciones, que sólo aclaran en la medida en que las mismas paradojas, de por sí insolubles en tanto que irreductibles, adquieren otras formas, a veces inquietantes y vertiginosas. Es esto lo que, en cualquier caso, quisiéramos aquí mostrar a propósito del par “potencial / virtual” — emparejados porque, a nuestro parecer, la confusión de estos dos términos, prácticamente sinónimos para el sentido común, conduce a una inflación especulativa de la teoría, a la tendencia a la desaparición de todo referente físico definible.

De modo clásico, en la conceptualidad filosófica inaugurada por Aristóteles, el término “potencial” está ligado en un par al término “actual”. La potencia, *potentia*, *dýnamis*, está vinculada al acto, *actus*, *enérgeia*, en tanto que el ser en potencia es en potencia del acto, del ser-en-acto. Lo cual significa dos cosas: 1) que, en la medida en que la potencia es “despertada” por algo, en acto a su vez (por ejemplo; el pedagogo), pasará al acto (en el mismo ejemplo: la Ciencia) como a aquello en que alcanza cumplimiento; eso, supuesto que dicho paso, que es movimiento, sea él mismo *teleológico*, “finalizado” porque es aquello de lo que es potencia (otro ejemplo: hay que plantar el grano, planta en potencia, para que, nutrido por el humus, crezca hacia la planta en acto); 2) que, puesto que la potencia es siempre potencia *de un acto*, no se puede *hablar* de la potencia más que *desde el acto* (se hablará

de un grano de tal o de tal planta en acto, se dirá que el alumno aprende esto o aquello al contacto con el pedagogo). De la potencia en tanto que potencia, o de la potencia sin acto, no se puede pues hablar positivamente dentro de esa conceptualidad que tiene la virtud de ser clara y rigurosa. Y si, como Aristóteles, hablamos de “materia primera”, es precisamente ella la que está radicalmente indeterminada, por cuanto debería supuestamente contener todas las potencias, luego ser susceptible de efectuar, mediante actualizaciones dadas en un desorden indescriptible, todos los pasos *a priori* posibles al acto (*a priori* puesto que no se puede hablar de las potencias si no es a partir de los actos, únicos que fehacientemente “son”). Al borde del no-ser, la “materia primera” no es, por tanto, una “reserva” de potencias que sería incapaz (impotente) de producir por sí misma, sino, por así decir, el “receptáculo” de éstas: no es, pues, la potencia de potencias, ya que, para Aristóteles, la potencia por sí misma nada puede. Esto responde en parte al sentido común, que sabe que no basta que una cosa sea posible para que se cumpla. Lo potencial sólo es pensable por lo actual, y no se torna actual sino en virtud de la puesta en juego de algo actual (que no se confunde necesariamente con aquello de lo que lo potencial es potencial), como ilustra el ejemplo de la planta, a pesar de que el grano haya sido necesariamente producido por una planta en acto).

¿Por qué desempolvar estas viejas definiciones? Por una parte, porque son las únicas rigurosas; por otra, porque nos las volvemos a encontrar casi tal cual en mecánica cuántica, en el momento en que, durante su fundación, ésta se arroga el ser una teoría de los *observables*. Lo que, en el marco de la teoría, es real o *actual* es aquello que se *observa* con un aparato de medida. Pero, siempre conforme a dicho marco, marco en el que es preciso tener en cuenta las condiciones experimentales precisas de la observación de un sistema físico  $S$ , en el que, por tanto, y en general, se prepara el sistema  $S$  para la observación, por ejemplo mediante la estabilización suficientemente precisa de su energía, sólo hay observable significativo (no uno cualquiera o uno aberrante), si dicha preparación *teleológica*, puesto que no lo es más que en vista de la medición, permite discernir, en el sistema  $S$ , transiciones cuánticas observables, que son, por ende, *potencialidades* de observación, cuyo cálculo teórico permite prever *a priori* las probabilidades de ocurrencia. En general, un sistema  $S$  puede ser descrito *matemáticamente* por un vector de estado  $|\psi\rangle$  que puede siempre, bajo la acción de un operador  $A$  con ciertos valores propios definidos (que se pueden hallar mediante el cálculo), descomponerse en la suma vectorial de vectores elementales ortonormales (vectores propios) afectados por coeficientes que indican la amplitud de probabilidad de cada uno de los estados propios del sistema, correspondiendo cada vez a un valor propio del operador  $A$ . En el caso en que, por ejemplo, el operador  $A$  es el operador hamiltoniano  $H$  (energía) y en que el sistema no se ve afectado por perturbación alguna de la energía (caso, como se verá, puramente teórico), eso significa, por una parte, que si el sistema se encuentra en el instante  $t$  en el estado  $E_n$  de energía, permanecerá siempre así, *aparte de toda perturbación ulterior* (lo que significaría que la probabilidad de ocupación del estado  $E_n$  del sistema sería igual a 1, a la certidumbre), y, por otra parte, puesto que, en general, el vector de estado del sistema no será un vector propio, que dicho vector de estado  $|\psi\rangle$  puede descomponerse en la suma de vectores de estado  $|\psi_n\rangle$  correspondientes cada uno a un valor definido (valor “propio”)  $E_n$  de energía, el cuadrado del módulo de la proyección del vector de estado sobre el vector propio correspondiente a un valor propio de la energía que arroja la probabilidad (esto es, la probabilidad cuantificada) de ocupación de ese valor de energía por el sistema  $S$  descrito por  $|\psi\rangle$ , y ello según la *misma* unidad de tiempo. Como

la suma de estas probabilidades no puede ser sino igual a 1, ello significa, *a priori*, que el sistema puede, *potencialmente, a priori*, encontrarse en diferentes estados propios de energía  $E_n$ , aunque, *a posteriori* (en el caso de una medición real) un sistema  $S'$  completamente individual (por ejemplo, un átomo de hidrógeno) no se puede encontrar más que en un único estado  $E_n$  de energía (del mismo modo que jugando a los dados no se saca más que un solo número) y siempre se encontrará en él (como ocurre con la cara del dado obtenida) en ausencia de *toda* perturbación ulterior. Que  $|\psi\rangle$  no sea un vector de estado propio no significa sino que el operador hamiltoniano  $H$  no se halla en su estado “diagonal”, por lo tanto, que su operación sobre el estado  $|\psi\rangle$  hace intervenir las interacciones entre los estados propios  $m$  y  $n$  en relación a las cuales se representa, interacciones que expresamos como “interferencias” entre las amplitudes de probabilidad de los estados  $m$  y  $n$ , cuyo resultado, las probabilidades de *transición* entre los estados  $m$  y  $n$ , puede obtenerse *a priori* mediante el cálculo. Si el  $\Delta E$  aportado por el dispositivo de preparación del sistema para la medida experimental es una constante respecto del tiempo, cabe demostrar que el vector de estado puede siempre estar representado en relación al *mismo* sistema de estados propios, y que las probabilidades de transición lo son siempre entre los mismos. Si  $\Delta E$  varía respecto del tiempo, veremos que ya no sucede lo mismo, que el nuevo hamiltoniano tendrá otro sistema de estados propios.

Esta es una manera particularmente cómoda y elegante de llevar o dirigir el tratamiento teórico de un caso experimental dado, otorgándose, en general, la posibilidad de representar el vector de estado de un sistema en términos de vectores propios y de valores propios de un operador  $A$  en el caso en que su estado (que, en general, no es un estado propio) se supone *definido* (por  $H$ ; en el caso en que su estado de energía se supone definido como constante en el tiempo). Por utilizar la imagen “ondulatoria” de la teoría, se dice lo siguiente: mientras que un oscilador armónico (por ejemplo, un instrumento de música) es capaz de emitir la frecuencia fundamental y sus armónicos (modos estacionarios) según ciertos coeficientes de intensidad, un sistema cuántico tiene, en sus condiciones específicas, la capacidad de ocupar uno u otro (disyunción exclusiva) de sus estados propios con una cierta probabilidad cada vez: no puede (aspecto de la teoría referente a las partículas) ocupar actualmente múltiples estados propios a la vez.

¿Qué sucede, sin embargo, *en general*, en el caso de una experiencia real (actual) que tiene por efecto, decíamos, hacer pasar lo potencial a actual? En primer lugar, toda experiencia real pone en juego, como sistema  $S$ , poblaciones de sistemas individuales  $S'$ , y es observación actual (medida) de dichas poblaciones, por tanto, observación *estadística* de los observables. El sistema colectivo  $S$  será, pues, siempre tal sólo para las condiciones experimentales *definidas* en función de las variables físicas en cuestión, los  $S'$  individuales se hallarán en diferentes estados propios del operador  $A$  con sus ponderaciones probabilísticas, y ello, por tanto, incluso si la inferencia es matemáticamente infundada, con una distribución estadística correspondiente a los estados propios. Habrá en tales condiciones experimentales definidas más sistemas  $S'$  definidos en el estado propio mínimo, por ejemplo, de energía  $E_0$  (estado llamado “fundamental”) que en uno u otro estado de energía  $E_f$  “excitado”. Por consiguiente, y esto resulta aún mucho más importante, lo que será actualmente *observado* como tal en un aparato de medición no será tal o cual estado propio con su densidad de probabilidad, sino las *transiciones* cuánticas entre tal y cual estado

propio, con sus intensidades, que corresponden a los coeficientes de probabilidad o a las frecuencias estadísticas relativas a dichas transiciones. Y para observar tal efecto, hace falta precisamente un aparato real, cuya puesta en acción (en acto) pueda modificar las potencialidades del sistema  $S$ , haciéndolas pasar de la potencialidad a la actualidad (el estado del sistema en el instante de la medición resulta de su interacción cuántica con el dispositivo experimental de preparación y de medida).

Para simplificar nuestras consideraciones consideraremos que el operador  $A$  es el operador hamiltoniano  $H$  sobre los estados de energía del sistema, y que los valores propios correspondientes a los vectores propios del estado son los valores propios de energía del sistema. En tal caso, se sabe que una transición entre  $E_i$  y  $E_f$  de un estado propio inicial a un estado propio final es *observable* de manera clásica mediante la creación (la emisión) de un fotón de energía  $h\mu_{if} = E_i - E_f$  si  $E_i > E_f$ , y mediante la aniquilación (la absorción) del mismo fotón si  $E_i < E_f$ . Por tanto, si la modificación del balance de energía del sistema es constante a través del tiempo (caso particular en que las variaciones de los elementos de las matrices no diagonales del operador  $H$  de energía son directamente proporcionales al tiempo por medio de una constante), si, por ejemplo, hacemos caer sobre él un haz de fotones  $h\mu_{if}$ , una parte de éstos será absorbida por el sistema (colectivo)  $S$ , que será “excitado” del nivel  $E_i$  al nivel  $E_f$ , según una determinada probabilidad (y una determinada frecuencia estadística) por unidad de tiempo, que puede calcularse *a priori* (probabilidad de transición entre  $i$  y  $f$ ) mediante la operación constante del operador hamiltoniano  $H$  de energía. Lo que es destacable *en este caso* es, en efecto, que la aportación de una diferencia de energía  $\Delta E = h\mu_{if}$  al sistema  $S$  no modifica los estados propios del sistema colectivo, sino los “números” de su ocupación. Para toda perturbación de energía de este tipo ( $\Delta E = h\mu_{if}$ ) se podrá, pues, observar de hecho el espectro de absorción del sistema  $S$ , dado que todo sistema individual  $S'$  en el estado  $E_i$  pasará al estado  $E_f$  al absorber el fotón  $h\mu_{if}$  con una probabilidad igual a 1. A la inversa, si la excitación cesa, y si se espera un  $\Delta t$  suficiente (consistiendo el aparato esta vez en dejar actuar a la variable  $t$  sobre el intervalo  $\Delta t$ ), se observarán las transiciones inversas (en la emisión o en la creación de fotones), con sus respectivas probabilidades, es decir, sus frecuencias estadísticas relativas sobre el intervalo de tiempo  $\Delta t$  (es la medida del espectro de emisión, con sus diferentes “líneas”, cada una teniendo su intensidad, y correspondiendo al número de fotones creados). Los *resultados* de las mediciones para el espectro del átomo de hidrógeno han resultado acordes, de manera llamativa, con las predicciones de la teoría, como es bien sabido.

Todo parece, así, hartamente simple, o cuando menos simplificado por la representación en términos de estados propios de un sistema, bajo las condiciones experimentales *definidas* (en que, como se suele decir, se dispone de “informaciones” necesarias para tratar teóricamente el problema). Esto permite hacerse, en este caso, una “idea” precisa de los estados físicos de un sistema  $S$ , que se pueden entonces referir a sus estados propios, según una proyección matemática que permite calcular las probabilidades de transición, ellas mismas *directamente* con posibilidad de ser observadas. No se debe, sin embargo, perder de vista la paradoja central de la mecánica cuántica: que el sistema individual  $S'$  *pueda* ocupar uno u otro de sus estados propios, con una cierta probabilidad, esto es, según una cierta configuración definida de “interferencias” entre sus estados propios, y que de ahí que haya

probabilidades de transición definidas es ya cosa de admirar — como si Dios, el supuesto autor de las leyes de la naturaleza, “jugase a los dados” según las célebres palabras de Einstein, estando la distribución de las probabilidades de transición por unidad de tiempo en principio definida *a priori* por el cálculo, suponiendo que haya un conocimiento *definido* del operador hamiltoniano  $H$ . Si, en virtud de estas últimas probabilidades, se puede calcular la vida media de un estado, ¿habrá que admitir que un sistema individual  $S'$  se desexcita “espontáneamente” (“emitiendo”, o sea, “creando” una partícula, el correspondiente fotón de energía  $\Delta E$ ) en ausencia de toda perturbación que pudiera causarla? ¿O se tendrá que admitir que todos los demás estados propios, entre los cuales no hay, empero, transiciones, continúan interfiriendo entre sí *sin actualizarse*, permaneciendo en el estado (filosófico) de *potencialidades no realizadas* que tendrían que ser tomadas en cuenta con vistas al cálculo de la probabilidad de desexcitación del estado físico inicial  $E_i$  al estado físico final  $E_f$ ? ¿Y no habría que admitir idéntica cosa en sentido contrario, a saber, la excitación “espontánea”, es decir, bajo la acción de las potencialidades no realizadas del sistema que interfiere, del sistema individual  $S'$ , con absorción (aniquilación) de un fotón (¿pero cuál? dado que no existe físicamente), puesto que, no siendo el vector de estado  $|\psi\rangle$  un vector de estado propio, también se da una probabilidad no nula (por más que débil) de transición entre el estado  $E_i$  y el estado  $E_f$ ? Es bien sabido que todo el enigma de la mecánica cuántica reside en su propio lenguaje probabilístico-estadístico y su propia interpretación, extremadamente delicada, incluso puede ser que imposible *en general*. Porque se sostiene en su adaptación ultraspecializada y sutil, la cual algunos dicen que, en el fondo, nunca ha sido sino “bricolaje” (la astucia es, en efecto, generalmente difícil de distinguir del genio), de lo ondulatorio a lo corpuscular (o mejor: a lo referente a las partículas), y de una reformulación *ad hoc* del formalismo matemático de Hamilton-Jacobi, del cual se pueden “deducir” las famosas relaciones de indeterminación de Heisenberg, verdadera balastrada y piedra de toque de todo el edificio. Hay que decir que el tratamiento del que venimos hablando de los observables como potencialidades cuantificadas del acto de observación parece más bien, de buenas a primeras, el *efecto* casi mágico del lenguaje probabilístico en un nivel teórico acordado con las observaciones reales y no la exposición o puesta en escena propiamente dicha de su “funcionamiento” y de sus implicaciones físicas, en que resurge la paradoja fundamental de la mecánica cuántica.

Dicha paradoja aparece claramente si se considera, con un espíritu afín al de la teoría cuántica de campos (razonamientos en términos de partículas), el caso de la excitación y de la desexcitación del sistema *individual*  $S'$  (con, por ejemplo, la aniquilación o la creación de un fotón). Ese proceso no puede ser, conforme al espíritu de la Física, un proceso enteramente sin causa, es decir, completamente espontáneo: dicha causa no puede ser, como acabamos de ver, más que una suerte de “turbulencia” de estados propios del sistema (en las condiciones dadas) que no puede sino estabilizarse en una configuración *definida* de interferencias entre estados propios, viniendo, en las condiciones experimentales más adversas, a estabilizar los observables (pudiendo el potencial, pues, devenir actual) en torno a ciertas medias estadísticas *definidas*. Esa especie de “turbulencia” no puede, por tanto, evaluarse desde un punto de vista *físico*, si no se la asimila a una perturbación *interna* (si ninguna perturbación externa está en marcha) que modifica el estado del sistema en el curso del tiempo, sin que sepamos cómo, salvo que el potencial perturbador es muy pequeño en relación a la energía global del sistema  $S'$ , y debe ser, en principio, variable en

relación al tiempo. La paradoja es, por tanto, la siguiente: si el sistema  $S'$  es inicialmente describable por el vector propio  $|\psi\rangle$  correspondiente al valor propio  $E_i$ , de su operador hamiltoniano, la acción de la perturbación tiene por efecto transformar el estado del sistema  $S'$ , que tendrá un nuevo vector de estado  $|\psi\rangle$ , y el hamiltoniano en un hamiltoniano perturbado, a los cuales corresponderán los nuevos valores propios  $E'_f$  y nuevos vectores propios  $|\psi'_f\rangle$ . El punto esencial de dicha situación es que la perturbación de la energía ha producido el efecto de barajar *todos* los estados posibles del sistema  $S'$  (por más que sea inicialmente mediante un estado definido), por tanto, de transformar  $|\psi\rangle$  en  $|\psi'\rangle$  y  $H$  en  $H'$  con otros estados propios (los cuales serán observables mediante el filtro de las probabilidades de transición entre niveles de energía propios, en una experiencia ulterior), dejando, por así decir, actuar “en el tiempo” las “interferencias” entre estados. Dicho de otro modo, entonces, por más que el sistema  $S'$  se encuentre, en el estado inicial, en el estado definido  $|\psi_i\rangle$ , *podrá* ser observado ulteriormente en uno u otro de los estados propios  $|\psi'_f\rangle$ , con las amplitudes de probabilidad correspondientes, es decir, en un estado excitado o desexcitado en que nuevos espectros de energía propios  $E'_f$ , en virtud de interferencias entre los estados “mezclados” que *no se consideran como habiendo podido estar “ocupados”*, en vista de las condiciones experimentales de partida, cuando ellas estén definidas. Más exactamente, ciertas transiciones (excitaciones, desexcitaciones) entre niveles  $E'_f$  de energía se tornan *posibles*, con sus respectivas probabilidades, a pesar de que, en las *condiciones experimentales dadas*, en que el sistema  $S'$  ha sido abandonado a sí mismo sin aportación exterior de energía (la perturbación interna ha sido pequeña en relación al balance energético global), dichas transiciones parecen imposibles desde el punto de vista clásico: sea porque parece no haber, en términos de la teoría clásica, causa física alguna reconocible para la desexcitación, sea porque no hay, desde el punto de vista clásico, la energía necesaria para la excitación. ¿Dónde habrá de “buscar” el sistema  $S'$  una “causa” de su desexcitación, si, del estado excitado del primer experimento se encuentra, en el segundo, en el estado fundamental, habiendo encima creado un fotón? ¿Y de dónde tendrá que extraer la energía si, del estado fundamental del primer experimento, vuelve al estado excitado del segundo (con una probabilidad no nula)? La mecánica cuántica responde: mediante interferencias entre vectores de estados mezclados (“ondas de probabilidad” con sus amplitudes, observables solamente en el primer experimento y el segundo) *en el intervalo* temporal entre el primer experimento y el segundo, es decir, sin información definida sobre lo que “pasa”.

Esto significa, si se evalúan las probabilidades de transición entre el estado inicial  $|\psi_i\rangle$  y los  $|\psi_f\rangle$  finales, por lo tanto, entre estado definido por la primera experiencia y estados definidos por la segunda, y donde dicha definición vuelve observables estas transiciones, que la perturbación que hace pasar de  $|\psi_i\rangle$  a  $|\psi_f\rangle$  (y de  $H$  no perturbado a  $H'$  perturbado) ha amplificado y disminuido en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  entre ambas experiencias, ciertas transiciones *que no han podido, en este  $\Delta t$ , ser observables*, dadas las condiciones de la experiencia. O mejor, que no han podido ser *directamente* observables con el dispositivo experimental elegido, en la medida en que son, sin embargo, *indirectamente* observables en las probabilidades de transición entre el estado  $|\psi_i\rangle$  y los estados  $|\psi_f\rangle$  — correspondientes a las medias estadísticas observadas en un sistema colectivo  $S$  de sistemas individuales  $S'$ . Estas transiciones se denominan, como es sabido, transiciones *virtuales*, y no violarían la ley de conservación de la



energía sino en el caso de ser observables en las condiciones de la experiencia — se ve, por el contrario, que contribuyen indirectamente a la conservación de la energía entre el estado inicial y el estado final. Por consiguiente, las transiciones observables (luego potencialmente reales) entre el estado  $|\psi_i\rangle$  y los estados  $|\psi_f\rangle$  ponen en juego transiciones *inobservables* en las condiciones de la experiencia, o sea, transiciones virtuales, es decir, transiciones que *no son llamadas a devenir actuales* en el marco de la experiencia. En términos filosóficos, son, en relación a éstas, *trans-potenciales* (o trans-posibles), si se admite nuestra definición inicial del par potencial / actual en mecánica cuántica.

También se explican las cosas declarando que si las transiciones virtuales no pueden ser observables (potenciales *stricto sensu*) en tal marco experimental, es porque no tienen la energía suficiente para estabilizarse en el intervalo de tiempo dado, o porque, en virtud de la relación de indeterminación de Heisenberg,  $\Delta E \cdot \Delta t$ , permanecen en el estado de *fluctuaciones inestables* en relación a dicho dispositivo experimental, que deja transcurrir un  $\Delta t$  demasiado largo como para que sean directamente observables. Y si los estados que les corresponden, siempre dentro de exactamente el mismo marco experimental, se dicen estados *virtuales*, pueden relacionarse las fluctuaciones temporales de los coeficientes de interferencia (las amplitudes de probabilidad de  $|\psi'_f\rangle$ ), que son observables, potenciales, en las probabilidades de transición entre  $|\psi_i\rangle$  y  $|\psi'_f\rangle$ ) con las fluctuaciones inestables de las transiciones virtuales hacia estados virtuales, y eso implica interferencias entre transiciones potenciales (observables) y transiciones virtuales (inobservables como tales). Mas ello implica también, precisamente, que, en un marco experimental dado, las transiciones virtuales no tienen *ese efecto* observable (potencial) sobre las transiciones potenciales *directamente* observables en la medida en que *no son ellas mismas directamente observables* (potenciales) — tornarlas potenciales (observables) modificaría por completo el marco experimental — ; así pues, “sólo en la medida en que permanecen *irreductiblemente potenciales* en el marco experimental dado, *no susceptibles de pasar al acto*, “a distancia” (en sentido no físico) del acto, una vez más, *trans-potenciales* (o trans-posibles) respecto de las potencialidades de observación (o de las posibilidades de medida) de la experiencia, en tanto que inaccesibles a las mismas”.

Lo *virtual* cuántico, que es coextensivo con *un vacío en relación al marco experimental dado* — vale decir, un *vacío en observabilidad, luego en potencialidad directa de observación* —, es, pues, potencial en tanto que potencial, que ya no es, como sucedía en la teoría clásica, referible inmediatamente al acto de medición del experimentador y, por ende, a la *definición* del teórico, sino que lo es tan sólo *mediatamente*, por los efectos que tiene (los cuales son cuantificables por la teoría y mensurables por la experiencia) sobre lo potencial inmediatamente ligado a lo actual. Los físicos tienen razón al distinguir lo virtual de lo potencial, en virtud de la relación *mediatizada* de lo virtual (suerte de potencial de segundo grado) a la actualidad posible (potencial) de la experiencia. Es éste incluso un punto de vista particularmente fecundo, el de decir que las transiciones virtuales corresponden, en el ejemplo que nos sirve de hilo conductor, a la creación y a la aniquilación de fotones virtuales (directamente inobservables), puesto que, en la teoría de campos (que es volver al aspecto particular), se podrá hablar en términos de “acoplamiento” entre fotones virtuales y fotones reales o, más propiamente, entre creaciones /



aniquilaciones de fotones virtuales y creaciones / aniquilaciones de fotones potenciales — y bien se sabe cómo de bien nos permite, esta forma de hablar, ubicarnos fácilmente en la física de partículas. Es de este modo como se pueden comprender las correlaciones estadísticas entre excitación y desexcitación de un sistema  $S'$ , es decir, las probabilidades de ocupación de los estados  $|\psi_j\rangle$  de un sistema  $S'$ .

Pero si las transiciones observables de un sistema  $S'$  individual, en primer lugar en un estado definido, son, por consiguiente, debidas a una perturbación que le es *interna*, y si, en dicha perturbación entran, como acabamos de ver, las transiciones (de fotones) virtuales, esto significa asimismo que dicha perturbación no es debida a ninguna otra cosa más que a las fluctuaciones cuánticas de aquello que no es, actualmente, observable de forma directa, es decir, a las fluctuaciones cuánticas de lo que se denomina *vacío*. El vacío cuántico es, también, pues, siempre *relativo a condiciones de experiencias correlativas a sus propias potencialidades*. Sería falso decir que está “poblado” de partículas de toda laya, donde bastaría con dedicarse a exhumar todos los recursos *ad hoc*, ya que será un realismo, a fin de cuentas, altamente ingenuo de la teoría el creer que los estados virtuales de las partículas existen “en sí”. Sin embargo, igual de falso sería alegar que un vacío tal no es, con sus estados virtuales y sus partículas virtuales, sino una pura y simple “creación” de la teoría, ya que eso será un idealismo — una suerte de idealismo absoluto — no menos ingenuo de la teoría, y que creería que los estados virtuales o partículas virtuales serían creaciones del espíritu que tendrían efectos indirectamente observables por una suerte de “telepatía” de la teoría sobre la experiencia, hipótesis a la que, por desgracia, se le ha dado pábulo. Es, por tanto, cierto decir que el vacío cuántico tiene, de hecho, un estatuto del todo *paradójico*. Mas dicha paradoja no es sino otra forma, nueva, de la paradoja inicial de la mecánica cuántica, al verse obligada a casar, en la medida de lo posible, ondas y partículas. Conviene, sin duda, más que nunca, permanecer alerta, y recordar las estrictas consignas de los fundadores. Y no es sólo que este concepto de “vacío” sea proclive a hacer sacudir la filosofía, puesto que, primero Maldiney, y nosotros mismos después hemos llegado, *pero por medios completamente diferentes*, a hablar de *transposibilidad*, mas conviene no introducir cualquier género de referencia más o menos vaga y situar el nivel propio y definido en que la mecánica cuántica viene a hablar de virtual y de vacío. Eso es lo que hemos intentado esbozar aquí.

