1.-El problema del cambio

1.1 Introducción

1.1.1 El cambio es omnipresente en la naturaleza. Pero el cambio es también la cuestión más peliaguda con la que el hombre se ha enfrentado.[1] Tan peliaguda que podría ser inconsistente, como se viene reclamando al menos desde los tiempos presocráticos. Evidentemente, si ese fuera el caso, la tarea de explicar el mundo en términos consistentes sería imposible. En este capítulo probaremos que, en efecto, el cambio es imposible de explicar en el marco del continuo espaciotiempo, aunque podría encontrar una solución en ciertos espaciotiempos discretos como los de los autómatas celulares.

1.1.2 Por sencillez, y para evitar discusiones innecesarias, discutiremos aquí el problema de los cambios causales en objetos físicos macroscópicos. Así, si O es uno de esos objetos macroscópicos, diremos que O cambia del estado S_a al estado S_b, simbólicamente:

$$S_a \mapsto S_b \tag{1}$$

[1]Para una visión general del problema véase [3], [4] y el punto de vista particular de H. Bergson en [1], [2]

si existe un conjunto de leyes físicas $\mathcal{L}$ tales que, bajo las mismas condiciones C y como consecuencia de esas leyes, el estado de O es S_a en el instante t y S_b en un instante posterior t'. En símbolos:

$$\mathcal{L}(S_a, C) = S_b \tag{2}$$

1.1.3 El cambio $S_a \mapsto S_b$ puede ser directo, sin estados intermedios, en cuyo caso hablaremos de cambio canónico. Puede ser también el resultado de una sucesión ordenada de cambios canónicos:

$$\{S_i\} : S_a \mapsto S_1 \mapsto S_2 \mapsto S_3 \mapsto ... \mapsto S_b \tag{3}$$

Nótese que cada elemento S_n de la sucesión $\{S_i\}$ ha de tener un predecesor inmediato S_{n-1} (excepto el primero de ellos) de modo que S_n pueda ser el resultado causal de S_{n-1}:

$$\forall S_n \in \{S_i\} : \ \mathcal{L}(S_{n-1}, C_{n-1}) = S_n \tag{4}$$

1.1.4 Supongamos que $S_a \mapsto S_b$ tiene lugar a través de una sucesión densamente ordenada de cambios causales $[S_a, S_b]$. Siendo $[S_a, S_b]$ densamente ordenada, no existe un elemento S_α en (S_a, S_b) tal que:

$$\mathcal{L}(S_\alpha, C_\alpha) = S_a \tag{5}$$

porque si ese fuera el caso S_α sería el predecesor inmediato de S_a y entonces la sucesión no sería densamente ordenada. El mismo argumento se podría aplicar a cualquier elemento de $[S_a, S_b]$. Algunos infinitistas argumentan que, aunque S_b no resulta como consecuencia de un cambio causal canónico de un estado inmediatamente precedente, resulta de la compleción de una sucesión infinita de cambios.

Examinaremos a continuación esa posibilidad.

1.1.5 Supongamos que S_b resulta de la compleción de una sucesión infinita de cambios. El estado de nuestro objeto O será S_a en un cierto instante t_a y S_b en otro cierto instante t_b. En esas condiciones, sea $f(t)$, para todo t en $[t_a, t_b]$, el número de cambios que aún se han de realizar en el instante t para alcanzar S_b. Es inmediato que $f(t)$ solo puede tomar dos valores: o $2^{\aleph_o}$ o 0. Así es, si $f(t)$ pudiese tomar un valor finito n, entonces existirían los imposibles últimos n cambios de una sucesión densamente ordenada de cambios. Por la misma razón si n fuese numerablemente infinito existiría un imposible número numerable de últimos cambios en una sucesión densamente ordenada.

1.1.6 De acuerdo con 1.1.5, $f(t)$ define una dicotomía: el número de cambios que quedan por realizar para llegar a S_b solo puede ser $2^{\aleph_0}$ o 0. Por tanto no existe ningún instante en $[t_a, t_b]$ en el que solo quede un número finito de cambios por realizar para que O alcance el estado S_b. O con otras palabras, ese número ha de cambiar directamente de $2^{\aleph_0}$ a 0, lo que sólo es posible si una infinidad de cambios se realizan de forma instantánea. Supongamos que la transición de $2^{\aleph_0}$ a 0 en el número de estados que quedan por realizarse dura un tiempo τ, siendo τ cualquier número real positivo, incluyendo a $t_b - t_a$. En cualquier instante t del intervalo $(0, \tau)$ el número de cambios por realizar solo puede ser $2^{\aleph_0}$ (dicotomía de $f(t)$) y entonces la transición duraría un tiempo menor que τ, para cualquier τ mayor que cero. Esa transición solo puede durar, pues, un tiempo nulo. Como veremos, los cambios instantáneos son imposibles en el continuo espacio tiempo.

1.1.7 Si la sucesión de cambios desde S_a hasta S_b fuera α-ordenada, siendo α cualquier ordinal transfinito, habría al menos un estado sin predecesor inmediato,[2] pero también habría infinitos estados con un predecesor y un sucesor inmediato, y por tanto una infinidad de cambios canónicos.

1.2 El problema del cambio

1.2.1 Consideremos uno cualquiera de los cambios canónicos de la sucesión anterior $\{S_i\}$ definida por (3), por ejemplo el primero de ellos $S_a \mapsto S_1$. Empezaremos probando que ese cambio ha de ser instantáneo, es decir de una duración nula en el continuo espaciotiempo. Supongamos que dura un tiempo $\tau > 0$, siendo τ cualquier número real positivo. Para todo t en el intervalo real $(0, \tau)$, el estado del objeto O será o bien S_a o bien S_1. Si fuera S_a entonces el cambio no habría comenzado aún y su duración sería menor o igual a $\tau - t$ en lugar de τ. Si fuera S_1 el cambio ya habría terminado y su duración sería igual o menor que t en lugar de τ. Pero O ha de estar en uno de esos dos estados porque $S_a \mapsto S_1$ es un cambio canónico. En consecuencia, y teniendo en cuenta que τ es un número real positivo cualquiera, tendremos que concluir que ningún número real positivo puede ser la duración del cambio canónico $S_a \mapsto S_1$. Ha de ser, por tanto, instantáneo.

1.2.2 Probaremos ahora que los cambios instantáneos son imposibles en el continuum espaciotiempo. Como veremos, la razón de esa imposibilidad es que ningún elemento t de una sucesión ω-ordenada de instantes tiene un sucesor t^s (o predecesor t^p) inmediato tal que

[2]That would be the case if the sequence were ω−ordered , being ω the less transfinite ordinal.

ningún tiempo pasa entre t y t^s (o entre t^p y t). Supóngase que el cambio canónico $S_a \mapsto S_1$ tiene lugar en un cierto instante t_{a1}. El cambio será instantáneo si el estado de O es S_a en el instante t_{a1} y S_1 en un hipotético sucesor inmediato t^s_{a1} de t_{a1}, de modo que el tiempo que transcurre entre t_{a1} y t^s_{a1} sea nulo; o, alternativamente, si el estado de O es S_1 en el instante t_{a1} y S_a en un hipotético inmediato predecesor t^p_{a1} de t_{a1}, siendo nulo el tiempo transcurrido entre t^p_{a1} y t_{a1}. Pero en el continuum espaciotiempo ambas alternativas son imposibles porque t_{a1} no tiene ni sucesor inmediato ni predecesor inmediato. Hemos de concluir que el cambio canónico $S_a \mapsto S_1$ no puede ser instantáneo en el continuum espaciotiempo.

1.2.8 Hemos probado que si un cambio tiene lugar a través de una sucesión densamente ordenada de cambios entonces un número infinito de tales cambios han de ocurrir de forma instantánea (1.1.6); también hemos probado que los cambios canónicos han de ser instantáneos (1.2.1) y que los cambios instantáneos son imposibles en el continuum espacio tiempo (1.2.2). Hemos de concluir que el cambio es imposible en el continuum espaciotiempo. En la siguiente sección analizaremos sus posibilidades en en espaciotiempo discreto.

1.3 Un modelo discreto: autómatas celulares

1.3.1 Los modelos similares a los autómatas celulares (CALM) proporcionan una nueva e interesante perspectiva para analizar la forma en la que el universo parece funcionar. En particular proporciona un espaciotiempo discreto desde el que sería posible un nuevo análisis de algunos de los problemas aparentemente irresolubles o paradójicos de la física contemporánea, particularmente las relacionadas con la mecánica cuántica y la relatividad. Como veremos en la breve discusión que sigue, veintisiete siglos después de que fuera planteado, el viejo problema del cambio encuentra su primera solución consistente en ese marco discreto del espaciotiempo.

1.3.2 En los CALMs el espacio está exclusivamente formado por unidades mínimas indivisibles que en este libro hemos llamado qsits (células en la jerga de los autómatas celulares). El tiempo también está compuesto por una sucesión de unidades mínimas indivisibles a las que hemos llamado qtits. Cada qsit puede exhibir diferentes estados, definidos cada uno de ellos por un cierto número de variables. El estado de todos los qsits cambia simultáneamente en los sucesivos qtits de acuerdo con las leyes que dirigen la evolución del autómata.

1.3.3 Sean u, v, c, ... z las variables que definen el estados de los qsits de un cierto CALM A. Representemos el n-ésimo estado de cada qsit s_i de A por $s_i(u_n, v_n, ... z_n)$, donde u_n, v_n ... son los valores particulares de las variables de estado en el n-ésimo qtit. Sea finalmente $\mathcal{L}$ el conjunto de leyes que controlan la evolución del autómata. $\mathcal{L}$ determina la forma en que cada qsit cambia de un qtit al siguiente, teniendo para ello en cuenta el estado previo de ese qsit y de cualquier otro que interaccione con él, lo que puede incluir a todos los qsits de A.

1.3.4 El 'motor' del autómata cambia simultáneamente el estado de cada uno de los qsits en cada qtit sucesivo, y lo mantiene en ese estado exactamente un qtit. Así, si A_n representa el estado del autómata en el n-ésimo qtit, podremos escribir:

$$\mathcal{L}(A_n, C_n) = A_{n+1} \tag{6}$$

$$\mathcal{L}(A_{n+1}, C_{n+1}) = A_{n+2} \tag{7}$$
$$\mathcal{L}(A_{n+2}, C_{n+2}) = A_{n+3} \tag{8}$$
$$\ldots \tag{9}$$

y para un qsit particular s_i:

$$\mathcal{L}(s_i(u_n, v_n, \ldots, z_n), C_n) = s_i(u_{n+1}, v_{n+1}, \ldots, z_{n+1}) \tag{10}$$
$$\mathcal{L}(s_i(u_{n+1}, v_{n+1}, \ldots, z_{n+1}), C_{n+1}) = s_i(u_{n+2}, v_{n+2}, \ldots, z_{n+2}) \tag{11}$$
$$\mathcal{L}(s_i(u_{n+2}, v_{n+2}, \ldots, z_{n+2}), C_{n+2}) = s_i(u_{n+3}, v_{n+3}, \ldots, z_{n+3}) \tag{12}$$
$$\ldots \tag{13}$$

1.3.5 Siendo discretos tanto el espacio como el tiempo, cada qtit t_n tiene un predecesor inmediato t_{n-1} y un sucesor inmediato t_{n+1}, de modo que no existe ningún otro qsit entre t_{n-1} y t_n y tampoco entre t_n y t_{n+1}. O con otras palabras: ningún tiempo transcurre entre dos qtits sucesivos. Esta simple característica de los CALMs es suficiente para resolver el problema del cambio: el espaciotiempo discreto permite los cambios instantáneos, el estado A_n en el qtit t_n cambia al estado A_{n+1} en el siguiente qtit t_{n+1}. Y eso es posible porque el estado de cada qsit se redefine en cada qtit y es mantenido al menos durante un qtit.

Bibliography

[1] Henri Bergson, *Creative Evolution*, Dover Publications Inc., New York, 1998.

[2] Henri Bergson, *The Cinematographic View of Becoming*, Zeno's Paradoxes (Wesley C. Salmon, ed.), Hackett Publishing Company, Inc, Indianapolis/Cambridge, 2001, pp. 59 – 66.

[3] Chris Mortensen, *Change*, Stanford Encyclopaedia of Philosophy (E. N. Zalta, ed.), Stanford University, URL = http://plato.stanford.edu, 2002.

[4] Steven Savitt, *Being and Becoming in Modern Physics*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Edward N. Zalta, ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2008.