

## CAUSALIDAD Y TELEOLOGIA EN LA PERSPECTIVA DE LA CIENCIA NATURAL DEL PRESENTE

por el prof. WALTER HEITLER

De la Universidad de Zurich (1)

Ambos conceptos —causalidad y teleología— no siempre son usados en el mismo sentido, ni siquiera en un sentido claramente delimitado. Debemos empezar, pues, diciendo en qué sentido vamos a interpretarlos. Interpretamos el concepto causalidad en un sentido estricto y el concepto teleología en un sentido más lato, tal vez como generalmente ocurre. En ambos casos son consideraciones científicas las que sugieren nuestra concepción.

Por causalidad no entenderemos simplemente que “el efecto sucede a la causa”. Esto sería inconcuso. Nos proponemos interpretar la “causalidad” tal como de hecho se hace en todas las ciencias exactas, en la física especialmente. Supongamos que en determinado lugar en el espacio y en determinado momento se dan ciertas condiciones físicas. La ley física nos dirá en tal caso lo que va a ocurrir en el instante próximo y en la máxima proximidad del lugar indicado. No existe, pues, una acción directa a distancia, ni temporal, ni espacial. Lo que a distancia acaece sólo puede ser concebido como integrado efecto de las distintas acciones causales. La ley física en sí misma es ciega frente a la perspectiva distante. Es un error creer que el sucederse de un sistema físico está totalmente determinado por las leyes. Se requiere también el conocimiento del estado de la realidad física en un momento determinado. El físico llama a esto las condiciones iniciales. Podrá creerse, y con razón, que las condiciones iniciales están ellas mismas determinadas por ciertos efectos causales físicos. Podemos seguir el curso de los efectos retrocediendo más y más. Este proceso, sin embargo, no tiene fin. Siempre de nuevo debemos indagar las condiciones iniciales de los tiempos que nos han precedido. Y al fin se desvanece todo en la calígene de la génesis del mundo, de la que no sabemos nada. Son dos las cosas, pues, que determinan el sucederse físico: la ley y las condiciones iniciales.

El concepto de teleología es concebido comúnmente, con carácter bastante antropomórfico, en el sentido de finalidad. Nos proponemos entenderle, sin embargo, en forma esencialmente más general, como antitético de la causalidad. Nos proponemos hablar de una ley o una realidad teleológica cuando acaece algo referido a una forma de conjunto, a una totalidad o a un designio que deberá alcanzarse con posterioridad. Puede servir a un propósito, pero no necesariamente. Se trata,

<sup>1</sup>Fellow de la Royal Society de Londres, miembro de la Royal Irish Academy, Doctor h.c. de la National University, Dublin.

pues, de acción distante (espacial o temporal). Todo resabio de utilidad debe ser excluido a pesar de que lo que es útil es generalmente de carácter teleológico. Una ley teleológica presenta, pues, aproximadamente, el siguiente cariz: aquí y ahora acaece algo referido a algo, de modo que, en el lapso de una hora, en otro lugar, pero también aquí, o en todo el posterior suceder, debe existir como una determinada forma de conjunto.

Puede haber leyes teleológicas aptas para ser reducidas a leyes causales. Llamaremos pseudoteleológicas a estas leyes. Puede haber también leyes teleológicas en que esto no ocurre, figurando en el lugar de las condiciones iniciales físicas. Aquí se trata ya de auténtica teleología. Finalmente puede haber una teleología que nada tiene que ver con esto. Toda acción humana premeditada es teleológica, sin tener con la física la menor relación, a pesar de que aquí interviene generalmente una finalidad.

Demos por lo pronto un ejemplo de las dos primeras clases de teleología: el movimiento de los planetas. La primera ley de Kepler, según la cual los planetas describen órbitas elípticas, está evidentemente teleológicamente formulada. Ahora bien, es una consecuencia de las leyes causales de Newton (ley del movimiento y gravitación) y por lo tanto una ley pseudoteleológica. Afirma además Kepler que la velocidad goniométrica de todos los planetas en perihelio y afelio, están en circunstancias simples reductibles a números enteros, es decir, en relación armónica. Esta ley —si es verdadera— sería auténticamente teleológica. No es consecuencia de las leyes causales de Newton, pero substituye a las condiciones iniciales. De las leyes causales sólo se sigue que todos los planetas se mueven en órbitas elípticas (y algo más que esto). La magnitud y la excentricidad se siguen de las condiciones iniciales. En vez de esto Kepler se atiene a sus circunstancias armónicas, que precisan las circunstancias de magnitud y las excentricidades. Estas circunstancias no han ingresado en la astronomía actual por reconocer las ciencias exactas solamente leyes causales. Advertamos que con esto nada se ha expresado sobre lo correcto o incorrecto de las armonías de Kepler.

A continuación nos plantearemos el problema de si en la naturaleza existen auténticas leyes teleológicas, incluso aquellas que no son un substituto de condiciones iniciales desconocidas. Las ciencias exactas nos brindan aquí escasa perspectiva para semejante descubrimiento, ya que justamente son ellas las ciencias por excelencia que operan con leyes causales. Averiguaremos, en cambio, que estas leyes son operantes en la biología con una probabilidad que linda con la seguridad.

Para intuir esto en forma suficiente procuraremos antes obtener por lo pronto una más clara visión sobre la efectividad de las leyes causales. Elegiremos la física como prototipo de ciencia en que las leyes causales rigen. Nos encontramos ante un sistema relativamente complicado con numerosos grados de libertad (como los

físicos dicen), con un número de cuerpos que por la acción física están en conexión. En la biología se trata siempre de problemas especialmente complicados.

Lo primero que comprobamos es que un sistema complicado que a sí mismo se entrega a influjos externos, incluso de escasa entidad (que se dan siempre), puede decirse que en todos los casos evidencia un comportamiento desordenado. En la naturaleza las condiciones iniciales que rigen en determinado momento son contingentes y entre las muy numerosas condiciones iniciales posibles sólo una cantidad insignificante es apta para acarrear un movimiento ordenado. Y este mismo se transformará rápidamente en desorden tan pronto los influjos externos, por pequeños que sean, hacen sentir su acción. Sólo existe un movimiento ordenado allí donde, por mano del hombre, las condiciones iniciales son establecidas en forma que queda excluido todo influjo exterior. Ilustrará esto un ejemplo.

Imaginemos una serie de bolas de acero de excelente fabricación capaces de rodar sobre una superficie completamente lisa sin el menor rozamiento. Y supongamos la superficie rectangular y limitada por paredes perfectamente paralelas que reflectan exactamente las bolas. Con alguna habilidad podemos conseguir que las bolas rueden aquí y allá en forma por completo paralela a las dos paredes que se enfrentan. He aquí un movimiento ordenado que sólo se produce por la intervención del hombre que ha establecido diestramente las condiciones iniciales. Sólo necesitamos soplar una de las bolas para que se salga de la fila, choque con otras y en el más breve lapso reinará el desorden.

Y si dejamos en manos de lo contingente las condiciones iniciales poniendo sencillamente las bolas sobre la plancha y empujándolas descuidadamente, se producirá también un movimiento desordenado.

Si, como Kepler creía, en el instante de la creación del mundo las órbitas de los planetas se hubieran ya mantenido realmente en circunstancias de rigurosa armonía, hubieran quedado ahora un poco perturbadas en su orden por cometas, meteoros, etc.

Sin la intervención de un ser consciente no existe orden, por lo general, en la naturaleza física. Sólo hay una excepción: a temperaturas suficientemente bajas se colocan átomos y moléculas en un cierto orden. Mencionemos el ejemplo de una rejilla de cristal. Basta la temperatura normal de una habitación para provocar cierto orden en la situación de los átomos. Ahora bien, el movimiento en la posición de equilibrio de los distintos átomos es muy desordenado todavía. El orden sólo se establece aquí en la proximidad del cero absoluto.

Un segundo punto que debemos considerar es el siguiente: por lo general se supone que el físico, que conoce las leyes de la física, es capaz de calcular el comportamiento de todo sistema físico de antemano. Esto sólo es posible en algunos ca-

sos: en sistemas suficientemente simples, en sistemas de gran magnitud, pero de estructura regular (rejilla de cristal, por ejemplo), en grandes sistemas por completo en manos de lo contingente (gases, por ejemplo) y en algunos otros casos. Pero es imposible cuando se trata de un gran sistema de estructura por completo irregular y pretendemos conocer su comportamiento en el detalle. Un sistema así es sencillamente demasiado complicado. No podemos calcular de antemano, por ejemplo, la dirección que tomará una gota de agua en una catarata. Los modernos "computers" han ampliado grandemente la esfera de lo calculable de antemano, pero también aquí hay límites. Un sistema verdaderamente complicado es sencillamente imposible tratarlo físicamente.

Volvamos, pues, a nuestro problema cardinal: ¿existen en la naturaleza auténticas leyes teleológicas? Nos proponemos demostrar que tanto en el desarrollo de un organismo como en la evolución de los seres vivos operan leyes teleológicas con la máxima probabilidad.

El desarrollo de un organismo empieza con la división de la célula germinal fecundada, a la que suceden las demás divisiones celulares. Se puede observar microscópicamente este sucederse de las divisiones celulares. Veremos que empieza con la división de la molécula del DNS (ácido desoxirribonucleínico), la parte constitutiva principal de los cromosomas. Se trata de una molécula muy larga que consta de dos tiras entre sí encadenadas, a semejanza —expresándonos groseramente— de un cierre de corredera. Éste se abre en un extremo. En el lado interior de cada tira abierta se almacena un preparado material químico que constituye exacta réplica del primitivo partícipe de la tira. Cuando la tira está completamente abierta tenemos dos dobles tiras en vez de una. Es bien sabido que en esta molécula del DNS están cuasi-"codificadas" muchas cualidades heredadas en virtud de la disposición de determinados grupos de átomos. Que todas las cualidades heredadas estén contenidas en el DNS, como numerosos biólogos pretenden o si muchas de ellas tienen su asiento en otras partes de la célula (la célula germinal debe contenerlas) es indiferente para lo que a continuación diremos.

Hemos descrito el comienzo de la división celular como si nos encontráramos ante un proceso puramente físico-químico. Ahora bien, que lo que aquí interviene sean meras fuerzas físicas y químicas es por lo menos dudoso. No existe, en toda la química de la materia inanimada, un solo caso de semejante "autoproducción" de una macromolécula. Es conservada la estructura química de la molécula en virtud de innumerables de estas duplicaciones (de otro modo no podría servir de sustrato a la herencia), aunque se encuentre siempre rodeada de otras macromoléculas que con ella se mantienen en acción recíproca. El proceso de este quebrarse, de este dividirse y generar nuevas formas con ayuda de lo que le rodea es muy complicado, demasiado complicado para ser tratado con los recursos de la física.

No podremos jamás demostrar que las leyes físicas son aptas realmente para generar un proceso semejante. Tampoco podremos demostrar lo contrario. Se trata de un proceso que se sitúa en el comienzo del desarrollo y que es característico de la vida. Toda su naturaleza no encuentra paralelos en los procesos de la materia inanimada. Sería, sin embargo, prematuro concluir de esto la existencia de otras leyes no físicas o no causales.

Avancemos un paso más. Supongamos que la división de las células se basa en leyes causales en el sentido que hemos descrito y preguntémonos cómo prosigue la división de las células. Es la esencia de las leyes causales el ejercer su influjo sólo en lo próximo. Las células seguirán, pues, dividiéndose, pero sin tener en cuenta el futuro por venir. Se produciría así un aglomerado, un hacinamiento homogéneo de células que acaso seguiría siempre creciendo, pero jamás un organismo.

En un organismo los distintos órganos tienen una configuración, su función está exactamente determinada (respiración, absorción de agua, por ejemplo) y las funciones están recíprocamente coordinadas a través de mayores distancias. Una hoja funciona en su papel sólo si la raíz hace lo suyo, etc. Todo esto es por completo ajeno a las leyes causales. Aquí reina el orden en el más alto grado, mientras las leyes causales provocan el desorden.

La "información" sobre la futura configuración del organismo y las funciones de sus distintos órganos debe estar ya contenida de algún modo en la célula germinal (si en la molécula del DNS o en otras partes no importa aquí nada). Tiene que haber existido un "plan" de todo el organismo en su conjunto y este plan tiene que haber regulado por lo menos las posteriores divisiones celulares. Nos encontramos ante el clásico caso de las leyes teleológicas en el sentido que les hemos dado. Si no aceptamos la realidad de las leyes teleológicas el desarrollo de un organismo será completamente incomprensible.

A la misma conclusión se llega por la consideración de la evolución de los seres vivos de superior desarrollo histórico, desde los organismos inferiores, de estructura relativamente simple, hasta los mamíferos altamente organizados. No importa aquí cómo este desarrollo se ha verificado en el detalle.

Muchos representantes del neodarwinismo hacen recaer hoy el acento de su tesis en el principio de la selección natural, el de la selección de las especies mejor dotadas para la vida. Pero esto no es lo principal para nosotros. La naturaleza no puede elegir entre las distintas especies sino las que ya existen. Ahora bien, ¿por qué procesos pasa la génesis de una especie altamente desarrollada? ¿Cómo llega a producirse y ser realidad?

También tenemos aquí una teoría defendida frecuentemente como la cosa más natural. En la naturaleza surgen alguna vez por sí mismas nuevas variedades de determinadas especies que luego se reproducen por herencia. Se les llama muta-

ciones. Incluso pueden ser generadas artificialmente (por medio de rayos Röntgen, etc.). Las "variedades" producidas en esta forma, si no se trata ya de cambios insignificantes (color de los ojos, etc.), tienen carácter deforme, incluso nacen muertas frecuentemente. Por "casualidad", si bien raras veces, surgen variedades altamente desarrolladas que se estabilizan luego por el principio de selección.

Que se atribuya aquí a la contingencia el papel principal está en la esencia misma de la cosa. Incluso la evolución, a ser posible la físico-química, quisiera uno explicar por leyes causales. Pero un organismo es un sistema demasiado complicado y éste es el caso también de los cromosomas. Si su comportamiento es determinado sólo por la física, la contingencia debe representar también un gran papel. Un cambio en la estructura de la molécula del DSN, por ejemplo, sólo puede ser casual. Que esta presunción de una contingencia físico-química como responsable de la superior evolución de seres vivos es insostenible, puede demostrarse de múltiples maneras. Habrá, por ejemplo, que formarse una idea sobre lo extremadamente complicada que es la estructura de un ser vivo superior. El cerebro humano contiene diez mil millones de células (llamadas neuronas), combinadas en urdimbre complicadísima por el cordaje nervioso. No se podrá cambiar mucho en estas ligaduras sin perturbar la función del cerebro. Calcúlese el número de ligaduras posibles y cuán grande será la probabilidad de que se sitúen de un modo y no de otro. O pensemos en otra cosa. Pensemos que una flor de los campos tiene una forma, un color, un olor, etc., que atrae a las abejas (con el correspondiente tamaño, forma, con la correspondiente hambre de néctar, etc.) de modo que pueda verificarse la polinización. Que esto haya podido desarrollarse de nada, por casualidad (no importa si de una vez o a través de muchas fases), es sencillamente insensato. Sobre la posibilidad de una evolución superior podrán hacerse cálculos de la más diversa manera: se llegará siempre al resultado de que la contingencia es aquí por completo imposible. Añádase que va implícita en la superior evolución de los seres vivos una nueva estructura de orden más y más alto cada vez. En un mamífero este orden (piénsese en la estructura del cerebro, de los huesos, etc.) ha alcanzado un grado tal que su magnitud se revela más grandiosa a medida que avanza la investigación científica. Jamás podrá obedecer esto a leyes causales (tal como las hemos definido) únicamente, a las leyes de la física y la química sobre todo. Lo que puede modificarse por contingencia es la estructura del DSN y de los cromosomas. Ahora bien, si semejante modificación significara algo así como un "mandato de conjunto", tiene que ocurrir una de estas dos cosas: o el plan existía ya o surge simultáneamente. Pero es que esto no puede acaecer por casualidad y mucho menos por la acción física únicamente. La física no conoce mandatos de conjunto coordinados. Y un plan complicado, sabiamente ordenado, no surge por casualidad de uno más sencillo. El plano constructivo de una choza no se desa-

rrolla "casualmente" para convertirse en el plano de un palacio. Puede, pues, concluirse prácticamente con seguridad que la evolución ha tomado un curso de plan guiado, gobernado, y está accionada, consecuentemente, por auténticas leyes teleológicas.

En la estructuración del orden se observa también la fundamental diferencia entre las mutaciones (por usar el mismo nombre) que para la evolución rigen y las contingencias o artificiales que casi siempre perjudican al organismo, destruyendo el orden por lo tanto. Esta diferencia entre construcción y destrucción, orden y desorden, es olvidada por los representantes de la tesis de la contingencia de las mutaciones de la evolución en la mayoría de los casos.

Teniendo en cuenta lo anterior, tampoco es muy probable que esta teleología sea un sustituto de condiciones iniciales desconocidas. Si así fuera, estas condiciones iniciales tendrían que haber sido establecidas en los comienzos mismos de la vida... hace seiscientos millones de años (¿cuándo se formó, por ventura, la primera molécula del DNS?) y tendrían que regir hasta hoy aunque entretanto se hayan sucedido miles de millones de actos de herencia y la cuestionable materia viva se encuentre siempre envuelta en otra materia. Puede decirse que esto es imposible. Deberá, pues, considerarse como prácticamente seguro que nos encontramos aquí con auténtica teleología de ningún modo reductible a la física. Se trata aquí de algo fundamentalmente nuevo: de algo que diferencia fundamentalmente a la vida de la muerte.

Dos cuestiones se plantean aún aquí que pretenden calar en la hondura de lo aún desconocido. La primera reza así:

¿Pueden causalidad y teleología, o dicho de otro modo, procesos vitales físicos y no físicos, mantenerse en yuxtaposición sin contradecirse? La ley física y las condiciones iniciales fijan el curso material y nada permite repentizar otra clase de ley. Hasta hoy no ha sido descubierta ninguna posibilidad de vulnerar directamente las leyes físicas en la biología, aunque claro que no puede discutirse que la exactitud de la física en el organismo vivo haya sido realmente sometida a prueba en el detalle o pueda serlo. Cabalmente en el terreno de la macromolécula debiera ser esto por completo imposible mientras el organismo esté vivo. Puede también eludirse, vulnerar directamente la física. En la física atómica representa el concepto de inseguridad un papel fundamental. Existen por lo menos una o varias magnitudes —la situación o velocidad de una partícula, por ejemplo— indeterminadas hasta cierto punto y a las que no se les puede otorgar un claro valor en la forma en que estamos acostumbrados a hacerlo con los objetos del mundo que nos rodea. Se trata de algo completamente nuevo que se ha manifestado por primera vez en la física atómica. Se puede avanzar un paso más y suponer que en la materia viva toda la situación física de las macromoléculas orgánicas es indeterminada has-

ta cierto punto. Ya las condiciones iniciales serían en algún tiempo parcialmente y consecuentemente toda situación posterior. La evolución física no está, pues, rigurosamente vinculada al curso determinado por las leyes causales. Por tal manera queda espacio para la intervención de otras y nuevas leyes que pertenecen a la vida y son de naturaleza esencialmente teleológica. Todo esto sólo se refiere, desde luego, al acaecer macromolecular. En la gran medida opera también la física, naturalmente, en el cuerpo vivo. Cabría preguntarse si no podría eliminarse esta indeterminabilidad por recurso a exactas observaciones físicas de las macromoléculas en el organismo vivo. Exige esto poderosos recursos experimentales como rayos Röntgen, etc. Estos métodos no dejan intacta la macromolécula. Con ello se cambiaría sencillamente todo el acaecer, y lanzándose sin duelo a la tarea de la determinación física seguramente se acabaría matando a estas macromoléculas. En el terreno de la biología molecular, por lo tanto, es imposible realizar observaciones físicas exactas en el cuerpo vivo.

Naturalmente esto es muy hipotético todavía, pero en todo caso estas ideas (ya indicadas por Niels Bohr) dejan un camino a la posibilidad de concebir, esquemáticamente por lo menos, que teleología y leyes causales pueden mantenerse en yuxtaposición e intervenir, o dicho de otro modo: que lo vivo en la materia, que por otra parte obedece a lo físico, puede intervenir y realizar una configuración de acuerdo con su plan.

Y una última cuestión: si rige un plan en la naturaleza viva, este plan debe tener su "autor". Esto es frecuentemente alegado contra la teleología, que exigiría necesariamente un ser creador ultraterrenal. Intentaremos aquí dos respuestas:

1 Si las observaciones y conclusiones científicas indican que no podemos evitar admitir la acción de una excelsa sabiduría no humana, de ello no tienen la culpa las conclusiones científicas. Significa, simplemente, que los filósofos y acaso los teólogos, deben ocuparse del asunto. Otra cosa sería prejuicio. Si consideramos el supremo arte de ingeniería de la estructura ósea o del cerebro (que es muy superior a todos los cerebros electrónicos, pues trabaja, además, creadoramente) las conclusiones y reflexiones metafísicas serán difícilmente evitables. La extrema tesis neodarwinista de que todo esto sólo ha surgido por contingencia y selección físico-química, será difícil que, en esta forma, pueda ser tomada en serio.

2 En la investigación de las leyes causales quedamos detenidos tan pronto como estas leyes son descubiertas. No preguntamos quién ha creado estas leyes —matemáticamente de gran refinamiento— ni cómo se las arregla un electrón para comportarse según las leyes del álgebra no conmutativa y de la teoría de los grupos. Nos quedamos parados ante estos problemas que igualmente nos llevarían al terreno de la metafísica. Podemos hacer lo mismo en la investigación de las leyes teleológicas y detenernos en cuanto las hemos reconocido. La diferencia de las impli-

caciones metafísicas entre causalidad y teleología no es tan grande como se diría a una primera consideración. A aquélla estamos mucho más acostumbrados. Debemos guardarnos muy bien de llevar el hábito a lo absoluto, pues abandonaríamos con ello el terreno de la objetividad científica.

La teleología es sólo un ejemplo de la posibilidad de leyes naturales que no se adaptan al estrecho marco de las leyes causales que proceden de la física y para la física son adecuadas. ¡Cómo saldría enriquecida la ciencia natural con que sólo este aspecto de la naturaleza fuera explorado con el mismo concienzudo interés que las leyes causales!

(LA DIRECCIÓN DEL BOLETÍN DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, EN CONSIDERACIÓN AL CARÁCTER EXTREMADAMENTE POLÉMICO DE LAS "CONCLUSIONES" A QUE ARRIBA EL PROF. HEITLER, SE PERMITE INVITAR A INVESTIGADORES Y PROFESORES UNIVERSITARIOS A PARTICIPAR EN UN DEBATE CENTRADO EN LAS AFIRMACIONES DEL PRESENTE ARTÍCULO, QUE SE PUBLICARÍA EN ESTAS MISMAS PÁGINAS).

## RESURRECCION DESPUES DE 200 MILLONES DE AÑOS

Un estudio recientemente publicado reanimó la discusión del fenómeno de la llamada inmortalidad potencial. Se trata del problema de explicar cómo ciertos organismos, sobre todo bacterias, aparentemente muertos, resucitaron después de millones de años, bastando para ello que en el laboratorio se creasen ciertas condiciones esenciales. La cuestión está relacionada con otra que constituye el problema central de las ciencias naturales: ¿qué es en realidad "vida" y cómo ha nacido ésta?

El doctor H. J. Dombrowski, del Instituto de Balneología y Fisiología Climática de la Universidad de Friburgo, presenta en su trabajo un resumen de las tentativas hasta ahora realizadas para reanimar bacterias de "edad" simplemente fantástica, entre las cuales se obtienen algunas de sales cuya edad se calcula en 200 millones de años. Se ha conseguido aislar cinco especies de bacterias de sales carbónicas del Canadá cuya edad se aproxima a los 260 millones de años. El record en este dominio cabe a los yacimientos de

sal de Irkustsk, en Siberia, en donde las bacterias encontradas y resucitadas en los laboratorios deben contar, según el Dr. Dombrowski, 500 a 600 millones de años. Todas estas bacterias atravesaron los millones de años sin sufrir alteraciones esenciales en absoluto. Colocadas en determinada solución, se desarrollaron rápidamente, viviendo en forma activa su nueva vida. ¿Cómo explicar este fenómeno simplemente increíble? El científico aludido ofrece la siguiente hipótesis: todas esas bacterias vivieron en mares o en brazos de mar que poco a poco se fueron desecando y formando los yacimientos de sal. En el proceso de transformación de los yacimientos, los microbios deben haber entrado en los cristales de sal, donde su presencia puede ser hoy verificada y donde hallaron condiciones favorables de conservación. Para apoyar esta teoría, Dombrowski procedió a experimentos de este proceso de conservación. Añadió a una solución, en la cual vivían bacterias, sal esterilizada hasta obtener una solución saturada, obteniendo este sustrato a un secado lento, hasta que las sales se secaron por completo; las bacterias no mueren, pues basta colocar los cristales en una solución para que las bacterias resuciten. Este experimento ha sido llevado a efecto después de ser conservadas las bacterias durante siete años.