

**LA IMAGEN  
DE LA NATURALEZA  
EN LA FISICA ACTUAL**

---

**Werner Heisenberg**



“El presente escrito —escribe el autor— aspira a esbozar a grandes rasgos el complejo de problemas ante los cuales se halla situado el hombre de nuestra época como consecuencia de la transformación en la visión del mundo proporcionada por la Física y demás ciencias de la Naturaleza; a partir de tales problemas actuales, las conexiones históricas adquieren profunda significación. El lector debe disponer de medios, o sea de algunas fuentes, para seguir por sí mismo aquella transformación en la concepción de la ciencia”.

## I. LA IMAGEN DE LA NATURALEZA EN LA FÍSICA ACTUAL

Se ha sugerido que acaso la actitud del hombre moderno ante la Naturaleza sea radicalmente distinta de la actitud de épocas anteriores, tanto, que tenga por consecuencia una completa transformación de todas las relaciones con la Naturaleza, por ejemplo de la relación del artista. Lo cierto es que en nuestros tiempos, mucho más que en siglos anteriores, la actitud ante la Naturaleza se expresa mediante una filosofía natural altamente desarrollada; y por otra parte, dicha actitud es determinada en considerable medida por la ciencia natural y la técnica modernas. No es, por consiguiente, sólo al científico que importa precisar la imagen de la Naturaleza según la dibuja la moderna ciencia natural y en particular la Física de hoy. Conviene de todos modos precaverse en seguida contra una posible confusión: no existen razones para pensar que la imagen científica del Universo natural haya influido inmediatamente en las diversas relaciones de los hombres con la Naturaleza, por ejemplo en la del artista moderno. Más aceptable parece la idea de que las alteraciones en los fundamentos de la moderna ciencia de la Naturaleza son indicio de alteraciones hondas en las bases de nuestra existencia, y que, precisamente por tal razón, aquellas alteraciones en el dominio científico repercuten en todos los demás ámbitos de la vida. Desde este punto de vista, se concibe que tal vez a todo hombre que, con fines de creación o de reflexión, desee penetrar en la esencia de la Naturaleza, haya de interesarle la pre-

gunta: ¿Qué cambios han tenido lugar, durante los últimos decenios, en la imagen de la Naturaleza según la ciencia?

## 1. EL PROBLEMA DE LA NATURALEZA

### *Los cambios en la actitud del científico ante la Naturaleza*

Empecemos dirigiendo nuestra mirada a las raíces históricas de la ciencia de la Naturaleza en la Edad Moderna. Cuando, en el siglo XVII fue fundada dicha ciencia por Kepler, Galileo y Newton, hallaron éstos ante sí, como punto de partida, la imagen de la Naturaleza característica de la Edad Media: la Naturaleza era todavía, en primer lugar, lo creado por Dios. Como obra de Dios se la concebía, y a las gentes de la época les hubiera parecido una insensatez querer ahondar en el mundo material prescindiendo de Dios. Como documento de la época, citaré las palabras con que Kepler concluye el último volumen de su *Armonía del Universo*:

Te doy las gracias a ti, Dios señor y creador nuestro, porque me dejas ver la belleza de tu creación, y me regocijo con las obras de tus manos. Mira, ya he concluido la obra a la que me sentí llamado; he cultivado el talento que Tú me diste; he proclamado la magnificencia de tus obras a los hombres que lean estas demostraciones, en la medida en que pudo abarcarla la limitación de mi espíritu.

Pero en el transcurso de unos pocos decenios, la actitud del hombre ante la Naturaleza quedó profundamente alterada. A medida que el científico ahondaba en los detalles de los procesos naturales, iba convenciéndose de que en efecto era posible, siguiendo a Galileo, aislar ciertos procesos naturales de las circunstancias que les rodean, para describirlos matemáticamente y con ello “explicarlos”. Así

fue adquiriendo una clara noción de la infinitud de la tarea propuesta a la naciente ciencia de la Naturaleza. Ya para Newton, el mundo no era sencillamente la obra de Dios, que sólo puede ser comprendida en su conjunto. Su actitud ante la Naturaleza no puede describirse mejor que mediante su conocida frase en la que se compara a un niño que juega en la playa y se alegra cuando encuentra un guijarro más pulido o una concha más hermosa que de ordinario, mientras el gran océano de la verdad se extiende ante él, inexplorado. Tal vez nos ayude a comprender este cambio en la actitud del científico ante la Naturaleza la observación de que en aquella época el pensamiento cristiano había llegado a separar tanto a Dios de la tierra, situándole en un tan alto cielo, que recíprocamente no parecía ya absurdo considerar a la tierra prescindiendo de Dios. Hasta cierto punto, pues, es justificado pensar con Kamlah que la moderna ciencia de la Naturaleza revela una forma de ateísmo específicamente cristiana; con ello se comprende que en otros ámbitos culturales no haya tenido lugar una evolución semejante. No puede tampoco ser fortuito el hecho de que precisamente en la misma época las artes figurativas comiencen a tomar a la Naturaleza como objeto de representación, prescindiendo de los temas religiosos. Idéntica tendencia se manifiesta en el dominio científico cuando se considera a la Naturaleza como independiente, no sólo de Dios, sino también del hombre, constituyéndose el ideal de una descripción o una explicación "objetiva" de la Naturaleza. No debe olvidarse, sin embargo, que para el mismo Newton la concha es valiosa porque ha salido del gran océano de la verdad, y que el hecho de contemplarla no tiene desde luego valor en sí mismo; el estudio de la concha adquiere sentido cuando se le pone en conexión con la totalidad del Universo.

La época siguiente aplicó con éxito los métodos de la Mecánica newtoniana a dominios de la Naturaleza cada vez más amplios. Se procuró aislar mediante el experimento

determinadas partes del proceso natural, observarlas objetivamente y comprender su regularidad; se procuró luego formular matemáticamente las relaciones descubiertas obteniendo "leyes" de validez incondicionada en todo el Universo. Con ello se alcanzó finalmente, mediante la técnica, el poder de aplicar a nuestros fines las fuerzas de la Naturaleza. El magno desarrollo de la mecánica en el siglo XVIII, y el de la óptica y la teoría y técnica térmicas a principios del XIX, atestiguan la fecundidad de aquel principio.

### *Transformaciones en el sentido de la palabra "Naturaleza"*

A medida que aquel tipo de ciencia natural iba obteniendo éxito, traspasaba progresivamente las fronteras del dominio de la experiencia cotidiana y penetraba en remotas zonas de la Naturaleza, que no podían ser alcanzadas más que mediante la técnica que por su parte iba desarrollándose en combinación con la ciencia natural. Ya en la obra de Newton, el paso decisivo lo constituyó el descubrimiento de que las leyes mecánicas que rigen la caída de una piedra son las mismas que presiden el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, y, por consiguiente, que aquellas leyes pueden aplicarse también en dimensiones cósmicas. En la época siguiente, la ciencia natural fue realizando incursiones victoriosas, cada vez en mayor estilo, en aquellos dominios remotos de la Naturaleza de los que no tenemos noticia más que pasando por el rodeo de la técnica, es decir, mediante aparatos más o menos complicados. Gracias a los telescopios perfeccionados, la Astronomía ocupó espacios cósmicos cada vez más extensos; la Química tomó por base el comportamiento de la materia en las transformaciones químicas para explicar los procesos en dimensiones atómicas; los experimentos con la máquina de inducción y la pila de Volta proporcionaron las primeras claridades sobre los fenómenos eléctricos, extraños todavía a la vida ordinaria de la época. Así fue paulatinamente trans-

formándose el significado de la palabra "Naturaleza", en cuanto designa al objeto de la investigación de la ciencia natural. El concepto de "Naturaleza" se convirtió en concepto colectivo de todos los dominios de la experiencia que resultan asequibles para el hombre con los medios de la ciencia natural y de la técnica, prescindiendo de si alguno de tales dominios forma o no parte de la "Naturaleza" que conocemos por la experiencia ordinaria. También el término de "descripción" de la Naturaleza fue perdiendo cada vez más su sentido primitivo, el de una exposición orientada a presentar un cuadro de la Naturaleza tan vivo e intuitivo como fuera posible; antes bien, se trata, en creciente medida, de una descripción matemática de la Naturaleza, es decir, de una compilación, todo lo precisa y concisa que se pudiera, pero al propio tiempo inclusiva de informaciones sobre las conexiones regulares observadas en la Naturaleza.

La ampliación del concepto de Naturaleza que con ello, y en parte de modo inconsciente, tuvo lugar, no debía aún interpretarse necesariamente como un radical abandono de los primitivos fines de la ciencia natural. Los conceptos básicos decisivos, en efecto, eran en la experiencia dilatada los mismos que gobiernan la experiencia natural, y para el siglo XIX la Naturaleza no era más que un transcurso regular en el espacio y en el tiempo; al describirlo, podía prescindirse, si no en la práctica por lo menos en principio, del hombre y de su acción sobre la Naturaleza.

Lo duradero a través de toda la mutabilidad de los fenómenos, se creyó lo era la materia, de masa invariable, que puede ser puesta en movimiento por las fuerzas. Como, desde el siglo XVIII, se vio que los hechos químicos pueden ser ordenados y explicados satisfactoriamente mediante la hipótesis atómica heredada de la Antigüedad, no es de extrañar que, siguiendo a la Filosofía antigua, se considerara al átomo como lo realmente existente, como el sillar invariable de la materia. Con ello, y continuando también la fi-

lososofía de Demócrito, las cualidades sensibles de la materia fueron concebidas como mera apariencia: el aroma o el color, la temperatura o la tenacidad no eran propiamente propiedades de la materia. Se producían como resultado de las acciones recíprocas entre la materia y nuestros sentidos, y había que explicarlas mediante la disposición y el movimiento de los átomos y el efecto de dicha disposición sobre nuestros sentidos. Así surgió la simplista imagen que el materialismo del siglo XIX daba del Universo: los átomos, que constituyen la realidad auténticamente existente e invariable, se mueven en el espacio y en el tiempo, y gracias a su disposición relativa y sus movimientos generan la policromía fenoménica de nuestro mundo sensible.

### *La crisis de la concepción materialista*

Una primera grieta en aquella imagen del Universo, no demasiado amenazadora todavía, se abrió en la segunda mitad del siglo pasado como consecuencia del desarrollo de la teoría de la electricidad. En la electrodinámica, lo auténticamente existente no es la materia, sino el campo de fuerzas. Un juego de relaciones entre campos de fuerzas, sin ninguna substancia en que se apoyaran dichas fuerzas, constituía una noción bastante menos comprensible que la noción materialista de la realidad, basada en la Física atómica. Se introducía un elemento de abstracción, no intuitivo, en aquella imagen del Universo que por otra parte parecía tan clara y convincente. De ahí que no faltaran intentos de regresar a la Filosofía materialista y a su sencillo concepto de la Naturaleza, utilizando para dicho fin el rodeo de un éter material, cuyas tensiones elásticas constituyeran el soporte de los campos de fuerzas; pero tales intentos no dieron resultado satisfactorio. Algún consuelo se hallaba de todos modos en el hecho de que por lo menos las alteraciones de los campos de fuerzas podían darse por procesos en el espacio y en el tiempo a los que cabía describir con en-



tera objetividad, es decir, sin tener en cuenta los procedimientos de observación; y que por consiguiente se ajustaban a la imagen ideal, generalmente aceptada, de un transcurso regular en el espacio y en el tiempo. Era lícito además concebir a los campos de fuerzas, observables tan sólo en sus interacciones con los átomos, como engendrados por éstos, y en cierto modo no había necesidad de recurrir a los campos más que para explicar los movimientos de los átomos. En este sentido, la auténtica realidad seguía siendo constituida por los átomos y, entre ellos, por el espacio vacío, cuyo peculiar modo de realidad era a lo sumo el de servir de soporte a los campos de fuerzas y a la Geometría.

Tampoco conmovió demasiado a aquella imagen del Universo el hecho de que, luego que a fines del siglo pasado se descubriera la radiactividad, el átomo de la Química no pudiera ya concebirse como el último e indivisible constituyente de la materia. El átomo, por el contrario, se compone de tres clases de constituyentes básicos, a los que hoy damos los nombres de protones, neutrones y electrones. El conocimiento de este hecho ha tenido como consecuencias prácticas la transmutación de los elementos y la técnica atómica, y ha adquirido por consiguiente extraordinaria importancia. En lo tocante a las cuestiones de principio, sin embargo, la situación no se altera al identificar a protones, neutrones y electrones como a los constituyentes mínimos de la materia e interpretarlos como realidad auténticamente existente. Lo único que importa para la imagen materialista del Universo es la posibilidad de considerar a dichos constituyentes mínimos de las partículas elementales como la última realidad objetiva. En tales fundamentos, por lo tanto, pudo descansar y articularse firmemente la imagen del Universo en el siglo XIX y a principios del XX; imagen que, gracias a su sencillez, conservó durante muchos decenios su entera fuerza de persuasión.

Precisamente en este punto, sin embargo, se han producido en nuestro siglo hondas alteraciones en los funda-

mentos de la Física atómica, que conducen muy lejos de las concepciones de la realidad propias de la Filosofía atómica en la Antigüedad. Se ha puesto de manifiesto que aquella esperada realidad objetiva de las partículas elementales constituye una simplificación demasiado tosca de los hechos efectivos, y que debe ceder el paso a concepciones mucho más abstractas. Lo cierto es que cuando queremos formarnos una imagen del modo de ser de las partículas elementales, nos hallamos ante la fundamental imposibilidad de hacer abstracción de los procesos físicos mediante los cuales ganamos acceso a la observación de aquellas partículas. Cuando observamos objetos de nuestra experiencia ordinaria, el proceso físico que facilita la observación desempeña un papel secundario. Cuando se trata de los componentes mínimos de la materia, en cambio, aquel proceso de observación representa un trastorno considerable, hasta el punto de que no puede ya hablarse del comportamiento de la partícula prescindiendo del proceso de observación. Resulta de ello, en definitiva, que las leyes naturales que se formulan matemáticamente en la teoría cuántica no se refieren ya a las partículas elementales en sí, sino a nuestro conocimiento de dichas partículas. La cuestión de si las partículas existen «en sí» en el espacio y en el tiempo, no puede ya plantearse en esta forma, puesto que en todo caso no podemos hablar más que de los procesos que tienen lugar cuando la interacción entre la partícula y algún otro sistema físico, por ejemplo los aparatos de medición, revela el comportamiento de la partícula. La noción de la realidad objetiva de las partículas elementales se ha disuelto por consiguiente en forma muy significativa, y no en la niebla de alguna noción nueva de la realidad, oscura o todavía no comprendida, sino en la transparente claridad de una matemática que describe, no el comportamiento de las partículas elementales, pero sí nuestro conocimiento de dicho comportamiento. El físico atómico ha tenido que echar sus cuentas sobre la base de que su ciencia no es

más que un eslabón en la cadena sin fin de las contraposiciones del hombre y la Naturaleza, y *que no le es lícito hablar sin más de la Naturaleza "en sí"*. La ciencia natural presupone siempre al hombre, y no nos es permitido olvidar que, según ha dicho Bohr, nunca somos sólo espectadores, sino siempre también actores en la comedia de la vida.

## 2. LA TÉCNICA

### *Influencias recíprocas de la técnica y la ciencia de la Naturaleza*

Antes de que podamos extraer consecuencias generales de esta nueva situación de la Física moderna, tenemos que ponderar la expansión de la técnica, tan importante para la vida práctica en esta tierra y tan estrechamente entrelazada con el desarrollo de la ciencia de la Naturaleza; a la técnica, precisamente, se debe la propagación de la ciencia por todo el mundo, a partir de los países occidentales, y su implantación en el centro del pensamiento de nuestra época. En todo este proceso evolutivo, que se extiende a lo largo de los últimos 200 años, la técnica ha sido a la vez condición previa y consecuencia de la ciencia natural. Es su condición previa, ya que a menudo una expansión y ahondamiento de la ciencia no son posibles más que gracias a un refinamiento de los medios de observación; recuérdense la invención del telescopio y del microscopio o el descubrimiento de los rayos Röntgen. Por otra parte, la técnica es consecuencia de la ciencia, ya que en general la explotación técnica de las fuerzas naturales se hace posible gracias a un conocimiento bastante extenso del dominio de experiencia que en cada caso entra en cuestión.

Así empezó desarrollándose, en el siglo XVIII y a principios del XIX, una técnica basada en la explotación de los

procesos mecánicos. En este dominio, es frecuente que la máquina imite sencillamente la acción de las manos del hombre, por ejemplo al hilar o tejer, al levantar fardos o al cortar grandes pedazos de hielo. De ahí que esta forma de la técnica se concibiera al principio como continuación y ampliación de la antigua artesanía; para un observador, parecía tan comprensible y lógica como el propio taller artesano, cuyos principios eran conocidos por todo el mundo, aunque no todos pudieran igualar la habilidad del operario. La introducción de la máquina de vapor no llegó a alterar radicalmente este carácter de la técnica; sólo ocurrió, que, a partir de aquel momento, la expansión de la técnica se *realizó* en una medida hasta entonces desconocida, ya que las fuerzas naturales escondidas en el carbón se pusieron al servicio del hombre, desplazando al trabajo de sus manos.

Una alteración decisiva en el carácter de la técnica, sin embargo, no se produce probablemente hasta que, en la segunda mitad del siglo pasado, tiene lugar el desarrollo de la Electrotécnica. Ésta excluye casi enteramente toda noción de semejanza con el taller tradicional. Las fuerzas naturales que pasan a ser objeto de explotación, apenas las conocía el hombre a través de su directa experiencia de la Naturaleza. De ahí que la Electrotécnica, todavía hoy, presente para muchas personas un carácter vagamente inquietante, o por lo menos, que a menudo se la considere como incomprensible, a pesar de que nos circunda por todas partes. Ciertamente que los conductores de alta tensión a los cuales no puede uno acercarse demasiado, nos proporcionan una cierta experiencia intuitiva de lo que es un campo de fuerzas, precisamente el concepto fundamental de la ciencia en este dominio; pero a pesar de todo, sentimos como extraño a nosotros este sector de la Naturaleza. Contemplar el interior de un aparato eléctrico complicado, nos da muchas veces una impresión de desagrado, parecida a la que sentimos ante una operación quirúrgica.

La técnica química, en cambio, sí pudo concebirse como prolongación de las artesanías tradicionales, por ejemplo del teñido o curtido o de la botica. Pero la enormidad del desarrollo que, a partir poco más o menos del comienzo de nuestro siglo, alcanza dicha técnica química, impide desde luego toda asimilación a los procesos tradicionales. Y finalmente la técnica atómica se consagra de modo absoluto a la explotación de fuerzas naturales hacia las cuales el mundo de la experiencia cotidiana no nos abre ninguna vía de aproximación. Es posible que esta técnica termine haciéndose tan familiar como lo es para el hombre moderno la Electrotécnica, que constituye una parte inescindible de su ambiente inmediato. Pero lo cierto es que no basta que un objeto se encuentre todos los días ante nosotros, para que pase a convertirse en un trozo de la *naturaleza*, en el sentido original del término. Acaso un día los más diversos artefactos técnicos formarán parte integrante del hombre, como su concha lo es del caracol o su tela lo es de la araña. Pero en tal caso, *aquellos artefactos serán más bien partes del organismo humano* que partes de la Naturaleza que nos circunda.

### *Influjo de la técnica sobre la relación entre la Naturaleza y el hombre*

La técnica modifica en considerable medida el ambiente en que vive sumergido el hombre, y coloca a éste, sin cesar e inevitablemente, ante una visión del mundo derivada de la ciencia; con lo cual, la técnica influye desde luego profundamente sobre la relación entre hombre y Naturaleza. El intento, intrínseco a la ciencia natural, de introducirse en el entero universo mediante un método que aísla e ilumina a un objeto tras otro, progresando así de una a otra conexión de hechos, se refleja en la técnica, en cuanto ésta, paso tras paso, se insinúa en dominios siempre nuevos, va transformando el Universo ante nuestra mirada, y le da la forma de

nuestra propia imagen. Así como en la ciencia todo problema parcial se subordina a la gran tarea de la comprensión del todo, por su parte todo progreso técnico, por mínimo que sea, sirve al fin general de ampliación del poderío material del hombre. Se deja a un lado toda discusión sobre el valor de este fin último, del mismo modo como la ciencia evita poner en entredicho la valía del conocimiento de la Naturaleza, y ambos fines confluyen en la tesis expresada por el dicho banal: "saber es poder". Aunque desde luego cabe mostrar para cada proceso técnico individual su subordinación al fin general, uno de los rasgos característicos del conjunto de la evolución técnica es el hecho de que, a menudo, un proceso de la técnica no guarda más que una conexión indirecta con el fin general, de modo que resulta difícil aprehenderlo como parte de un plan consciente para la consecución de aquel fin. Cuando dirigimos la atención a casos semejantes, la técnica, más bien que fruto del consciente humano esfuerzo por ampliar el poderío material del hombre, casi parece constituir un vasto proceso biológico, gracias al cual las estructuras inherentes al organismo humano van siendo paulatinamente transportadas al medio ambiente en que vive el hombre. Un proceso biológico que, precisamente en cuanto tal, escapa al control de los seres humanos; ya que "el hombre ciertamente puede hacer lo que quiera, pero no puede querer lo que quiera".

### 3. LA CIENCIA DE LA NATURALEZA COMO UN ASPECTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE HOMBRE Y NATURALEZA

#### *La técnica y las variaciones en los modos de vivir*

A este propósito, se ha sostenido a menudo que la profunda alteración que nuestro ambiente y nuestros modos de vivir han sufrido en la época técnica ha producido también una peligrosa transformación en nuestro pensamiento;

y en ello se ha querido ver la raíz de las crisis que han conmovido a nuestro tiempo, y que se manifiestan también, por ejemplo, en el arte moderno. Lo cierto es que tales reproches son mucho más antiguos que la técnica y la ciencia de la Edad Moderna; técnica y máquinas, bien que en forma primitiva, las hubo mucho antes, y es natural que los hombres de tiempos muy remotos se vieran forzados a meditar sobre estas cuestiones. Hace dos milenios y medio, por ejemplo, el sabio chino Yuang Tsi hablaba ya de los peligros que para el hombre constituye el uso de las máquinas, y no me parece inoportuno citar un pasaje de sus escritos, de importancia para nuestro tema:

Cuando Tsi Gung andaba por la región al norte del río Han, encontró a un viejo atareado en su huerto. Había excavado unos hoyos para recoger el agua del riego. Iba a la fuente y volvía cargado con un cubo de agua, que vertía en el hoyo. Así, cansándose mucho, sacaba escaso provecho de su labor.

Tsi Gung habló: Hay un artefacto con el que se pueden regar cien hoyos en un día. Con poca fatiga se hace mucho. ¿Por qué no lo empleas? Levantóse el hortelano, le vio y dijo: ¿Cómo es ese artefacto?

Tsi Gung habló: Se hace con un palo una palanca, con un contrapeso a un extremo. Con ella se puede sacar agua del pozo con toda facilidad. Se le llama cigoñal.

El viejo, mientras su rostro se llenaba de cólera, dijo con una risotada: He oído decir a mi maestro que cuando uno usa una máquina, hace todo su trabajo maquinalmente, y al fin su corazón se convierte en máquina. Y quien tiene en el pecho una máquina por corazón, pierde la pureza de su simplicidad. Quien ha perdido la pureza de su simplicidad está aquejado de incertidumbre en el mando de sus actos. La incertidumbre en el mando de los actos no es compatible con la verdadera cordura. No es que yo no conozca las cosas de que tú hablas, pero me daría vergüenza usarlas.