

Ciencia

Este documento resume algunos de los elementos de la actividad de las ciencias. El propósito de este es identificar algunos de los elementos de la actividad científica que son importantes a considerar en la lectura de la realidad de un actor social y ambiental. Entre estos están: la actividad científica, los modelos y teorías, los métodos y herramientas de la ciencia, la realidad, el lenguaje que utiliza la ciencia, la ambigüedad del lenguaje, la racionalidad, la objetividad, entre otros. Las siguientes secciones se han tomado de FUNDAEC (2009). Unidad 3 Ciencia. Iniciando un Discurso de Acción Social. Cali, Colombia.

1 La Actividad Científica

La primera unidad de este texto, “Conceptos Básicos”, terminó con una lección sobre el aprendizaje y la segunda trató un número de conceptos fundamentales relevantes al campo de la educación. Comenzamos esta tercera unidad recordando que para aprender de manera efectiva debemos ser metódicos, y para llegar a serlo, debemos familiarizarnos con los métodos de la ciencia. La búsqueda de un doble propósito moral, hemos dicho ya, exige que enfrentemos la vida como investigadores de la realidad y buscadores de la verdad. La investigación de la realidad requiere que nos equipemos con destrezas, actitudes, y con el conocimiento y entendimiento que nos permiten observar, medir, diseñar y realizar experimentos, identificar patrones y relaciones, elaborar modelos de varias partes de la realidad, y aplicar las teorías que ya se han elaborado en una u otra comunidad científica. Estas son algunas de las actividades centrales de la ciencia que se llevan a cabo una y otra vez a medida que los científicos intentan hacer avanzar el conocimiento humano. Podremos adquirir percepciones valiosas de la naturaleza de estas actividades examinando algunos conceptos familiares.

¿Qué significa para ustedes la palabra *observar*? ¿Es observar lo mismo que ver? El mundo que observan no es una masa grande y sin forma, y en él identificamos de inmediato un gran número de entidades diferentes llamadas *objetos* los cuales podemos describir utilizando ciertas palabras y conceptos. Los más inmediatos son forma, tamaño, longitud, volumen, área y color. Dos conceptos básicos adicionales son los de sustancia y propiedad. Decimos que los objetos a nuestro alrededor están hechos de diferentes sustancias, como madera, acero, vidrio y agua. Distinguimos unas sustancias de otras por sus propiedades. Por ejemplo, diferentes sustancias hierven a diferentes temperaturas. El punto de ebullición de una sustancia particular es una de las propiedades que la distingue de otras sustancias. Entender las propiedades de las distintas sustancias que conforman nuestro mundo es solamente un propósito de la indagación científica; numerosos conceptos emergen, se definen, y se examinan en varios niveles de abstracción a medida que la mente humana intenta penetrar los misterios de la existencia física, psicológica y social. El espacio y el tiempo, la energía y el poder, los sentimientos y las relaciones, la sociedad y sus estructuras, son apenas algunos de los conceptos que se abordan en las diferentes ramas de la ciencia.

Nuestras observaciones de cualquier fenómeno del universo normalmente comienzan con generalidades y gradualmente se van volviendo más detalladas. A menudo, para lograr la precisión, las observaciones encierran mediciones. Realizamos muchas de nuestras

mediciones en el contexto de experimentos científicos. El producto más común de la observación, la medición y la experimentación es la información, inicialmente en unidades que llamamos *datos* y luego como enunciados que pueden ser bastante complejos.

Las observaciones que hacemos del mundo que nos rodea no son solamente de objetos estáticos. Estamos sumamente interesados en entender los innumerables procesos que continuamente se desenvuelven en el mundo. Las semillas germinan en plantas que crecen, florecen y producen nuevas semillas. Números grandes de personas empiezan su educación formal en el nivel preescolar y continúan hasta que han adquirido una profesión. Estos son ejemplos de procesos que se prestan para el estudio científico. Para aprender acerca de determinado proceso, escogemos ciertos sistemas en los cuales este ocurre y los estudiamos. Por ejemplo, el sistema más obvio que se escogería, al menos inicialmente, para estudiar la fotosíntesis es la hoja verde de una planta. Para estudiar el proceso de la educación dentro de determinada sociedad, examinamos, entre otras cosas, su sistema escolar. Al estudiar los procesos naturales y sociales, aceptamos al tiempo como uno de los parámetros más fundamentales de la existencia y lo asociamos con conceptos como el cambio, la evolución, el crecimiento, el movimiento y el progreso.

Acopiar información no es lo mismo que adquirir conocimiento. Nuestro conocimiento de los sistemas y procesos sociales y naturales es el fruto de un estudio cuidadoso de los datos, de la búsqueda de patrones y del descubrimiento de relaciones entre las entidades que observamos. El descubrimiento de estas relaciones y patrones nos ayuda a llevar a cabo el aspecto más esencial de la indagación científica que es la elaboración de modelos y teorías. De hecho, iniciaremos nuestra exploración de los métodos de la ciencia en la siguiente lección al examinar de qué forma es que se crean tales modelos.

En los últimos siglos se ha empleado, con gran éxito, la metodología científica para descubrir el funcionamiento del universo material. También se ha tenido algo de éxito en la explicación de fenómenos sociales, políticos y culturales. Desafortunadamente, la dimensión moral y espiritual de la vida humana no ha recibido la misma atención. ¿Será posible, podríamos preguntar por ejemplo, aprender acerca del desarrollo moral y espiritual por medio del mismo conjunto de actividades –la observación, la medición, la experimentación, la identificación de patrones y relaciones, y la elaboración de modelos y teorías? ¿Tiene la ciencia la capacidad de estudiar lo espiritual así como lo material? ¿Podría al menos ayudar? A través de la historia, la espiritualidad ha estado ligada estrechamente con la religión¹. ¿Cuál es el papel de la religión, entonces, en nuestros esfuerzos por entender el mundo y por contribuir a su transformación? Intentaremos abordar estas preguntas en las lecciones finales de esta unidad para volver a mirarlas en la siguiente unidad.

2 Modelos y Teorías

Ustedes ya deben estar familiarizados con la idea –mencionada a menudo en nuestros textos de ciencias– que una de las tareas principales de la indagación científica es la de crear modelos de los sistemas y procesos del mundo real. Para examinar la naturaleza de los modelos científicos consideremos el enunciado más básico de la teoría atómica:

¹ Nota del editor: el concepto de religión utilizado aquí se refiere a las enseñanzas y principios

Toda la materia está hecha de partículas extremadamente pequeñas.

Este enunciado aparentemente sencillo nos permite crear en nuestras mentes un modelo que explica algunas de las propiedades generales de la materia, en su fase sólida, líquida y gaseosa. El modelo se formula en el siguiente párrafo:

En los sólidos, estas partículas de materia están fuertemente ligadas entre sí y el único movimiento posible para cada una consiste en oscilaciones alrededor de una posición fija. En consecuencia, un sólido mantiene su forma cuando se mueve de un lugar a otro. En los líquidos, la ligazón entre las partículas es mucho más débil; las partículas pueden desligarse y rozarse unas con otras. Es la razón por la cual los líquidos fluyen y toman la forma del recipiente que los contiene. En un gas, las partículas no están ligadas entre sí. Ellas están en constante movimiento, chocan unas con otras y con las paredes del recipiente. Es por esto que los gases finalmente ocupan todo el espacio que tienen disponible.

Noten que el modelo que estamos presentando aquí ha sido creado con palabras, no es un objeto físico como los pequeños modelos de carros con los cuales juegan los niños. Desde luego que es posible hacer una representación física del párrafo anterior, por ejemplo, al usar pequeñas bolas redondas hechas de madera o alguna otra sustancia liviana. Para crear la imagen de un objeto sólido, las bolas están conectadas unas a otras por pequeños resortes en filas y planos paralelos. Cada bola, que representa una partícula de materia, puede oscilar alrededor de su posición de equilibrio pero no puede moverse libremente, independiente del objeto total. La representación de un líquido consiste de una colección de bolas, ahora desconectadas entre sí. Al observar el comportamiento de pilas de bolas cada vez más pequeñas a medida que se pasan de un recipiente a otro, es fácil imaginar un líquido como un número grande de partículas extremadamente pequeñas amontonadas en un recipiente. La manera más fácil de representar un gas es por medio de un recipiente cuya base esté conectada a un pequeño motor que lo hace subir y bajar rápidamente. El movimiento constante de la base se trasmite a las pequeñas bolas que, como las partículas de un gas, se mueven por todo el espacio disponible dentro del recipiente.

Con esta rudimentaria representación física en mente, tratemos de responder unas cuantas preguntas sencillas que nos ayudarán a obtener nuestra primera percepción importante acerca de la naturaleza de los modelos científicos:

1. ¿Son las partículas de la materia realmente bolas diminutas, millones de veces más pequeñas que las usadas en nuestra representación?
2. ¿Están las partículas de la materia de un sólido realmente conectadas por resortes pequeñísimos hechas de alguna sustancia especial?
3. ¿Existe una correspondencia exacta entre el comportamiento de una de las bolas de la representación física de nuestro modelo y el de una partícula de materia? Por ejemplo, ¿se mueve una partícula de materia en un sólido de manera exactamente igual a como lo hace una de las bolas ligadas a sus vecinas mediante un resorte?

La respuesta a estas tres preguntas es claramente negativa. Las partículas de materia no son pequeñas bolas; de hecho, el párrafo que describe nuestro modelo no dice nada acerca de la forma de las partículas que conforman la materia. No hay ninguna sustancia material que ate entre sí las partículas de materia; ellas están ligadas por fuerzas bastante complejas. El movimiento de las partículas de materia es mucho más complejo que el de las bolas de

nuestro modelo físico; el modelo hecho con bolas y resortes no es un agrandamiento de un pedazo de materia real.

Sin duda, en el caso del modelo hecho de bolas y resortes, usted encontrará que estas respuestas son fáciles de aceptar. Desde luego que los mismos tipos de respuestas serán válidas para cualquier modelo físico que podríamos crear para poder visualizar algún aspecto del comportamiento del universo. Pero cuando hablamos de modelos en nuestras discusiones de la ciencia, pocas veces nos referimos a representaciones físicas. Los modelos de los que hablamos son conceptos de pensamiento y lenguaje humano. Lo que estamos examinando aquí es el proceso de crear modelos en palabras y oraciones tal como el párrafo que hemos presentado en esta lección para explicar algunas de las propiedades de la materia en sus tres fases. ¿Estos modelos describen el mundo como realmente es o también sufren de las limitaciones de los modelos físicos? En el caso de un sólido, por ejemplo, ¿la frase “partículas extremadamente pequeñas ligadas por fuerzas complejas y organizadas en filas y planos” realmente lo describe tal como es? Esta es una pregunta importante que intentaremos explorar en las siguientes lecciones.

3 Extendiendo el Rango de Validez de un Modelo Científico

Para poder responder la pregunta que hicimos al final de la lección anterior, tenemos que entender que un modelo científico tiene un rango finito de validez, es decir que sólo puede explicar conjuntos limitados de observaciones. El párrafo que hasta ahora constituye nuestro modelo de la materia en sus tres fases, por ejemplo, es por sí sólo inadecuado si queremos entender por qué toda sustancia puede existir en las tres fases – por supuesto a diferentes temperaturas. Es una observación común que a medida que añadimos calor a un sólido y aumentamos su temperatura, finalmente llega a un punto al cual se funde; la sustancia cambia de fase sólido a líquido. Si continuamos agregando calor al líquido, a una temperatura fija para cada sustancia, se presenta de nuevo un cambio y entra a su fase gaseosa. Pero nuestro modelo, tal como está, no incluye los conceptos de calor y temperatura, y si se pretende que continúe siendo útil, tenemos que añadirle más enunciados y hacerlo más complejo. Por supuesto que ustedes ya saben que existe otro enunciado básico sobre la teoría atómica que nos ayuda explicar las observaciones que hacemos de un cambio de fase:

El calor es una forma de energía. Cuando se calienta un objeto, la energía del movimiento de sus partículas que lo constituyen, conocida como energía cinética, aumenta. Este aumento de la energía cinética se mide por la elevación de la temperatura del objeto.

Con este otro enunciado, podemos ahora explicar lo que sucede cuando una porción de materia experimenta un cambio de fase.

Una elevación en la temperatura de un sólido significa que sus partículas están oscilando más rápido alrededor de su posición de equilibrio. A medida que la energía cinética de una partícula aumenta, es más fácil que se rompa el enlace con sus vecinas. A cierta temperatura, todas las partículas logran obtener energía suficiente para romper sus vínculos y el pedazo de materia cambia de sólido a líquido. De nuevo, al aplicar más calor al líquido, se incrementa la energía cinética de las partículas. A medida que esto sucede, más y más de estas partículas son capaces de superar las fuerzas que tienden a mantenerlas juntas en la fase líquida. A cierta temperatura, es decir, a cierto valor de la energía cinética promedio de las partículas, todas quedan libres para moverse en el espacio que tienen disponible. La porción de materia nuevamente ha cambiado de fase, esta vez de líquida a gaseosa.

Entonces, tenemos aquí una de las características más importantes de los modelos científicos: Los enunciados que constituyen un modelo solo explican un número finito de conjuntos de observaciones. Todo modelo tiene un rango finito de validez. Tres situaciones pueden surgir cuando se hacen nuevos tipos de observaciones que no se consideraron al formular el modelo: 1) el modelo, tal como está, puede explicar las nuevas observaciones; 2) se deben hacer ajustes y adiciones al modelo a fin de explicar los nuevos datos; y 3) el modelo simplemente resulta inadecuado, su rango de validez no se puede extender para incluir las nuevas observaciones, y se necesita un nuevo modelo. Todos los modelos, por supuesto, enfrentan tarde o temprano este destino final. ¿Cuál de las tres alternativas anteriores encontramos en esta lección?

4 Las Partículas de la Materia

Los párrafos que, hasta el momento, constituyen nuestro modelo de la materia pueden sólo explicar cualitativamente algunas observaciones muy generales del comportamiento de la materia en sus tres fases. A medida que los científicos estudian las miles de sustancias que conforman nuestro planeta y miden sus propiedades, se ven forzados a incorporar a este modelo, en cada instancia, nuevos enunciados, tanto cualitativos como cuantitativos, haciéndolo más complejo y más completo. Conforme hacen esto exitosamente, el conjunto de enunciados cualitativos y cuantitativos que constituyen el modelo crece y en validez se vuelve cada vez más confiable. De hecho, históricamente, este proceso ha dado lugar a lo que aquí estamos llamando la teoría atómica de la materia, una teoría que explica un conjunto impresionantemente grande de observaciones.

Los científicos usan las palabras modelo y teoría de varias maneras, a veces indistintamente. La manera en que nosotros las vamos a usar en este texto –y esto simplemente es tema de acuerdo entre nosotros– es llamar “modelo” a una “teoría” sólo cuando haya crecido lo suficiente como para explicar un conjunto razonable de diversas observaciones. De hecho, para poder describir los diferentes aspectos de los fenómenos que estudiamos, aceptamos que una teoría podría incluir varios modelos que son, desde luego, consistentes entre sí. La teoría atómica de la materia se utiliza aquí para ilustrar esta forma de ver los modelos y teorías científicos.

Para explicar la clase de observaciones que hemos discutido hasta ahora, no hemos tenido la necesidad de explorar la estructura interna de las partículas de la materia. En realidad podemos continuar de esta manera y explicar otras observaciones, por ejemplo la manera en que un sólido se expande a medida que aumenta su temperatura o la relación entre presión, volumen, y temperatura en los gases. Tendremos, entonces, un conjunto bastante grande de observaciones acerca del comportamiento de la materia –de todas las sustancias– que se pueden explicar simplemente asumiendo que la materia está hecha de partículas diminutas cuya naturaleza no necesitamos especificar. Pronto, sin embargo, especialmente cuando empecemos a estudiar las propiedades químicas de la materia –por ejemplo, la manera en que el oxígeno y el hidrógeno interactúan entre sí para crear agua, una sustancia que es totalmente diferente a sus dos componentes– nos vemos obligados a hacer una pregunta inevitable: ¿Cuál es la estructura interna de las partículas de la materia? ¿De qué están hechas? ¿Existe una sola clase de partícula de la cual toda la materia está hecha? Para responder estas preguntas, necesitamos un modelo de la estructura de las partículas que, de acuerdo con nuestra teoría, conforman la materia.

En sus cursos de ciencias, deben haber examinado muchos de los enunciados de dicho modelo. No necesitamos repetirlos todos aquí; para nuestros propósitos basta con considerar un enunciado que, al agregarse a los anteriores, aumenta bastante nuestra capacidad de explicar muchas más propiedades de la materia. Este es el primer enunciado de nuestro modelo de las partículas de la materia.

La materia, que es un concepto general que usamos para referirnos a todas las sustancias materiales, puede dividirse en dos categorías: mezclas y sustancias puras. Las mezclas se componen de dos o más sustancias que pueden ser separadas una de la otra físicamente. Por ejemplo, el agua salada es una mezcla de dos sustancias puras que se pueden separar al calentar y evaporar el agua. Además, se pueden agregar varias cantidades de sal al agua, y el resultado siempre será una mezcla de las dos. Las sustancias puras también pueden ser compuestos hechos de dos o más sustancias, pero los compuestos resultan de reacciones químicas de cantidades muy específicas y sus componentes. Entonces, por ejemplo, una cierta cantidad de oxígeno y una cierta cantidad de hidrógeno experimentan una reacción química que da lugar al agua, que es una sustancia totalmente diferente a cualquiera de los dos.

De las numerosas sustancias puras que existen en nuestro planeta, sólo una cantidad relativamente pequeña –cien o algo más tales como el hidrógeno, el oxígeno, el sodio, el hierro, el cobre, el uranio– no se componen de otras sustancias. Estos se conocen como *elementos*, o *sustancias elementales*. Las partículas constituyentes de los elementos se llaman *átomos*. Un átomo es la partícula más pequeña de una sustancia elemental que todavía retiene la identidad de ese elemento. Entonces, un átomo de hierro es el pedazo más pequeño de hierro que sigue siendo hierro. Cualquier cantidad de un elemento, aún del tamaño de una mota de polvo, se compone de un número bastante grande de átomos de dicho elemento; existen en el universo tantas clases de átomos –más de cien– como elementos.

Los átomos, en cambio, se componen de tres partículas elementales –*protones*, *neutrones*, y *electrones*. Todos los átomos se componen de estas tres partículas; la identidad diferente de cada una es el resultado del número de protones, neutrones y electrones que contiene. Por ejemplo, un átomo de hidrógeno se compone de un protón, un neutrón y un electrón; un átomo de oxígeno se compone de ocho protones, ocho neutrones y ocho electrones; y así sucesivamente. La manera en que estas tres partículas elementales se juntan es cuando los protones y los neutrones se enlazan para formar el núcleo de cada átomo, una concentración de materia bastante alta en una porción de espacio bastante pequeña. El resto

del átomo es casi un vacío total en el cual los electrones se mueven en formas complejas. Las propiedades de cada elemento se pueden explicar en términos de la configuración de sus electrones.

Los átomos se pueden enlazar para crear moléculas. Cada combinación de dos o más átomos da lugar a una *molécula* distinta. Las moléculas son las unidades estructurales de todas las sustancias compuestas. Así, por ejemplo, dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno conforman una molécula de agua e incluso una gota de agua está conformada de una enorme cantidad de tales moléculas.

Desde luego que este es sólo el punto de partida del modelo de la estructura interna de los constituyentes de la materia. En su forma actual, explicará sólo un número limitado de las observaciones que hacemos de cómo se comporta la materia. A medida que hagamos más y más observaciones, por ejemplo, relacionadas con las propiedades químicas de varias sustancias, tendremos que agregar nuevos enunciados a nuestro modelo usando palabras, números y símbolos matemáticos. Por ejemplo, necesitaremos enunciados que expliquen cómo se enlazan los átomos para crear moléculas.

Necesitaremos enunciados acerca de cómo los átomos y las moléculas se mantienen juntos en un sólido o se asocian unos a otros en un líquido. El tener un modelo de la estructura de las partículas de la materia también nos permitirá explicar muchas de las propiedades de sólidos o líquidos específicos, en términos de las propiedades de los átomos y las moléculas específicas de las cuales están formados. Esto no lo podíamos hacer antes cuando nuestra teoría sólo nos decía que la materia estaba compuesta de partículas extremadamente diminutas. Es claro que al elaborar un buen modelo de la estructura de los átomos y las moléculas, hemos extendido el rango de validez de lo que estamos llamando la teoría atómica de la materia.

Resulta que la teoría atómica –descrita apenas superficialmente en estas lecciones– es una teoría realmente poderosa. Da lugar a enunciados que explican un sinnúmero de observaciones relacionadas con las propiedades de numerosas formas de materia –todas consistentes con la división de sustancias puras en dos: elementos hechos de átomos que a su vez se componen de protones, neutrones y electrones, y compuestos hechos de moléculas que son varios átomos enlazados entre sí. Pero de acuerdo con lo que hemos dicho antes, cada teoría tiene un rango finito de validez y se debe llegar a un punto en que las observaciones relacionadas con algunas de las propiedades de la materia no pueden ser explicadas por un conjunto de enunciados que constituyen la teoría atómica. Esto en realidad ocurre al empezar a enfocarse en el átomo y estudiar el núcleo y el comportamiento de los electrones. Históricamente, cuando se observaron por primera vez las propiedades de estos constituyentes del átomo, se hizo un gran esfuerzo por crear modelos de cómo son los protones, neutrones y electrones, y sus interacciones, de tal manera que la teoría atómica, más o menos en la formulación que hemos presentado aquí, se expandió y su rango de validez se extendió. Pero resultó que muchos de estos esfuerzos estaban destinados al fracaso, y en maneras que intentaremos ilustrar en la siguiente lección, los científicos se vieron obligados a hacer cambios fundamentales en la forma de pensar acerca de las partículas de la materia.

5 La Teoría Cuántica

Hagamos un resumen de lo que se discutió en la lección anterior. El enunciado básico de la que hemos llamado teoría atómica es que la materia está compuesta de partículas

diminutas. A pesar de que estas partículas son muy pequeñas como para verlas, aun con la ayuda del más poderoso microscopio, esperamos que se muevan y se comporten como los pequeños trozos de materia que realmente podemos ver, por ejemplo las partículas de arena, con base en las cuales formamos nuestra imagen mental de una partícula. Que todas las sustancias materiales estén conformadas de partículas diminutas es sólo el primer enunciado de la teoría atómica de la materia. La capacidad que tiene la teoría de explicar diferentes tipos de observaciones aumenta a medida que se añaden más enunciados, consistentes todos el uno con el otro. De particular significado a este respecto, son los enunciados que crean para nosotros un modelo de la estructura interna del átomo. Este modelo describe al átomo en términos de un núcleo y electrones, los últimos existiendo en configuraciones específicas en el vacío alrededor del núcleo. La imagen que tenemos de los electrones y los núcleos continúa siendo la de partículas, ahora mucho más pequeñas que el átomo mismo. Sin necesidad de profundizar en lo que realmente ocurre dentro del núcleo o de decir mucho acerca de los electrones, nuestro modelo nos permite explicar innumerables propiedades físicas y químicas de las sustancias que conforman nuestro planeta.

Pero, ¿qué sucede realmente cuando miramos más de cerca dentro del átomo? Lo más sorprendente es que al observar el comportamiento de la materia en porciones pequeñísimas como la de los átomos y sus componentes, sucede muy a menudo que las cosas que consideramos como partículas, de ninguna manera se comportan como tales. Así, nos vemos obligados a reconsiderar el concepto más básico de nuestra teoría –el concepto de una partícula de materia– y a buscar nuevos modelos y teorías que expliquen nuestras observaciones en estas regiones extremadamente pequeñas del espacio. Sin embargo, es importante reconocer que una vez que esté formulada, la nueva teoría no comprueba que la anterior sea incorrecta; simplemente define sus límites. Con la ayuda de la nueva teoría, continuamos nuestra indagación acerca de la naturaleza de la materia, buscando explicar observaciones que estén por fuera del rango de validez de la teoría atómica, al menos en la manera en la que la hemos presentado aquí. Sabremos, por supuesto, que no importa cuán sofisticada y poderosa sea nuestra nueva teoría, también tendrá sus límites; seguramente haremos observaciones que estén por fuera de su rango de validez.

Para poder ilustrar este punto con un ejemplo, pensemos en algunas de las características de la materia tal como la conocemos en nuestra experiencia diaria. ¿Puede una porción de materia desaparecer de un lugar y, en ese mismo instante, aparecer en otro lugar? Si viéramos una porción de materia que ocupa una cierta posición en el espacio y un tiempo después la viéramos en otro punto, ¿no supondríamos que ha tomado una cantidad finita de tiempo para moverse del primer punto al otro? Además, si no hubiera caminos posibles para que un objeto se mueva del punto A al punto B, digamos por causa de algún tipo de barrera, ¿esperaríamos ver después el objeto que ahora está en el punto A en el punto B? Por ejemplo, si un objeto estuviera en una caja cerrada, ¿esperaríamos encontrarlo fuera de la caja a menos que ésta hubiera sido abierta?

Analicemos ahora la siguiente situación: Un niño juega con una pelota en un área completamente encerrada entre cuatro paredes de vidrio de modo que usted puede observar todo lo que sucede. Las paredes de vidrio son sólidas, no hay huecos por donde pueda pasar la pelota y son fuertes para poder resistir el máximo impacto de ésta. A medida que el niño juega, la bola se mueve en todas direcciones, rebotando en el piso y en las paredes. La fuerza del niño y la elasticidad de la pelota determinan el límite de altura al que puede rebotar la pelota, y si se aseguró de que las paredes fueran dos, tres, y si se quiere, diez veces más altas que la altura máxima, no habrá la más mínima posibilidad de que la bola supere las paredes

y se salga de la cancha. Otra manera de enunciar esa idea es diciendo que la bola nunca puede adquirir la energía suficiente para superar la barrera que le hemos puesto.

Suponga que un día usted está observando al niño jugar dentro de la cancha en las condiciones descritas anteriormente. En algún momento usted deja de observar al niño y comienza a mirar hacia el área fuera de la cancha. De repente, en un abrir y cerrar de ojos, se da cuenta de que la bola está rebotando cerca de usted, por fuera de las cuatro paredes. De seguro que algo debe haber fallado. Examina las paredes y se asegura de que el vidrio no se ha roto. Observa al niño y ve que no parece poseer poderes extraordinarios de los cuales usted no se haya percatado. Vuelve entonces a mirar todo, esta vez con absoluta concentración. La pelota está adentro y el niño está jugando con ella. Por un rato largo las cosas parecen normales. Entonces decide mirar hacia el área fuera de las paredes. Y de nuevo, sin que evidentemente nada extraño haya sucedido, de repente la bola está afuera. ¿Qué diría usted ahora? Después de repetir sus observaciones muchas veces, tendría que llegar a la conclusión de que la bola tiene algunas propiedades mágicas. No solamente puede desaparecer en un punto del espacio y en el mismo instante materializarse en otro punto, sino que lo hace sólo si su atención está puesta en el segundo lugar. De alguna manera, si decide buscar la pelota por fuera de las paredes, existe la probabilidad de que aparezca allí. De seguro, ningún trozo de materia que usted conozca podría jamás hacer algo tan imposible.

Sucede que podemos crear situaciones similares a las mencionadas arriba para partículas minúsculas de materia, por ejemplo el electrón. La barrera que establezcamos no será creada por paredes materiales sino por fuerzas eléctricas que confinan al electrón a una pequeña porción del espacio. Podemos asegurarnos de que la energía total que posee sea completamente insuficiente para superar la barrera. Nuestra imagen de una partícula nos asegura que en tal caso el electrón nunca podrá encontrarse fuera de la región a la cual ha sido confinado. Pero lo que sucede en la realidad es algo totalmente diferente. Aún cuando la barrera es mucho mayor que la energía del electrón, de vez en cuando éste aparece en alguna parte por fuera de la región de confinamiento; de hecho no hay nada que podamos hacer para confinar completamente al electrón en una porción dada del espacio. Sucede que esta es una propiedad muy útil del electrón sin la cual nuestros dispositivos electrónicos no funcionarían tal como lo hacen. El problema es que, para nuestra noción de partícula de la materia, es imprescindible que ocupe alguna porción del espacio y se mueva por caminos posibles; no esperamos que una partícula de materia surja de repente en alguna parte sin que haya tenido la posibilidad de moverse hasta allí.

Un buen número de otras observaciones confirman el hecho de que el comportamiento de partículas extremadamente pequeñas como los electrones desafía muchas de las nociones que tenemos de lo que es una partícula de materia. A fin de explicar tal comportamiento, se ha construido una profunda y bella teoría nueva denominada mecánica cuántica, que desafortunadamente no podemos discutir aquí. Lo que es importante que reconozcan en este momento es que hay observaciones que demuestran los límites del modelo atómico que hemos descrito en las lecciones anteriores. La mecánica cuántica ha tenido que crear un conjunto entero de enunciados para explicar el comportamiento de constituyentes diminutos de la materia como partículas, bajo algunas condiciones, y como ondas bajo otras.

Pero ustedes todavía podrían hacer la pregunta: ¿Entonces qué, en el análisis final, es un electrón, una partícula o una onda? La respuesta que obtendrán de la mayoría de los científicos hoy en día es que, aunque tengan el derecho de hacer la pregunta, no tienen el derecho de esperar una respuesta. Después de todo, la única cosa que puede hacer la ciencia es crear modelos de alguna porción de la realidad, cada uno explicando un conjunto finito de tipos de observaciones. El conjunto podría ser muy grande y eso justificaría que nosotros

llamáramos teoría al modelo, pero siempre es finito. Las teorías y los modelos existen en nuestras mentes y se describen y se comunican por medio del lenguaje. Los modelos no constituyen la realidad misma. La realidad existe, pero la ciencia se trata de las observaciones que hacemos de ella; organiza, describe y explica la percepción de un universo infinito que mantiene la enormemente potente, pero en últimas finita mente humana.

6 La Realidad

En lecciones anteriores hemos considerado el proceso de construcción de modelos científicos que reconocemos como la tarea central de la ciencia. Nos valimos de algunos aspectos de la teoría atómica de la materia para adquirir comprensión sobre la naturaleza de esta tarea, y esto a su vez nos generó algunas preguntas fundamentales acerca de la realidad misma. Lo que creamos que es la realidad contribuye en gran parte a la manera como pensemos acerca de la ciencia. Entonces, es importante explorar nuestra noción de la realidad –por más incompleta que sea– para asegurar que no surjan ciertos conceptos erróneos. De hecho, si se examina de manera superficial, el contenido de las lecciones anteriores parece sugerir una explicación de la realidad que está muy lejos de lo que tenemos en mente. Algunos podrían argumentar que estamos queriendo decir que existe un universo externo a nuestra mente que se puede llamar *mundo exterior*. Nuestros cuerpos físicos son definitivamente parte de ese mundo exterior, pero nuestras mentes, de una manera que no entendemos bien, operan en un mundo interior en cada uno de nosotros. Desde este mundo interior, nuestra mente observa los fenómenos del mundo exterior y hace modelos de ellos, los cuales se expresan por medio del lenguaje tanto cualitativo como cuantitativo. El lenguaje es el medio a través del cual comunicamos a otros las observaciones que hacemos del mundo exterior; el lenguaje nos permite construir colectivamente modelos y teorías que tratan de describir ese mundo y explicar sus operaciones. En este sentido, el lenguaje conecta nuestros mundos interiores y nos permite lograr una descripción común del universo.

Por supuesto que no hay ninguna razón para creer que esta división simple del mundo, uno exterior y otro interior, sea válida. A lo largo de gran parte de la historia y para la mayoría de culturas, la división entre el mundo interior y el exterior no ha sido muy tajante. Sin embargo, la separación estricta entre la mente que observa, describe y explica, y el mundo exterior que es observado, descrito y explicado, es un aspecto sobresaliente del sistema de pensamiento que, en las pasadas centurias, ha dado lugar a la ciencia moderna. Dado el éxito extraordinario de la ciencia moderna, no se puede simplemente hacer caso omiso de los supuestos básicos en que se ha fundamentado. Así, por siglos, la división entre el observador y lo observado, entre la mente y la materia, no ha sido cuestionada. No obstante, en décadas pasadas, el progreso científico mismo ha cuestionado esta tajante separación. Como resultado, se han vuelto a plantear viejas preguntas y han surgido muchas nuevas. De hecho, un gran número de científicos está de acuerdo con la idea de que el progreso futuro de la ciencia debe necesariamente involucrar un entendimiento más satisfactorio de la naturaleza de la conciencia humana, cómo surge ésta, cómo opera, y cómo se conecta al mundo que el ser humano observa, describe y trata de explicar.

Las ideas expresadas en los dos párrafos anteriores son demasiado complejas como para analizarlas aquí en alguna profundidad. La única razón por la que se han incluido ha sido para hacernos conscientes de que hay una concepción de la realidad que subyace al proceso de indagación científica, que tiene que ser cuestionada y elaborada una y otra vez a medida

que avanza la ciencia. Sin embargo, hay un rasgo fundamental de la concepción de la realidad sin la cual la ciencia no sería lo que es. En términos sencillos, la realidad existe y no es producto de la imaginación humana. Todas nuestras mentes, al igual que el universo que observamos, tienen una existencia real. Y los enunciados que hacemos en nuestras descripciones científicas del mundo y que nos comunicamos los unos a los otros son acerca de este mundo real, a pesar de que su relación con ella sea muy compleja.

Aunque no constituyen pruebas del argumento que estamos haciendo acerca de la realidad, observaciones como la siguiente puede arrojar luz sobre lo que estamos diciendo aquí. Considere un enunciado que transmite la idea de que un determinado evento ha tenido lugar, por ejemplo, “el avión ha aterrizado”. Si cientos de individuos que miran una pista de aterrizaje coinciden en un momento dado en que un avión ha aterrizado, debe haber entonces un avión, una pista de aterrizaje, un movimiento –todo externo a las mentes de estas personas– que todos ellos están observando. Más aún, el hecho de que cientos de mentes puedan observar un evento y llegar a la misma conclusión implica que los mundos interiores de todos los observadores tienen también una existencia real. Hay una realidad que contiene todo, incluido tanto lo que hemos llamado el mundo exterior como las mentes de todos los seres humanos. Todos somos parte de esa realidad y al mismo tiempo observadores y exploradores de la misma, y, con la ayuda del lenguaje, la describimos y tratamos de explicar por qué funciona tal como nuestras observaciones y nuestro razonamiento nos dicen que funciona.

7 El Lenguaje Científico

Trata de Eliminar la Ambigüedad

Hemos expresado que creemos en la existencia de una realidad física observable que puede ser descrita y explicada con la ayuda del lenguaje. El lenguaje también nos permite explorar otros aspectos de la realidad tales como los pensamientos, los sentimientos, la realidad social y la realidad espiritual. Las características del lenguaje que empleamos para describir un determinado aspecto de la realidad usualmente dependen de la naturaleza específica de nuestra exploración. Por tanto, hablamos de tales categorías como el lenguaje de la ciencia, la poesía, el arte, la filosofía y la religión. En las siguientes cuatro lecciones examinaremos algunas de las características de lo que podría considerarse un lenguaje científico.

Desde el momento en que nos despertamos por la mañana hasta el último segundo antes de dormirnos, nuestras mentes continuamente hacen un trabajo muy especial, el pensar. Es irrelevante si nuestros pensamientos son elevados o bajos, inteligentes o necios, benéficos o inútiles; el hecho es que, para existir, la mente humana tiene que ir de un pensamiento a otro. Los pensamientos que corren por nuestras mentes son a menudo vagos. Pasan rápidamente y se evaporan antes de que tengan oportunidad de tomar forma. Cuando sí logran moldearse, dan lugar a ideas; estas tienen formas más consistentes y permanentes, y duran más tiempo que el diluvio constante de pensamientos fugaces.

Un amigo les sugiere a algunos de ustedes que vayan a caminar juntos, después de lo cual él le da las gracias por la idea. Ustedes se refieren a alguien diciendo, “Ella está llena de buenas ideas.” Dos músicos discuten sus pensamientos acerca de una pieza de música que están componiendo juntos. Mientras tratan de resolver un problema, de repente usted exclama, “¡Tengo una idea!” En realidad, ¿qué es una idea? Sin importar cuán difícil sea, traten de explicar lo que esta palabra significa para ustedes.

Entre los muchos tipos de ideas que existen, o que de alguna manera vienen a la mente humana, están aquellas que nos permiten distinguir las cosas y nombrarlas. Estas ideas, que por lo general son bastante precisas y específicas, se llaman conceptos. Pregúntense, por ejemplo, cómo es que al ver un caballo, inmediatamente lo identifican como caballo y no como otro animal. En alguna parte de su mente debe existir la idea abstracta y generalizada de un caballo –el concepto de caballo– que les permite hacer tal identificación. Sus mentes realmente formaron este concepto después de numerosas observaciones de animales individuales notando que pertenecen a grupos, cada uno con características comunes que los diferencian de otros grupos de animales. Han aprendido a asociar de manera gradual algunas de estas características con un nombre particular, en este caso caballo, que corresponde a un concepto muy específico grabado en sus mentes. Se podría decir lo mismo para cada cosa material que tenga nombre en el lenguaje humano. De hecho, la mayoría de las cosas se asocian con más de un concepto simultáneamente. Por tanto, los conceptos de un caballo, de un animal, de un mamífero y de un ser vivo pueden aplicarse todos a un solo caballo y ser empleado para identificarlo en varios contextos.

Pero no todos los conceptos que existen en la mente humana se asocian con objetos materiales. Consideremos, por ejemplo, el concepto de espacio. La mente observa cosas materiales y nota que están localizadas. Cada objeto está en un lugar específico; tiene una posición específica. El concepto del espacio parece nacer de tales observaciones. Es un concepto tan fundamental que, en su ausencia, sería imposible siquiera imaginar la existencia de objetos materiales.

Lo mismo es aplicable al concepto de tiempo. No se podría entender el mundo sin el concepto de cambio, y el cambio es impensable sin recurrir al concepto del tiempo. Otro concepto fundamental es el de causalidad. Sin el concepto de causalidad sería difícil para la mente humana conectar varios eventos del universo; nuestras vidas e incluso el mundo entero sería una mera colección de eventos desconectados.

A medida que nos apartamos de los objetos materiales y consideramos los variados conceptos abstractos con los cuales trabaja la ciencia, se hace claro que es bastante difícil, y hasta imposible, hacer definiciones precisas de un buen número de ellos. La dificultad aumenta enormemente cuando se mira más allá de la realidad conocida como el universo físico y se intenta también hacer enunciados válidos acerca de la realidad social y espiritual. ¿Cómo va a resolver el lenguaje científico la enorme red de conceptos interconectados que se necesitan para el funcionamiento de la ciencia, muchos de los cuales sólo se pueden entender parcialmente en el mejor de los casos? No existe una respuesta sencilla a esta pregunta, pero hay una cosa cierta. La manera en que los científicos utilizan la ciencia para aclarar enunciados una y otra vez les ayuda a encarar este desafío. Los científicos son personas hablantes –al menos en relación con sus propias materias– y no tienen miedo de repetir las cosas, cada vez con palabras levemente diferentes, para poder lograr claridad. Esta clarificación progresiva de ideas definitivamente es una característica del lenguaje científico. Requiere del razonamiento cuidadoso por medio de lo que podría empezar como una mera noción intuitiva y sólo gradualmente evolucionar hasta llegar a ser un concepto relativamente

bien definido. Implica resolver implicaciones e identificar significados sutiles. Demanda una capacidad extraordinaria de ver más adelante las posibles contradicciones. Sobre todo, depende de la capacidad de la mente de dar pasos creativos, no caóticos, sino saltos calculados que la mayoría de las veces permiten aterrizar en tierra más firme.

Establecido el proceso de clarificación progresiva de las ideas, el lenguaje mediante el cual la ciencia describe cualquier fenómeno se va liberando gradualmente de ambigüedades, a medida que el entendimiento del fenómeno avanza. El lenguaje de la ciencia, podemos decir, busca claridad y trata de eliminar las ambigüedades. ¿Qué significa para ustedes la palabra ambiguo? Traten de pensar en un enunciado ambiguo y luego en otro que sea claro y libre de ambigüedad. ¿Pueden identificar lo que distingue al uno del otro?

La palabra ambigüedad tiene varios significados. Para nuestras discusiones aquí, adoptaremos una definición más bien sencilla; diremos que un enunciado es ambiguo si, en determinado contexto, tiene más de un significado. Si miramos la evolución de algunos de los conceptos más comunes de la ciencia, veremos que temprano en su historia no significaban lo mismo para todos los científicos. En este sentido, el lenguaje que se emplea para referirse a ellos era ambiguo. Durante mucho tiempo, por ejemplo, palabras como fuerza, energía y poder fueron utilizadas por los científicos de distintas maneras. A medida que el campo de la física avanzaba, cada concepto llegaba a ser cada vez mejor definido y, hoy, expresiones como las de energía solar, energía cinética, fuerza de gravedad, o energía eléctrica tienen significados únicos que todos los científicos entienden. Ustedes apreciarán las implicaciones de esta exclusividad de significado si piensan en otros usos de tales palabras en la conversación diaria. ¿Entiende la gente la misma cosa, por ejemplo, cuando escuchan que alguien posee poderes espirituales impresionantes? ¿Qué tanto importa si no los poseen?

Los científicos creen que es absolutamente necesario usar un lenguaje en el cual las palabras y los conceptos tienen significados acerca de los cuales todos están de acuerdo. Pero esto se hace, como hemos dicho, por medio de un proceso de clarificación progresiva de las ideas; el lenguaje científico no consiste en una serie de definiciones exactas, premisas innegables, y conclusiones incuestionables a las que se ha llegado por medio de un razonamiento lógico impecable. Sería un error subestimar la operación de las facultades como la intuición y la imaginación en los procesos de la indagación científica. Hacerlo sería no captar el significado completo de la ciencia como la fuerza que penetra los misterios de la existencia, que descubre las interrelaciones entre las realidades de las cosas, que impulsa a la humanidad a explorar lo desconocido, a navegar en un mar de incertidumbre, y a buscar destellos de la extraordinaria belleza que es inherente al orden del universo.

8 El Lenguaje Científico

Busca la Racionalidad

Otra característica importante del lenguaje científico es su racionalidad. ¿Qué significa para ustedes la palabra racional? ¿Cuál sería un argumento racional? ¿Cuál sería un argumento irracional? ¿Existe algún proceso del pensamiento que la mente humana lleve a cabo que podamos llamar razonamiento? ¿Hay algunas reglas de razonamiento que son aceptables para todos los seres humanos?

Como podrán ver a partir de estas preguntas, la racionalidad no es un tema fácil de explorar. De hecho, cientos de volúmenes podrían ser insuficientes para describir lo intrincado del razonamiento humano. En esta lección nos aventuraremos a definir únicamente algunas palabras y conceptos que nos ayudarán a describir esa cualidad del lenguaje científico a la cual nos referimos como su racionalidad.

Ya sea que creamos o no en que el pensamiento racional puede en verdad ser definido con precisión, en lo que sí coincidimos es en ciertas reglas que están relacionadas con el proceso de razonamiento, a las que se les llama usualmente reglas de lógica. Cuando una serie de enunciados se elabora de acuerdo con estas reglas, no tenemos duda en considerarlos como “una serie de enunciados racionales”.

Consideren por ejemplo, la serie de enunciados: “Todas las inyecciones son dolorosas. Me toca aplicarme una inyección. Por lo tanto me dolerá”. En esta serie de enunciados, los dos primeros son premisas y el tercero es una conclusión. La conclusión se deduce de las premisas y el proceso de razonamiento es llamado deducción. Si las premisas fueran ciertas y el razonamiento correcto, entonces la conclusión tendría que ser acertada. Pero supongan que decidimos reemplazar la primera premisa con el enunciado “algunas inyecciones son dolorosas”. Llegar a la conclusión que “me dolerá” implicaría, en este caso, un razonamiento defectuoso; la única cosa que podríamos deducir de la nueva serie de premisas es el enunciado “quizás me duela”. Otra forma de llegar a conclusiones incorrectas por deducción, es empezar con una premisa defectuosa. En el par de enunciados “Todos los perros componen canciones, por lo tanto este perro compone canciones”, el razonamiento es perfectamente bueno, pero la primera premisa, y por lo tanto la conclusión, son erróneas. Por supuesto, estos ejemplos son triviales. Juzgar si uno está siguiendo o no las reglas de la lógica o si está cometiendo errores en el razonamiento propio con mayor frecuencia de la normal, en realidad resulta difícil. Lo que importa para nosotros en este punto es que el lenguaje de la ciencia debe ser tal que nos permita hacer y explicar los juicios necesarios.

La deducción no es el único tipo de razonamiento que emplea la mente humana. Consideren por ejemplo un enunciado sencillo que todos aceptamos, como que un líquido que se calienta, eventualmente alcanzará una temperatura a la cual empezará a hervir. Claramente este enunciado no se ha deducido de una serie de premisas a través de la lógica. Lo que ha sucedido es que los seres humanos repetidamente han visto, en lugares específicos, llevar cantidades determinadas de líquidos a sus puntos de ebullición. En todos estos casos sin excepción, calentar suficientemente el líquido ha hecho que hierva. Estas observaciones han convencido a todos que esto es cierto en todos los casos, en cualquier lugar, para todos los líquidos. El proceso mental usado para llegar a esta conclusión, el que a su vez es bastante racional, es conocido como inducción.

Convencerse a uno mismo de que una conclusión a la que ha llegado es correcta por medio de la inducción no es fácil. Claramente las observaciones específicas que dan lugar a una generalización tienen que ser bastante numerosas y haberse realizado bajo muchas condiciones posibles. Generalizar con base en unas cuantas observaciones no se considera un buen razonamiento, pues fácilmente pueden conducir a enunciados irracionales. Es más, aun cuando una generalización parezca razonable, los científicos dedican gran cantidad de energía a probar que es errónea. Los intentos por falsificar los enunciados elaborados en la ciencia representan un componente importante de la actividad científica. Los científicos realizan esto a menudo cuando examinan las predicciones que hace toda buena teoría científica. Si la predicción resulta ser falsa, la teoría está en problemas. Si prueba ser correcta, la teoría será más creíble. Examinaremos brevemente un célebre ejemplo de este proceso en

uno de los ejercicios de esta lección. Nuevamente, lo que importa para nosotros aquí es darnos cuenta de que el lenguaje de la ciencia debe ser tal que haga posible la expresión clara de las generalizaciones y los intentos que acompañan su falsificación.

La deducción, inducción y falsificación claramente no son los únicos procesos de lo que consideramos pensamiento racional. Existen numerosas palabras que usamos cuando nos referimos a este concepto tales como análisis, inferencia, contextualización, justificación y muchas otras. A pesar de que algún grado de deducción o inducción pueda estar implicado en algunos de ellos, involucran en general otra clase de pasos que a su vez se consideran como pertenecientes al pensamiento racional. Lo que estamos afirmando aquí es que no toda clase de lenguaje se presta para expresar el pensamiento racional con claridad y que se necesita la clase correcta de lenguaje para poder razonar bien. Es incuestionable que el lenguaje de la ciencia –que tiene la capacidad de incorporar el lenguaje de las matemáticas y hasta cierto punto el de la filosofía– realiza bien esta función.

Como pueden ver, apenas hemos dicho algo acerca de las características del lenguaje científico que permiten “buscar la racionalidad”. Todo lo que hemos hecho es afirmar y decir algunas palabras acerca del buen razonamiento. Así que permítannos finalizar esta lección mencionando solamente una característica esencial del lenguaje científico: su consistencia. Una serie de enunciados interrelacionados que proclaman ser racionales deben ser consistentes internamente; los enunciados no pueden contradecirse entre sí. Pueden ver fácilmente la importancia de esta característica del lenguaje de la ciencia a través de los siguientes ejemplos relacionados con las tres leyes del movimiento de Newton.

Supongan que leen una serie de enunciados, una de cuyas premisas corresponde a la primera ley del movimiento de Newton, que dice que si la fuerza externa neta que actúa sobre un objeto es igual a cero, entonces el objeto se moverá a una velocidad constante. Ahora supongan que la serie de enunciados incluye la conclusión de que la velocidad de cierto objeto sobre el cual ninguna fuerza actúa en lo absoluto está cambiando en realidad. Con seguridad concluirían que los enunciados son inconsistentes y que sufren de contradicciones internas. Estos simplemente no cumplen la condición de que los enunciados científicos deberán ser racionales.

Podrían ustedes alcanzar la misma conclusión si llegaran a encontrarse con una serie de enunciados que, por un lado, incluyeran la segunda ley del movimiento de Newton, concretamente, que la aceleración de un objeto es proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él y a la dirección que lleve; por otro lado, describe una situación en la cual la fuerza neta sobre una partícula se encuentra en una dirección y su aceleración en otra. Se sentirían contrariados al encontrar una serie de enunciados que afirman ser científicos y que aceptan la tercera ley de movimiento de Newton –que cuando un objeto ejerce una fuerza sobre otro, este último ejercerá una fuerza sobre el primero en la dirección opuesta– sin embargo implica que la fuerza que un Objeto A ejerce sobre un Objeto B es dos veces la fuerza que B ejerce sobre A.

Ser consistentes es un requisito del lenguaje científico pero es también una característica deseable del pensamiento y la conducta en general. Pero ¿qué tan fácil es, necesitamos preguntarnos, ser siempre consistentes en nuestros pensamientos y acciones? ¿Cómo puede el estudio de la ciencia ayudarnos en nuestros esfuerzos por alcanzar este tan loable objetivo?

9 El Lenguaje Científico

Busca la Objetividad

A menudo escuchamos que una de las características sobresalientes de la ciencia es la objetividad. Tal como aparece expresado este enunciado no se puede tomar por su valor nominal; la objetividad no es un asunto sencillo y cuando se mira alguna de sus implicaciones, de vez en cuando se hace necesario modificar el entendimiento propio acerca de la objetividad de la ciencia. Por supuesto que en estas páginas no pretendemos realizar tan difícil exploración. Lo que aquí haremos es decir algunas palabras en relación con la naturaleza de los enunciados que se suelen llamar objetivos, con el fin de contribuir a sus deliberaciones acerca de la naturaleza del lenguaje científico. ¿Qué significa que un enunciado sea objetivo? ¿Qué es un enunciado subjetivo? ¿Puede un enunciado ser completamente objetivo o totalmente subjetivo?

Para ayudarles a responder estas interrogantes, les presentamos un número de enunciados cuya objetividad se les pide que examinen. Después de que hayan escrito algunas de sus conclusiones acerca de cada enunciado, lean nuestro análisis y compárenlo con el que ustedes hicieron.

Enunciado A: El verde es el color más bonito.

Análisis: El gusto o disgusto por un color es un sentimiento que corresponde al reino de la *experiencia* personal. A pesar de que un número de personas comparta este sentimiento, de ninguna manera éste gozará de un consentimiento universal. Dichos enunciados acerca de la preferencia personal en cuanto al color son totalmente subjetivos.

Enunciado B: Para todos los vehículos que están frente a un semáforo, el *rojo* significa “detenerse” y el *verde* “seguir”.

Análisis: Ciertamente este enunciado no es subjetivo, ya que todos los sujetos involucrados coincidirán en que es cierto. Por lo que, en alguna forma, este debe ser un

enunciado objetivo. Por supuesto que realmente consiste en una expresión de acuerdo entre todos los conductores del mundo y las autoridades del tráfico. Es una convención social. No hay nada en el universo que obligue a que este enunciado sea cierto. Fácilmente todos podrían haber acordado parar con la luz verde y seguir con la roja. El enunciado parece ser objetivo, pero sólo en un sentido más bien trivial.

Enunciado C: Las hojas frescas y saludables de un árbol de aguacate son verdes.

Análisis: Este enunciado no es la expresión de un sentimiento u opinión personal y se podría asumir que todos los sujetos que posean buena visión y hagan buen uso de su razón sostendrán que esto es cierto. Es decir, es posible llegar a un acuerdo universal de que algo es verdad entre los observadores. Todos los sujetos que pronuncien o escuchen la oración coinciden en lo que se está diciendo acerca de la realidad. Y ya que la validez del enunciado no depende de la opinión o de los sentimientos de un sujeto en particular, o de su subjetividad, podemos decir que este enunciado es objetivo.

Es más, el acuerdo al que se llega en relación con este enunciado, de manera diferente al del caso anterior, no es una mera convención social. Cuando coincidimos en la validez de la oración “Las hojas frescas y sanas de un árbol de aguacate son verdes”, todos creemos que estamos diciendo algo con respecto a la realidad: Los árboles de aguacate existen; tienen hojas; sus hojas tienen ciertas propiedades en común; una de sus propiedades en común es el color (al menos entre las hojas frescas y saludables) y, finalmente, que este color común es el verde.

Existe, sin embargo, una característica del enunciado anterior que tiene que ver con una convención. Hace bastante tiempo cuando el lenguaje particular que hablamos hoy en día se estaba desarrollando, las personas decidieron asociar la palabra verde con el color que caracteriza a tales cosas como las hojas o el césped, y no a cualquier otra palabra como rojo, silla o cielo. Aun cuando la oración en cuestión es objetiva, no nos dice mucho acerca de la realidad; corresponde a esa categoría de enunciados a través de los que nombramos aspectos de la realidad, en este caso, el color de las cosas. Dichos enunciados representan un proceso fundamental del lenguaje humano, que consiste en otorgar nombres a todo lo que percibimos en el universo. Si llegásemos a olvidar los nombres de las cosas, poco a poco para nosotros gran parte del mundo cesaría de existir y, en cierto sentido, tendríamos que recrearlo.

Enunciado D: El color de las cosas es una propiedad que surge de la manera en que estos interactúan con la luz. En la oscuridad no vemos las cosas. Para que los objetos sean visibles, la luz debe *brillar* sobre ellos, debe ser absorbida por ellos y ser remitida para que nuestros ojos la capten. Los objetos materiales están compuestos por un vasto número de partículas que conocemos como *átomos* y *moléculas*. Del mismo modo, es posible pensar que los rayos de luz están compuestos por un enorme número de paquetes de energía denominados *fotones*, a los que también nos referimos como partículas. La interacción de la materia con la luz consiste en la interacción de sus partículas constituyentes con estos fotones.

Si pasamos la luz del sol, que es blanca, a través de un prisma de cristal, este la separa en un espectro de colores cuyo rango va del rojo al violeta. La luz blanca, por lo tanto, es una mezcla de muchos tipos de luz, cada una de diferentes colores. El color de un rayo de luz se asocia con la energía de sus fotones y esta energía se mide en una cantidad denominada frecuencia.

En principio, los fotones pueden tener cualquier frecuencia imaginable. La luz visible está compuesta por fotones cuya frecuencia oscila dentro de cierto rango, entre 45×10^{13} / segundo de la luz roja a 73×10^{13} / segundo de la luz violeta. La mayoría de la luz blanca, incluso la proveniente del sol, incluye a su vez fotones cuya frecuencia cae en el espectro ultravioleta e infrarrojo, que nuestros ojos no son capaces de ver.

Cuando los fotones golpean un objeto, estos interactúan con sus átomos y, de acuerdo con las estructuras de estos últimos, emiten fotones de la misma o de diferente frecuencia. Un objeto negro cuando es expuesto a la luz blanca absorbe los fotones del espectro visible pero sólo emite fotones del espectro infrarrojo. Un objeto blanco expuesto a la misma luz emite primordialmente fotones con la misma frecuencia que los fotones que lo golpean. Por otro lado, un objeto verde expuesto a la luz blanca emite únicamente fotones con la frecuencia correspondiente a la luz verde así como aquellos en el espectro infrarrojo. Los objetos de otros colores se comportan de manera similar.

Análisis: Claramente este enunciado es objetivo, de un modo mucho más complejo que la objetividad del Enunciado C. Algunas de las oraciones que contiene, sólo le otorgan un nombre a ciertas cosas. Pero muchas de las cosas que se nombran no son observables simplemente con nuestros sentidos; por lo que no es un asunto fácil que todos los sujetos lleguen a un acuerdo de lo que en realidad estos nombres significan. Por ejemplo, para establecer el acuerdo de llamar a las partículas de luz *fotones*, todos tienen que aceptar que estas *partículas* son en realidad paquetes de energía y que “los rayos de luz están compuestos por paquetes de energía, cada uno caracterizado por una frecuencia”; para acordar esto no basta con hacer un buen uso del razonamiento propio. Quienes coinciden en el significado de esta oración tienen que tener un entendimiento común de innumerables trabajos experimentales y teóricos que han conducido a dicha conclusión. El enunciado D, por supuesto, va más allá de nombrar las cosas, establece las relaciones entre los conceptos y pretende explicar estas relaciones. Sin embargo, quienes aceptan la validez de este enunciado concuerdan en que las explicaciones que contiene no son un mero producto de la imaginación de alguien, sino que reflejan la experiencia que no varía de sujeto a sujeto. Acordar en que el Enunciado D es válido no es una simple convención humana; en cierta forma lo impone la realidad misma.

10 La Objetividad y los Aspectos No Físicos de la Realidad

La objetividad no se relaciona solamente con los fenómenos físicos. Si la realidad tiene muchos aspectos, entonces la mente humana debería poder hacer enunciados objetivos para cada uno de ellos. Examinemos un ejemplo relacionado con la realidad social. Analícenlo a continuación en términos de su objetividad y luego comparen su análisis con el nuestro. Es perfectamente posible que a un enunciado se le atribuya objetividad y que después de la investigación apropiada pruebe estar equivocado.

Enunciado: Una de las causas de la violencia en ciertos países es la injusticia social dominante.

Análisis: El enunciado es sobre la relación de dos fenómenos sociales, que pueden ser observados por todos los sujetos en varios países que albergan grandes poblaciones que viven en la pobreza material. El hecho de que haya violencia en determinado país es algo que se pueda establecer con base en eventos observables tales como los asesinatos, los robos, los secuestros, y demás. También se podría deducir del comportamiento de la gente, por ejemplo, por la manera como los ricos dejan ver sus temores viviendo en áreas altamente protegidas. Ninguna de estas observaciones es imaginaria; todas son impuestas por una realidad que existe por fuera de la mente de cada observador.

El que haya bastante injusticia social en un país determinado también se establece fácilmente al observar las condiciones en las que viven varios sectores, y analizar las interacciones de las personas de diferentes procedencias con las instituciones de la sociedad. Una vez que estos dos hechos queden establecidos, será posible observar una muestra suficientemente grande de casos de violencia y establecer si, en realidad, existe una relación entre estos casos y la condición de injusticia social que prevalece en el país.

Noten que el enunciado que estamos analizando afirma que la injusticia social es una de las causas, no la única causa de la violencia. Por lo tanto, si seguimos los pasos que describimos anteriormente y sí encontramos una relación, se justifica el que hubiéramos aceptado que el enunciado probablemente fuera verdad. Sin embargo, una correlación

positiva, aunque establecida de manera objetiva, no garantiza que sea verdad ciento por ciento. Por ejemplo, podría resultar que la relación entre la violencia y la injusticia social sea mucho más compleja que una relación de causalidad; ambos fenómenos podrían ser causados por alguna otra fuerza que opera en más de un nivel fundamental. Sin embargo, independientemente de su validez final, el enunciado tiene una apelación razonable a la objetividad.

Al intentar determinar el grado de objetividad de un enunciado, deberíamos ser conscientes de la facilidad con la cual se pueden presentar enunciados subjetivos como si fueran objetivos. Tomen el ejemplo de una persona que está dedicada a la explotación de los pobres, al pagarles sueldos bajos, cobrándoles precios exorbitantes para las necesidades de la vida, y obstaculizando las maneras en que podrían cambiar sus condiciones. Dicha persona sería reacia a hacer enunciados subjetivos como “Me gusta amontonar riquezas a expensas de los pobres”, o “Simplemente exprimiré cada gota de energía de estas personas”. Más bien estaría propensa a pronunciar el enunciado aparentemente objetivo “los pobres son perezosos; no se esfuerzan lo suficiente y por eso viven pobres”.

Por supuesto que dado su reclamo a la objetividad, el enunciado debería ser probado. El problema es que un observador poco cuidadoso traería demasiados de sus propios juicios subjetivos a la prueba. Podría, por ejemplo, notar que hubo algunos entre sus propios amigos y familiares que trabajaron duro para llegar a ser prósperos. También podría señalar que algún miembro de su grupo social, distinguido por su pereza finalmente perdió sus oportunidades y ahora es pobre. O podría recordar haber conocido algunas personas pobres que por casualidad eran perezosas. Entonces, de un conjunto limitado de observaciones, sin duda todas objetivas, se podría aceptar el enunciado del opresor como válido.

Un examen más completo del fenómeno de la pobreza, que por supuesto mostraría que los “pobres son perezosos” no es de ningún modo un enunciado verídico. Además del trabajo duro, la generación de riqueza depende de otros factores como un mínimo de capital, conocimiento técnico y administrativo, acceso al crédito, salarios y precios justos, y una organización social que recompense el trabajo duro. Por tanto, para perfeccionar un enunciado que relaciona la capacidad de trabajar con el éxito económico, habría que hacerse observaciones cuidadosas de diferentes grupos entre los pobres y los ricos para ver si realmente los pobres, cuando se les da la oportunidad, demuestran menos capacidad para el trabajo que los ricos. Aunque existen excepciones, este por lo general no es el caso, y la mayoría de la gente pobre del mundo tiene que trabajar duro solo para subsistir. El enunciado “los pobres son perezosos” es una expresión de pensamientos y deseos altamente subjetivos pero vestidos con el atuendo de la objetividad.

Hacer juicios acerca de la objetividad de enunciados que se refieren a la realidad social es realmente difícil. El juzgar la objetividad de enunciados acerca de la realidad espiritual es aún más desafiante. Si creemos, como lo hacemos, que la realidad espiritual existe y que el lenguaje humano puede intentar describirla, debemos aceptar que es posible hacer enunciados objetivos acerca de la realidad espiritual. Consideren, por ejemplo, el enunciado: “La justicia es la facultad del alma humana que nos permite ver con nuestros propios ojos y no con los ojos de otros.” Claramente, este es un enunciado cuya apelación a la objetividad es totalmente legítima. Es un enunciado profundo acerca de la capacidad del ser humano de discernir la verdad por medio de un proceso de investigación desprovisto de imitación y de prejuicio. Sugiere que esta capacidad es de alguna manera inherente al ser humano, pero que su realización depende del desarrollo de ciertas cualidades espirituales. Desde luego que, por sí solo, el enunciado es demasiado breve y solo sugiere una definición de justicia. Pero puede expandirse y sus variadas implicaciones ser estudiadas y observadas.

Por supuesto que no todos los enunciados acerca de temas espirituales serán objetivos. Una descripción que ustedes hagan acerca de cómo se sienten personalmente cuando leen cierto pasaje de sus escrituras religiosas es válida pero subjetiva. Sin embargo, la naturaleza personal de la experiencia religiosa no niega de manera alguna la posibilidad de hacer enunciados objetivos acerca de la realidad espiritual.

Tampoco el hecho de que probablemente un número de personas no estén de acuerdo con determinado enunciado acerca de la realidad espiritual niegue la objetividad de tal enunciado. Al hacer el enunciado, incuestionablemente objetivo, sobre el color y la interacción de la luz con la materia, aceptamos que la mayoría de las palabras y frases tendrían significado únicamente para sujetos con cierta preparación intelectual y que, para la mayoría de la gente carecerían de significado. Entonces, no hay razón para creer que una persona cuyas susceptibilidades espirituales nunca se han desarrollado vaya a entender y aceptar la validez del enunciado acerca de la espiritualidad. La tarea se complica por el hecho de que además de enunciados sobre experiencias personales, los cuales son válidos pero subjetivos, el mundo también está lleno de enunciados oscuros cuyas afirmaciones de haber descrito temas espirituales de manera objetiva son realmente indignantes. Entonces, en el caso de enunciados sobre la realidad espiritual, tenemos que hacer una distinción clara entre una experiencia subjetiva válida y una ilusión que resulta del ser víctimas de vanas imaginaciones.

11 El Lenguaje Científico No Agota Todo el Sentido de la Existencia

En las lecciones previas examinamos el lenguaje de la ciencia en el contexto de la tarea fundamental del esfuerzo científico: la creación de modelos de la realidad cada vez más precisos y completos. La elaboración de estos modelos –y teorías cuando sean lo suficientemente poderosos como para ameritar la designación– es un aspecto integral de la actividad de la mente y es impulsada por un anhelo innato de entender. La mente humana nunca está satisfecha con la mera existencia; estamos continuamente buscando sentido, el sentido de todo fenómeno que observamos y que podemos imaginar. La pregunta que enfrentamos es si las descripciones de la realidad que se expresan en el lenguaje de la ciencia –que como lo hemos afirmado debe buscar ser objetivo y racional y evitar la ambigüedad– agotan todo el sentido que el universo contiene. En otras palabras, ¿el lenguaje de la ciencia es el único medio por el cual la mente humana puede expresar sentido? En esta lección, exploraremos –aunque de manera demasiado breve– el lenguaje de la poesía y demostrar que otras formas de expresión son realmente necesarias.

Consideren la siguiente descripción de cierta planta:

El narciso es una especie de planta con una corona grande en forma de campana que crece desde el perianto, que se cultiva por sus flores amarillas ornamentales.

Ahora lean el siguiente poema escrito por William Wordsworth, un poeta inglés (1770-1850), que también describe los narcisos:

Iba solitario como una nube
que flota sobre valles y colinas, cuando de
pronto vi una muchedumbre de dorados
narcisos: se extendían junto al lago, a la
sombra de los árboles, en danza con la
brisa de la tarde.

Reunidos como estrellas que brillaran en
el cielo lechoso del verano, poblaban una
orilla junto al agua dibujando un sendero
ilimitado. Miles se me ofrecían a la vista,
moviendo sus cabezas danzarinas.

El agua se ondeaba, pero ellas mostraban
una más viva alegría. ¿Cómo, si no feliz,
será un poeta en tan clara y gozosa
compañía? Mis ojos se embebían,
ignorando que aquel prodigio suponía un
bálsamo.

Porque a menudo, tendido en mi cama,
pensativo o con ánimo cansado, los veo
en el ojo interior del alma que es la gloria
del hombre solitario. y mi pecho recobra
su hondo ritmo y baila una vez más con
los narcisos.

Por supuesto que el primer enunciado acerca de los narcisos es solamente el comienzo de una descripción de la planta. Como tal, no transmite mucho sentido. Pero supongan que le añadimos una variedad de otros enunciados que describen en lenguaje científico los diferentes aspectos de la existencia de la planta, su evolución, las funciones de sus diferentes partes, sus interacciones con el medio ambiente y sus usos, incluyendo el hecho de que ha sido objeto de poemas como el que se ha citado en esta lección. ¿Puede este conjunto de enunciados alguna vez expresar la clase de sentido que transmite el poema de Wordsworth? Y viceversa. ¿Es el lenguaje de la poesía una herramienta apropiada para describir los modelos científicos cada día más complejos que podemos hacer de una planta? ¿Cuáles son

algunas de las características del lenguaje de la poesía que le dan la capacidad de expresar sentido de una naturaleza diferente a la que la ciencia se propone a explorar?

Al reflexionar sobre esta última pregunta, debemos tener cuidado de no aceptar respuestas superficiales. Sería demasiado fácil afirmar, por ejemplo, que el lenguaje de la poesía es subjetivo, o que disfruta de ambigüedad. Pero, ¿por qué, podríamos preguntar, no es igualmente parte de la realidad el corazón del poeta que está bailando con los narcisos como lo es la flor misma? Después de todo, una vez que Woodsworth capta nuestra atención, nosotros también vemos las imágenes que él tenía en mente y nuestros corazones también se conmueven con ellas. ¿No se podría decir que existe un acuerdo inter-subjetivo acerca del baile de los narcisos? Sin embargo, este acuerdo no es del mismo tipo al que llegamos sobre la descripción científica de la planta. ¿Cuáles son las diferencias? En relación con la ambigüedad, ciertamente el poeta no ha buscado la clase de precisión que discutimos en la lección anterior. Pero entonces, tampoco sería justo categorizar de ambiguo el lenguaje del poema; desde luego que transmite sentido con claridad admirable.