

GUIA N°5

El siguiente texto fue extraído del libro "De las tortugas a las estrellas. Una introducción a la Ciencia" de Leonardo Moledo y nos servirá como referencia durante la unidad: "Gravitación y leyes de Kepler", brindándonos una aproximación distinta y novedosa a los contenidos científicos, desde un lenguaje y un estilo poco común en los textos referidos a la difusión o enseñanza de las ciencias.

El fantasma del movimiento absoluto

*La lucha del hombre por comprender la naturaleza fue,
en buena medida, la lucha por comprender
el movimiento ¿Por qué algo se mueve?
¿Qué significa moverse? Esta es la pregunta
que puso todo en marcha.*

*Desde Aristóteles a Einstein se razonó , se pensó,
se especuló sobre las causas del movimiento
y el reposo, se trató de distinguirlos,
se buscó algo cuyo movimiento
-o falta de él- fuera realmente
absoluto y nadie pudiera discutirlo.*

*Llevó la friolera de dos mil trescientos años
llegar a la conclusión de que era imposible
y que el movimiento es, en realidad, una ilusión.*

Galileo

"Yo, arrodillado, juro que creo, y abjuro y aborrezco mis errores y me someto al castigo"

Galileo Galilei

Como Darwin, como Arquímedes, como Newton, como Copérnico, como Einstein, Galileo es una de las figuras centrales de la historia de la ciencia. Pero si a aquellos se los asocia generalmente con tal o cual teoría, Galileo es más complejo, más difuso: es una luz no puntual que ilumina a través del tiempo y que llega a todos los rincones. La condena por parte de la Iglesia, que lo obligó a pasar los últimos años de su vida recluido en una villa cerca de Roma, lo convirtió mercedamente en un mártir y en un símbolo de la lucha entre la razón y el oscurantismo. Su actividad multifacética hace que se lo encuentre en cada recodo. La historia de la torre de Pisa (aunque probablemente falsa) atestigua la voluntad de transformarlo en un campeón (o por lo menos en un símbolo) del nuevo método experimental. Su insistencia en el matematismo del mundo lo muestra como un avanzado de las ideas que, sólo cincuenta años más tarde, estallarán con Newton. Lo cierto es que Galileo está en la base misma de uno de los períodos más brillantes de la historia de la ciencia. Con justicia puede considerársele el fundador de la física moderna, y junto a Kepler, uno de los grandes responsables del triunfo del sistema copernicano. Había nacido en Pisa el 15 de febrero de 1564, y su padre lo destinó al estudio de la medicina: pero Galileo se orientó rápidamente hacia la física y la astronomía. En uno y otro campo sus contribuciones fueron decisivas. Fue probablemente el primero en enfocar un telescopio hacia el cielo, inaugurando una nueva era: vio a la Vía Láctea disolverse en un mar de estrellas, y vio manchas en el Sol -con lo cual destruyó la supuesta perfección del astro rey- y, lo que es más importante, encontró satélites girando alrededor de Júpiter, con lo cual asestó un golpe formidable al dogma de que todo giraba alrededor de la Tierra, y proporcionó una fanfarria más al triunfal ascenso del sistema copernicano.

En la mecánica, Galileo se dedicó al estudio del movimiento: su descubrimiento temprano de las leyes del péndulo es apenas un jalón, coronado muchos años más tarde al enunciar la ley de la caída de los cuerpos, tras haber encontrado la solución de un problema que no habían podido resolver sus fabulosos precursores y contemporáneos Copérnico, Giordano Bruno, Kepler, Descartes. Para el aristotelismo, la velocidad de caída dependía del peso: Galileo estableció que todos los cuerpos caen en el vacío con la misma aceleración, y la ley que rige el camino recorrido: proporcionalidad al cuadrado del tiempo transcurrido. Al formular

esta ley en forma precisa y contundente, Galileo pone en entredicho toda la física de Aristóteles (y la del *impetus*). ¿Cómo llega a este resultado? ¿Qué es exactamente lo que hace? No es tirar esferas iguales desde lo alto de la torre de Pisa -aunque podría haberlo hecho- sino, además de medir y experimentar, imaginar, plantear las condiciones ideales para el experimento y razonar sobre la base de ellas, es decir, abstraer. Esto, que hoy en día resulta obvio para cualquier estudiante que se inicie en el estudio de las ciencias, no lo era entonces ni mucho menos. Nada iba a avanzar hasta que no se rompiera con el espacio compacto y carente de vacío de Aristóteles, donde los móviles se dirigían a sus lugares preestablecidos, y hasta que no se tratara al espacio físico como una entidad geométrica, euclídeana y, como tal, abstracta. Galileo comprende que el mundo, por lo menos tal como lo explica la ciencia, es abstracto, y que el lenguaje a utilizar para describirlo es el lenguaje matemático. Aquí hay una ruptura no sólo física, sino filosófica, de una magnitud que ahora es difícil apreciar y que puede compararse -si se quiere- con la que inicia Descartes sentado frente a su chimenea en Holanda, estableciendo la duda metódica y partiendo de cero para reformular la filosofía occidental. "El libro de la naturaleza está escrito en caracteres matemáticos", dijo Galileo, enunciando el principio general de la nueva física; poco más tarde, Newton escribiría ese libro.

Pero más allá de todos sus descubrimientos, y del decisivo empujón que dio a la ciencia, Galileo es el símbolo de la lucha entre la verdad y el poder: no debe extrañar que haya inspirado a escritores, poetas y generaciones de científicos. Sin embargo, más que el personaje que nos muestra Brecht, Galileo parece una creación de Milan Kundera. Su retractación fue quizás el acto más lúcido de su vida, y una de las mayores enseñanzas que nos dejó, además de una preciosa contribución al método experimental: en vez de inmolarsse en el altar de la verdad y en aras de un heroísmo dudoso, hace lo que le exigen sus jueces, sabiendo que nada cambiará porque alguien firme o confiese tal o cual cosa: en suma, que la estupidez no puede triunfar sino momentáneamente. La tal vez falsa anécdota del susurro por lo bajo ("igual se mueve"), que "*se non é vera é ben trovata*", resulta completamente redundante.

La conquista del espacio

Allá en Polonia, un viejo, decía, que el Sol estaba quieto, y la Tierra se movía. Y nadie le creía. Allá en Polonia, un viejo, decía, que, el Sol estaba quieto, y la Tierra se movía. Y no sabía que iniciaba un viaje a las estrellas, adonde iba a llegar, algún lejano día. Allá en Polonia, un viejo, decía, que el Sol estaba quieto, y la Tierra se movía.

Porque de eso se trataba, en suma, de conquistar el espacio. El espacio medieval no era apto para el movimiento moderno. En ese cosmos impregnado de teología y rozamiento, de movimientos débiles y velocidades reducidas, de tiempos que no se podían medir con exactitud y carros que se atascaban y en el que hasta la historia a duras penas se conservaba, era lógico que el movimiento también fuera un proceso finito, un cambio transitorio y menor, asimilable a los otros cambios que muestra la naturaleza, como el envejecimiento o el deterioro. El mundo, dividido en regiones rígidas - sublunar y supralunar- gobernadas por distintas leyes y separadas por una barrera metafísica, era muy poco estimulante, y aunque pudiera ser un consuelo saberse el centro de los acontecimientos, uno tenía que limitarse a envidiar la inaccesible incorruptibilidad de las esferas celestes, donde todo era permanente y eterno. Incluso el movimiento, claro está.

Y bien. Fue este plácido y cómodo (a la vez tan falso) mundo celestial el lugar desde donde se arrojó la primera piedra.

Lo hizo Copérnico, por supuesto. La arremetida heliocéntrica, al tomar un punto tradicionalmente reservado a lo celeste y colocarlo en el centro del mundo, y viceversa, al descender a la Tierra a la categoría de planeta comparable a los demás, iniciaba un proceso de democratización del espacio. Si estaba en cuestión cuál de los puntos (el Sol o la Tierra) ocupaba el centro del universo, estos puntos no podían ser tan radical y ontológicamente distintos. Si la Tierra era un planeta como los demás, la posesión de un espacio sublunar propio empezaba a ser un privilegio molesto y antinatural. Y esta nueva situación espacial implicaba revisar la teoría del movimiento y efectuarle un rápido *service* para adaptarla.

Porque no todo eran rosas en la cosmogonía que Copérnico inauguró. Si bien las cosas se simplificaban en la astronomía, se complicaban en la física; el movimiento de la Tierra planteaba más interrogantes que los que podía responder. ¿Por qué caían los cuerpos hacia la Tierra, si ésta ya no era más el centro del mundo?

¿Cómo era que los objetos que estaban sobre la Tierra, en lugar de quedarse atrás, acompañaban a ésta en su movimiento, sin razón aparente para hacerlo? ¿Y qué movía a los planetas alrededor del Sol, si uno renunciaba a las esferas? Copérnico (y más tarde Kepler) contestaron a estas objeciones -nada triviales por cierto- como pudieron, y más o menos en términos de la física del *impetus*. Copérnico arguyó que los cuerpos caían a la Tierra para reunirse con el todo al que pertenecían, con lo cual conservaba de alguna manera la idea de "lugares naturales" para los infelices móviles, pero rozaba también la noción de sistema mecánico, y dejaba planteada una pregunta no menos fenomenal, que se le plantearía a cualquiera que audazmente renunciara a las esferas. Sin esferas ni mundo supralunar, ¿por qué el Sol y la Luna no caían? Kepler introdujo fuerzas tangenciales a las órbitas (a las que, dicho sea de paso, había librado de la obsesión -que para esa época ya era un síntoma- de la circularidad) y nervios magnéticos que partían de la Tierra y atraían a los objetos hacia ella. Nada de esto era del todo convincente, pero de hecho el reposo absoluto de la Tierra se convertía en una ilusión óptica. Con cierta lentitud, pero con mucha firmeza, el espacio sublunar y el espacio supralunar comenzaban a mezclarse. En 1609, Galileo, telescopio en mano, descubrió que la Luna era de constitución semejante a la Tierra, que el Sol tenía manchas, que Júpiter tenía satélites y que Venus tenía fases; en suma, que lo que pasaba allí era muy parecido a lo que pasaba aquí. El golpe fue formidable; velozmente, las barreras divisorias del espacio se convertían en un anacronismo. Nacía el espacio único y se instalaba para quedarse.

Ya lo había proclamado Giordano Bruno a fines del siglo XVI: los puntos del espacio son todos iguales, todas las direcciones del espacio son equivalentes, no hay ni un "arriba" ni un "abajo" absolutos, no existe ningún centro del mundo ni nada que se le parezca, el espacio se extiende infinitamente hacia todas partes, y tanto da un punto como otro. Los lugares naturales son, sencillamente, inexistentes, y los móviles son indiferentes al punto en que se hallan o atraviesan. Tanto les da un sitio como el otro. No van a ninguna parte asignada de antemano, ni les interesa ir. Ese es el espacio, donde hay que estudiar, analizar el movimiento. ¿Y qué es eso? Pues el viejo espacio de Euclides, el espacio geométrico, el sistema de pensamiento arquimedeano, que se propagó con eficacia durante el siglo XVII, hasta el punto de que consiguió llenar el universo entero. En realidad, Giordano Bruno describió casi a la perfección el escenario y montó con audacia la escenografía necesaria para comprender el movimiento. Faltaba el libreto. Y cuando éste llegó, no pudo ser más espectacular.

Kepler contra el círculo

"Los planetas se mueven alrededor del Sol describiendo elipses y el Sol ocupa uno de los focos."

Primera Ley de Kepler

La historia de Johannes Kepler (1571-1630) es muy curiosa. Fue una combinación de genio medieval y espíritu renacentista, que mezcló la nueva actitud científica del siglo XVII y las brumas místicas y astrológicas de los siglos precedentes. Y lo hizo con éxito: aunque menos popular que Galileo, y menos conocido que Copérnico, junto con ellos, Kepler es uno de los tres gigantes en cuyos hombros Newton decía haberse montado para ver más lejos, y las leyes con que describió el funcionamiento del sistema solar fueron la piedra sobre la cual el sistema heliocéntrico edificó su triunfo. Porque la verdad es que el sistema propuesto por Copérnico en 1543, en que el Sol, y no la Tierra, (como en el viejo sistema de Tolomeo) era el centro del universo, ganaba adeptos día a día, era nuevo, era inteligente, era simpático, pero le faltaba swing. Por empezar, seguía siendo muy complicado. Copérnico hizo girar su sistema no exactamente alrededor del Sol, sino alrededor del centro de la órbita de la Tierra, que no es lo mismo (ésta era una vieja historia, un poco tramposa, que se arrastraba desde la antigüedad: las esferas de Tolomeo tampoco giraban exactamente alrededor de la Tierra, sino de un punto ficticio llamado ecuante). Además, para que las órbitas coincidieran con las observaciones, Copérnico se había visto obligado a agregar esferas dentro de esferas de indudable factura tolemaica. Todo lo cual ensuciaba y quitaba prolijidad a un sistema que, si bien tenía la pujanza que caracteriza a las nuevas ideas, carecía de la eficiencia necesaria para imponerse de una vez por todas.

Una de las órbitas más problemáticas era la del planeta Marte, y Kepler, que había sucedido en 1601 al gran Tycho Brahe (el más grande observador astronómico de la época anterior al telescopio) en el puesto de Matemático Imperial, emprendió la tarea de determinarla de manera exacta. Cuando tras interminables cálculos (ocupan novecientas páginas de letra menuda) llegó a determinar el radio de la órbita marciana, hete aquí que encontró un par de observaciones que no encajaban. La diferencia era relativamente pequeña: ocho minutos de arco. Y aquí se produce uno de esos puntos de bifurcación en la historia de la ciencia. Kepler podría haber pensado que las observaciones estaban mal, pero en vez de hacerlo, llegó a la

conclusión de que la teoría estaba mal: había un error, y el error consistía en suponer que las órbitas eran circulares.

Es muy difícil, desde nuestra mentalidad moderna, comprender el esfuerzo mental necesario para abandonar una de las convicciones más arraigadas de la astronomía y de la filosofía en general. El círculo era la forma perfecta, era el símbolo de la divinidad, era el centro de la cosmogonía, era la figura ideal para mantener en marcha los cielos. Dejar el círculo (aunque para la época ya se hubiera convertido en un círculo vicioso) y las órbitas circulares era quedarse a ciegas: significaba lanzarse al vacío. Además, si no era un círculo, ¿qué podía ser? Kepler tanteó: probó con un círculo estirado (un óvalo) y cotejó dificultosamente las observaciones. Nada. No había caso. No encajaban. En 1603 escribió que "si la forma de la órbita fuera una elipse perfecta, podrían encontrarse todas las respuestas en Arquímedes y Apolonio", y un año y medio más tarde, suponía que la verdadera forma estaba entre la oval y la circular, algo intermedio, "exactamente como si la órbita de Marte fuera una elipse perfecta. Pero respecto a eso, aún no he investigado nada". Finalmente, tras estrellarse una y otra vez contra el óvalo, lo abandonó. Y allí cayó la moneda: cuando reemplazó los óvalos por elipses, los datos se acomodaron: "¡Oh, qué estúpido he sido!", escribió. En 1609 publicó su obra maestra, *Astronomía Nueva*, donde se enuncia su primera ley, que reemplaza las órbitas circulares, de una vez para siempre, por órbitas elípticas, con el Sol en uno de los focos. La Primera Ley de Kepler (junto a la segunda, que establece que los radios vectores de los planetas barren áreas iguales en tiempos iguales) completa el sistema de Copérnico enunciado cincuenta años antes, y lo dota de elegancia y simplicidad. Faltaba explicar por qué ocurría todo eso, qué era lo que obligaba a los planetas a moverse en órbitas elípticas y todo lo demás, pero en ese terreno, los esfuerzos de Kepler fueron vanos (como habían sido los de Copérnico y lo serían los de Descartes). La pelota de la historia allí se le escapa, rueda suavemente y se coloca lista, incitante, a los pies de Newton.

El principio de inercia

Los ochenta y siete años que van desde que Giordano Bruno murió quemado en la hoguera hasta 1687, cuando Newton publica sus *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, presenciaron el nacimiento de la física clásica y la solución del problema del movimiento. El espacio geométrico y único se instaló, primero extraoficialmente, y tras algunos trámites, con carta de ciudadanía planetaria. Galileo razonaba con planos infinitos, esferas que se movían sobre ellos sin rozamiento y péndulos perfectos; y la necesidad de matematizar la física se convertía en pasión de multitudes (de multitudes de físicos, claro está). El mismo Galileo proclamaba que la naturaleza escribe sus cosas en lenguaje matemático, encontraba la ley matemática que gobierna la caída de los cuerpos y señalaba que, si no fuera por la resistencia del aire, todos los cuerpos caerían de la misma manera, independientemente de su peso.

Si no fuera por la resistencia del aire, esto es, en el vacío. Era mucho decir... El vacío -cuya posibilidad Descartes negó, y cuya molesta existencia llevó a los físicos a llenarlo de éter- no era otra cosa que el espacio geométrico naciente. ¡En ese espacio nuevito empezaron a moverse los cuerpos en el siglo XVII! Y allí Galileo tocó la pelota y se le escapó, aunque la dejó perfectamente colocada frente al arco desguarnecido, para que Newton hiciera el gol. Rozó y no llegó a aferrar del todo la palanca maestra de la teoría del movimiento: el principio de inercia. Es posible que el ejemplo aleccionador de lo ocurrido con Giordano Bruno lo indujera a la prudencia, a no internarse demasiado en las peligrosas complicaciones del espacio infinito y a dedicar su atención al problema de la caída de los cuerpos -que gloriosamente resolvió- o que cierta manía circular residual le impidiera enfrentarse con el protagonista de los tiempos por venir: el movimiento uniforme, el movimiento en línea recta y con velocidad constante.

Y este movimiento rectilíneo y uniforme en el espacio matemático y vacío que sanciona Newton... no es nada. No existe. El móvil es indiferente a él, no se da cuenta de que lo está ejerciendo. Un objeto que se está moviendo con movimiento rectilíneo y uniforme -afirma el principio- continúa indefinidamente en ese estado, sin ninguna modificación. A menos que intervenga una fuerza. Es decir, que no se detiene por sí mismo. ¿Por qué habría de hacerlo? Es más... ¿qué quiere decir detenerse, dado que la velocidad del móvil es arbitraria (y constante) según el punto de referencia? Si se detuviera respecto de un punto de referencia, seguiría moviéndose respecto de otros. Detenerse significa pasar del movimiento al reposo, pero el reposo (como el movimiento rectilíneo y uniforme) no es más que una ilusión. Es más, la idea misma de reposo carece de sentido y sólo indica que la distancia a un punto determinado no varía. El reposo, ese

anhelo de los cuerpos aristotélicos que se precipitaban a la tierra o se detenían para alcanzarlo, ese reposo absoluto que el mismo Kepler calificó como "tan distinto del movimiento como las tinieblas de la luz", es ahora accesible a todo el mundo, y gratis, siempre que uno se tome la molestia de elegir el punto adecuado.

El movimiento no es, ni volverá a ser jamás, un proceso transitorio de cambio y reparación de algún supuesto "orden natural" alterado y que se pretende restaurar, ni necesita (por lo menos el movimiento rectilíneo y uniforme) causa alguna que lo produzca: es un estado en el cual los cuerpos están, respecto del cual son indiferentes, y en el cual permanecerán a menos que actúe una fuerza externa.

Es decir, el movimiento rectilíneo y uniforme que describen las leyes de Newton (y casi casi las de Galileo), es relativo, pero la palabreja apenas describe la novedad y el cambio radical que acarrea. El principio de inercia es, legítimamente, una de las más potentes (y encantadoras) conquistas del pensamiento. Piénsese: nunca nadie había visto (y nunca nadie verá) a ningún móvil describiendo una trayectoria en línea recta, y con velocidad constante, sin inmutarse, hacia el infinito y, sin embargo, la idea, pudo generalizarse para todos los móviles. Fue un ejercicio de pura abstracción, una transacción geométrica efectuada en la trastienda de la razón pura. Llevó su tiempo, por cierto, pero con el principio de inercia en la mano, y aunque ninguno de los protagonistas de la hazaña lo sospechara, estaba abierto el camino a las estrellas.

Moledo, L. (1994) *De las tortugas a las estrellas. Una introducción a la ciencia.* A Z editora. Sao Paulo. Brasil. pp 78-87. ISBN 950-534-277-2