

DESC. APERT. VALL. 1988/89

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

JOSE LUIS DE MIGUEL RODRIGUEZ
CATEDRATICO DE ESTRUCTURAS DE LA ETS DE ARQUITECTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

EN DEFENSA
DE GALILEO

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1988-89
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

VALLADOLID

1988



Disc.apert.UVA 88/89 BiCe



5>0 0 0 0 0 1 8 7 5 3

EN DEFENSA DE GALILEO

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1988-89
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

R.A-9127

Disc. AERT. VALL. 1988/89

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

JOSE LUIS DE MIGUEL RODRIGUEZ
CATEDRATICO DE ESTRUCTURAS DE LA ETS DE ARQUITECTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

EN DEFENSA DE GALILEO

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1988-89
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



VALLADOLID

UV1988
biblioteca

*Magnífico y Excmo. Rector
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores
Comunidad universitaria
Señoras y señores*

... la clase de hoy será *en defensa de Galileo*.

Se ha cumplido sobradamente el cuatrocientos aniversario del nacimiento de este ilustre científico. Galileo nace tres días después de la muerte de Miguel Ángel, —sólo unos años después de la de Leonardo—, y muere el año en que nace Newton; representa el puente entre la ciencia medieval y la ciencia moderna, de la que puede reputarse fundador; ciencia basada en el rigor experimental, la construcción racional frente al argumento de autoridad, y la publicación, —naturalmente porque ya se ha inventado la imprenta—, circulación libre y crítica abierta de los descubrimientos.

Si Leonardo es el epónimo de científico medieval, Newton lo es del moderno. Galileo, y no sólo simbólicamente, enlaza ambos; es al mismo tiempo el último renacentista y el primer científico. Buena parte de lo que Galileo explica y escribe pudo aprenderlo de Leonardo, que ocultaba como podía sus conocimientos, y es Newton el que remata el edificio de la mecánica iniciado por Galileo.

Parece haber acuerdo en que Newton es, con mucho, el más grande científico de todos los tiempos; para el segundo puesto hay varios candidatos, y uno de ellos sería Galileo. Sin embargo frente al taciturno, austero, misántropo y misógino personaje que fue Newton, nos presta más la figura, mediterránea y lúdica, de un Galileo mundano, falaz, plagiaro, amante de los placeres de la vida, frecuentador de salones, gran conversador e improvisador, brillante conferenciante —dejaba vacías las

aulas de los demás profesores—, imprescindible para el éxito de una fiesta.

Galileo no se recataba de copiar cualquier dato o conocimiento de otros y presentarlo como suyo, —lo que posiblemente hizo con parte de la ciencia de Leonardo—, o de afirmar basarse en experimentos que no hizo nunca, o de reinventar con sólo algunas pistas y vender como suyo el invento de otros, o de concebir sobre la marcha un argumento verosímil, verdadero o no, con tal de ganar una discusión. Por algo le llamaban de pequeño *el peleón*. En resumen, era capaz de ganarse enemigos a cualquier velocidad.

¿Sabían ustedes que la fricción del aire no produce calor? Al menos eso demostró Galileo. Por lo visto alguien en una reunión y en presencia del *linceo* afirmó que la fricción del aire producía calor, y presentaba con prueba de tal aserto que en su tierra, Calabria, los pastores haciendo girar velozmente sus hondas con huevos de gallina dentro, conseguían cocerlos. Galileo naturalmente entró a defender la tesis contraria, argumentando que en su país existían pastores igualmente fornidos, pero no sabía de nadie que hubiera logrado tal cosa, y como, según era sabido, si en un fenómeno se cambia uno de los componentes y cambia el resultado, ése es la causa de tal comportamiento, concluía irrefutablemente que era el hecho de ser de Calabria y no la fricción del aire lo que causaba el cocimiento de los huevos. Premisas correctas, razonamiento correcto, inferencia falsa; esa era la especialidad de Galileo.

Pero en defensa de Galileo hay que decir que resultó ser definitivamente un gran científico; que condujo su increíble maquinaria mental, a pesar de la facilidad que tenía para las falacias, a descubrir, plantear y ponerse del lado de la ciencia y del conocimiento. Veremos hoy tres facetas de este gran hombre.

* * *

La primera es obviamente la más conocida y popular: Galileo el astrónomo. En este campo se percibe al último renacentista, inaugurando la posición del científico moderno. Y no por lo que formula o descubre, ya que nos referimos al planteamiento heliocéntrico de Copérnico, sino por la postura de cómo el hombre, observando, debe sacar sus propias conclusiones. Probablemente ese era el aspecto revolucionario de lo enunciado por Galileo; demostrar que cualquiera puede, prescindiendo de lo que haya dicho una u otra autoridad en la materia, defender su propia verdad, y que la verdad no puede hacer tambalear nuestras convicciones,

precisamente porque éstas se cimentan en las verdades que descubrimos. Y fue por ello por lo que entró en conflicto con la Iglesia, que sólo recientemente se ha acordado de rehabilitarle. Como buen vividor, Galileo se retracta —pocos años antes Giordano Bruno ha muerto en la hoguera por algo similar— pero todos saben que sigue opinando lo mismo.

¿Cómo explica Galileo el modelo heliocéntrico? Muy simple: basta mirar al cielo, y observar, no lo que *tiene que ser*, con uno u otro prejuicio, sino lo que *es*. Galileo se apropia del invento del telescopio; construye, vende y regala algunos. ¿Cómo puede el telescopio ayudar a desmitificar el paradigma anterior? porque suministra más información, y mayor información es una información diferente. Si se pueden ver manchas en la superficie del Sol, —manchas que cambian de posición—, los cielos no son inmutables; si Júpiter tiene planetas en derredor; si hay más estrellas que las que se ven a simple vista; si en los eclipses de planetas se puede determinar cuál pasa por delante de cuál, el modelo debe cambiar.

Es bien conocido que la representación en dos dimensiones de un objeto de tres es siempre imperfecta: con dos parámetros no se pueden determinar tres coordenadas. Es el problema clásico del dibujo, no importa cuál sea el sistema de representación: una sola vista, como la que se produce contra el fondo del firmamento no nos dice dónde están los planetas. Pero si una vista del objeto es insuficiente, dos es demasiado; las dos vistas deben tener concordancias, como sabe todo el que trabaja en diédrica. Bastaría una vista y una ligera información adicional para poder reconstruir correctamente el objeto. Es clásico en dibujo arquitectónico, —y usual hoy en día para dar realismo a los juegos de ordenador—, suministrar al mismo tiempo la vista del objeto y las sombras que arroja. La sombra es sólo una mancha apenas sin detalle, pero es justo lo que falta.

De antiguo se sabía que Venus pasaba por alternancias de brillo; a Galileo le bastó mirar por el telescopio para observar que Venus poseía fases como la Luna. Además cuando menos brillante era, —en la fase de Venus nuevo—, aparentaba ser mayor de tamaño; por el contrario cuando brillaba la sección completa, su tamaño aparente era menor. Aquí estaban las dos vistas del objeto, y sin lugar a dudas se podía *ver* que lo que hacía Venus era girar alrededor del Sol. En defensa de Galileo hay que decir que en la confianza de que cualquiera podía llegar por su cuenta a esa conclusión, es por lo que el anciano que es por entonces este personaje, renuncia de buen grado a mantener su opinión, y pronuncia con sorna el «*eppur si mouve*», haciéndonos a todos un guiño de complicidad.

* * *

En segundo lugar podemos ver a Galileo como el fundador del método científico. Cualquier aserto debe comprobarse si se refiere a algo que puede experimentarse. Aristóteles da una explicación del por qué se mueve la flecha en el aire, pero no puede probarse; el mismo modelo afirma que la piedra que se suelte de la punta de un mástil de un barco en movimiento, no caerá al pie, y eso es constatable y refutable.

No importa si los postulados de Galileo los probó con experimentos reales o ficticios, lo importante es que formula la ciencia en términos constatables, que deslinda la predicción de la explicación. Su potente método pedagógico le permite incluso enunciar la física sin ampararse en los experimentos: basta el razonamiento. Como Arquímedes, Galileo no confía en que los hechos hablen por sí solos, pero admite que son los hechos lo que importa. Igual que luego hará Newton, —que utiliza el álgebra diferencial para descubrir lo que luego demuestra genialmente de otra manera—, Galileo experimenta casi en secreto y luego refunde científicamente sus conclusiones. Y no sólo inaugura la ciencia moderna sino que en un sólo paso inventa además el *experimento mental*.

Todos los que se dedican a la ciencia saben de la dureza y dificultad de la experimentación, de lo poco que se obtiene, de lo dudoso de las medidas, de lo mal que los fenómenos nos hablan por muy finamente que los observemos, de lo tedioso y costoso que resulta la experimentación. En la experimentación real siempre hay ruido, falta de precisión, fenómenos asociados imposibles de eliminar, y, en general, sin modelo previo de qué se quiere ver, es inútil mirar. Contando con ello, la elegancia, precisión y baratura del experimento mental es impresionante; naturalmente amparado en ensayos reales y en mediciones, groseras a veces, pero realizadas por un verdadero científico que sabe leer entre líneas.

Según Aristóteles y toda la ciencia posterior a él hasta Galileo, los cuerpos más pesados caen más rápidamente. Galileo, jactándose de haberlo hecho, afirma que no, que la bala de cañón y la de madera caen al tiempo. ¿Cómo puede una mente comunicar a otra la evidencia del fenómeno, sin intervención del propio fenómeno; directamente de una inteligencia a otra? es simple: mediante un experimento mental. Si se dejan caer dos balas de cañón una tras otra ambas caerán con la misma rapidez; si se dejan caer al tiempo caerán simultáneamente; si caen simultáneamente, un enlace imaginario entre ambas no hará que ninguna tire o frene a la otra; si caen conjuntamente atadas, caerán de la misma manera que separadas, aunque el conjunto pese más. Luego el mayor peso no cae más rápidamente. Este experimento mental se puede ampliar para *percibir* cómo cualquiera de las partes cae como el todo, y que todos los

cuerpos deben caer igual. Lo genial es que el argumento es casi visible; se puede apostar a que sucederá así. Y Galileo apostaba por ello, aunque naturalmente tuvo que ensayar mucho para atreverse a decirlo.

En tiempo de Galileo no había cámaras fotográficas, ni moviolas, y lo que es mucho peor, ni relojes precisos. En realidad la disciplina sobre la que habla Galileo exige la definición del tiempo, y resulta tremendamente difícil explicar algo con palabras que no suponen que ese algo existe. Porque en la época de Galileo, el tiempo era ordinal; servía para identificar ordenadamente sucesos, pero no para medir intervalos; no se sabía cómo definir dos intervalos iguales; el mismo Galileo comenzó utilizando sus propios latidos como metrónomo, en la intuición de que se producían a cadencia regular. El tiempo se medía en jornadas, o en horas, dividiendo el día en partes iguales a sabiendas de que variaba de una estación a otra. Para los medios de comunicación, los barcos y carros de la época era más que suficiente. Para formular con rigor lo que ahora denominamos la Cinemática, Galileo inventa el tiempo como variable continua, finamente divisible, cuantitativa, cardinal.

Como la caída de los cuerpos es veloz, Galileo ralentiza el proceso con astucia, mediante un plano inclinado, confiando con su olfato de científico en que las leyes no dependerán del ángulo del plano, y valdrán asimismo para plano vertical, es decir para caída libre. Con largos tablores muy poco inclinados, bolas pesadas, y el auxilio de un ayudante que medía la salida de agua por un pequeño taladro en el fondo de un gran depósito, Galileo registra minuciosamente cómo se mueven los objetos al caer. Aun contando con lo grosero del sistema, llega a las conclusiones correctas. Lo que no sabe es que serendípicamente está definiendo el tiempo. En un principio asignó idénticos intervalos a las oscilaciones de un péndulo, por lo que no es extraño que ahora digamos que el péndulo invierte lo mismo en cada oscilación; esa no es una propiedad del péndulo, es la definición del tiempo. Algo parecido le sucederá a Galileo, al inventar el termómetro, y definir temperatura por la dilatación de un gas; luego resultará que no es tanto que los cuerpos dilaten uniformemente con el aumento de la temperatura cuanto que esa es la definición de temperatura.

En el invento del tiempo el lenguaje le juega una mala pasada a Galileo. Algunos críticos, analizando sus escritos, llegan a concluir que el *linceo* se equivocó en la formulación de la caída de graves; que llegó a la conclusión de que la velocidad aumenta con el espacio, cuando lo es con el tiempo de caída. Hay que salir en defensa de Galileo. Aun hoy en día en transmisiones radiofónicas o televisivas se arguye la falta de espacio

cuando se están refiriendo obviamente al tiempo; en el lenguaje normal espacio todavía es hoy medida de tiempo. Teniendo que definir de un golpe tiempo, velocidad, velocidad instantánea, y teniendo que integrar la velocidad para describir el espacio, y todo ello no sólo sin algebra diferencial, sino sin algebra normal, es milagroso que no se trastabillara, y es lógico que en unas partes u otras de sus escritos parezca decir cosas diferentes; Galileo está balbuceando una nueva Ciencia. Qué fácil es después proseguir, qué fácil es ahora criticar, pero hay que comprender el paso de gigante que estaba dando.

Se le critica asimismo que no comprendiera la inercia, que no deslindara masa y peso. ¿Pero por qué Galileo estaba obligado a dar dos pasos en uno? Bastante tuvo con dar cumplida cuenta del movimiento. Para lo que hicieron los griegos, basado en consideraciones de simetría, reservamos la palabra Estática; lo que hizo Galileo lo denominamos Cinemática; reconozcamos a Newton como el padre de la Dinámica; y demos a cada uno lo suyo.

Sin buscar ni encontrar explicaciones para el movimiento, es portentoso lo que Galileo llegó a establecer. Observando una y otra vez el descenso de bolas por planos inclinados llegó a la conclusión de que el *ímpetu* con que cada una llegaba abajo le permitía remontar un plano ascendente, encontrando que la variable crucial era la altura. Fuera cual fuera el plano, el peso, el tiempo de caída, al llegar abajo, la bola tenía capacidad para subir por otra superficie, tampoco importaba cómo, hasta justamente la misma altura de la que partió sin velocidad. No era sino la generalización del movimiento del péndulo, el primer problema que Galileo resolvió, cuando sólo tenía veinte años de edad. Pero si el ascenso se hacía ralentizando la velocidad, bastaba, otra vez con un experimento mental, disponer un plano horizontal, para que la bola pudiera proseguir indefinidamente su movimiento sin disminuir la velocidad. La teoría y explicación del movimiento de Aristóteles caía por los suelos: al cesar la causa que provoca el movimiento el cuerpo, éste no se detiene, sino que continúa con el mismo movimiento que tuviera. Las causas del movimiento no son modificadoras de la situación sino de la velocidad.

Sin álgebra y sin coordenadas cartesianas Galileo nos asegura que el espacio recorrido en un movimiento en el que la velocidad crece incesantemente es como la suma de las infinitas rectas de un trapezio con el que se puede representar la velocidad. Y con ello demuestra la trayectoria parabólica, el alcance de proyectiles, y que el ángulo de alcance máximo es 45°. En defensa de Galileo hay que reconocer que es sublime.

* * *

En los casos anteriores Galileo apuntala, corrige o da un fuerte avance en una ciencia clásica, es en el método en lo que trabaja. Pero además Galileo inaugura al menos una nueva ciencia: la Resistencia de Materiales. Hasta Galileo la determinación del tamaño y porte de las piezas estructurales de casas, barcos, ingenios, incluso de armas y muebles se hacen a estima de un buen oficial. Fiel a su manera de ser, Galileo da un paso enorme.

Percibe intuitivamente, y formula con maravillosa clarividencia el problema de la escala: si se aumenta la escala de un objeto, máquina, o animal, no todo crece en la misma proporción; en muchos casos el peso aumenta con la tercera potencia de la escala, por ejemplo si todas las dimensiones crecen en un factor de diez el peso es mil veces superior. Como las secciones que resisten sólo crecen con la segunda potencia de la escala, —en el ejemplo sólo son cien veces mayores—, el objeto puede no soportar el aumento de tamaño. De un golpe, y como siempre sutilmente, Galileo está definiendo como variables físicas la tensión, la sección resistente, la capacidad resistente, en definitiva todo el problema estructural.

Tras su enunciado ya no hay asombro en que una hormiga pueda arrastrar varias veces su peso, desaparece la posibilidad de monstruos y el miedo a la aparición de grandes animales o máquinas de guerra gigantes, algo que todavía no se ha incorporado plenamente en el saber popular, al que afectan estas fantasías.

Pero es más. El planteamiento resistente de Galileo es tan potente que desborda la capacidad de comprensión de varias generaciones siguientes. En defensa de Galileo debemos decir que consigue enunciar el problema a partir del simple modelo de sólido rígido; llegando a definir capacidad resistente, momento flector y cómo uno y otro varían con la geometría de las cargas y de la pieza. La Resistencia de Materiales no logra sino años después, con Hooke, coetáneo de Newton, dar el salto de suponer clave para el entendimiento del comportamiento la deformación, minúscula pero crucial. Con ello el problema enunciado por Galileo se pospone, y la nueva ciencia se lanza tras el análisis de estructuras, problema que enmascara y afirma poder sustituir al cálculo.

La crítica más habitual es la de que Galileo equivocó la posición de la fibra neutra, que la supuso en la parte inferior de la pieza, y que costó doscientos años encontrar su posición real. En defensa de Galileo hay que decir que no se equivocó, porque no estaba buscando la posición de la línea neutra, sino caracterizar la resistencia de la sección, y que las más recientes formulaciones de este problema dan plenamente la razón a las



de Galileo. Sólo en las últimas décadas parece estar reenunciándose el verdadero problema como el del cálculo —cómo determinar secciones suficientemente resistentes— dejando el análisis —saber cómo se comporta una estructura dimensionada— como una simple disciplina auxiliar. Y que en este contexto aparece Galileo como genial, y rabiosamente moderno. Que sin considerar deformaciones pudiera enunciar los aspectos fundamentales de esta, entonces, nueva ciencia, y que llegara a establecer con la parquedad de medios de que disponía, qué variables y en qué orden de magnitud estaban implicadas, es sencillamente asombroso.

* * *

Porque hace cuatrocientos años que vivió, porque ha recibido desautorizaciones y críticas, a nuestro juicio infundadas, y porque creó lo más estimable y profundo de nuestra disciplina es por lo que hoy hemos hablado en defensa de Galileo.

