



# EL INGENIERO ANTE EL CONOCIMIENTO

Primera parte<sup>1</sup>

Luis Guillermo Coronado

El trabajo que sigue trata de la forma en que un grupo de ingenieros plasma la relación entre su quehacer y el conocimiento, entre el saber empírico y el científico. Consta de una serie de seis breves ensayos, dividida en dos partes, sobre ingenieros, artistas y científicos de los siglos XV a XVII, quienes, no obstante, presentan unas líneas comunes en su manera de enfrentar el conocimiento. Desde el punto de vista cronológico el más antiguo es Leonardo Da Vinci y el más reciente Galileo Galilei. Pero, en virtud de la trama conceptual que se plantea, se arranca con Tartaglia y se cierra con Galileo dada la conexión arquimedea en su quehacer y pensamiento.

### I. El caso Tartaglia

Ciertamente el “ingeniero” – desde una perspectiva histórica—supone una relación fundamental con el conocimiento como *empeiría*, como experiencia. Por ejemplo, en el Renacimiento, los primeros ingenieros no eran eruditos, eran individuos que sabían hacer ciertas cosas, pero en virtud de un saber práctico, concreto, técnico para emplear un término más preciso y adecuado. Así algunos ingenieros se preocupaban de hacer que las piezas de artillería envasen sus proyectiles exactamente sobre el blanco, por ejemplo, las murallas y las torres de las ciudades sitiadas; y ello mediante ciertos procedimientos repetibles, ciertas

recetas, que en todos los casos eran resultado de un proceso de prueba y error.

No obstante, un ingeniero renacentista, Niccolo Tartaglia –Niccolo Fontana de Brescia (c. 1500-1557) (1), hacia mediados de la primera mitad del siglo XVI, sintió la imperiosa necesidad de trascender esta situación gnoseológica típica de lo originalmente técnico-ingenieril. Por ello, y a pesar de ser un ingeniero exitoso y autodidacta, emprendió la audaz tarea de acercarse al conocimiento teórico, abstracto, universal, es decir, al conocimiento científico propio de los eruditos de ese entonces, con el fin de complementar y potencializar su conocimiento práctico y concreto, exitoso pero limitado. Por supuesto, los eruditos de su tiempo, los profesores universitarios de corte escolástico-aristotélico, no le proporcionaron, porque no podían hacerlo, nada útil.

Pero Tartaglia, que no se rendía fácilmente en su búsqueda por potencializar su conocimiento, en consonancia con el espíritu de los movimientos culturales de ese entonces, y por ello se habla de un renacer, se vuelve hacia el pasado, hacia lo griego, buscando en esa época la forma de conocimiento complementaria para su *empeiría* ingenieril. No la encuentra en el glorioso momento intelectual de la Atenas del siglo IV A.C., puesto que sus grandes pensadores, por ejemplo

Aristóteles (2), habían separado radicalmente la teoría de la práctica, y así causado la incapacidad de sus seguidores de enfrentar fructíferamente la cuestión de sus relaciones, pero sí la halla en el pensamiento del gran helenístico Arquímedes.

Arquímedes (287-212 A.C.), quien al mismo tiempo fue matemático, físico, por una parte, pero también ingeniero e inventor, por la otra. Todo ello es claro por sus investigaciones acerca de las estructuras matemáticas de índole geométrica de la esfera y el cilindro, de las espirales; aritméticas como en el caso de sistemas numéricos no finitos; de su hallazgo del principio de la flotación de los cuerpos; y finalmente, por su labor inventiva y constructiva de las legendarias máquinas puesta al servicio de la defensa de su ciudad –Siracusa– ante los invasores romanos.

El tipo de conocimiento que practica Arquímedes es el afín a las inquietudes gnoseológicas de Tartaglia, por lo que decide no solamente profundizar y aplicar el tipo de conocimiento arquimedeano, sino ponerlo al alcance de sus otros colegas ingenieros. Por ello publica los trabajos de Arquímedes en una especie de antología que aparecerá en el año de 1543, compuesta de diversos trabajos anteriormente traducidos al latín, algunos de los cuales ya habían aparecido impresos. Lo importante de la publicación de Tartaglia es la reunión de

todos ellos en un solo volumen. Puesto que Tartaglia no era un erudito, su manejo del latín no era de gran nivel, por lo que algunos de sus contemporáneos criticaron dicha publicación con gran dureza en virtud de los criterios del movimiento humanista. Pero ello no demerita su valor como factor de difusión de dicho tipo de conocimiento y el efecto entre los miembros de la comunidad ingenieril.

Además, desde una perspectiva conceptual, la decisión de Tartaglia de hacer accesibles los trabajos de Arquímedes y con ello beneficiar al todo de la comunidad de los ingenieros rompe con la naturaleza cerrada y muchas veces secreta de la *empeiría* o técnica, para acercarla a la naturaleza de la ciencia, que por el contrario es intersubjetiva, abierta y comunicable (3).

Este año de 1543 es un año crucial en la transformación del conocimiento occidental pues también aparecen las obras de Nicolás Copérnico y Andreas Vesalio, *De revolutionibus orbium coelestium* y *De humani corpore fabrica*, que disparan importantes procesos de renovación de la astronomía y la anatomía respectivamente, y que provocan una nueva consideración de las relaciones entre la experiencia y la teoría.

## II. Digresión

### Leonardo ingeniero-artista

En el Renacimiento, un ingeniero militar era un constructor e inventor de diversos artificios para elevar al máximo las posibilidades ofensivas y defensivas de las operaciones militares. Ejemplo de ello lo tenemos en lo que podría denominarse oferta de servicios del ingeniero-artista por excelencia, Leonardo da Vinci (1452-1519), al duque de Milán, Ludovico Sforza (1451-1508), conocido como el Moro por su apariencia morena. Esta oferta, es decir, la carta de Leonardo (1482) es muy significativa pues él se compara con aquellos “maestros y compositores de instrumentos bélicos” de su tiempo, para luego catalogar los artefactos de estos como nada que vaya más allá de lo habitual, por lo que se atreve a ofrecer sus diseños como verdaderas y cruciales innovaciones, y los enumera a continuación en su carta.

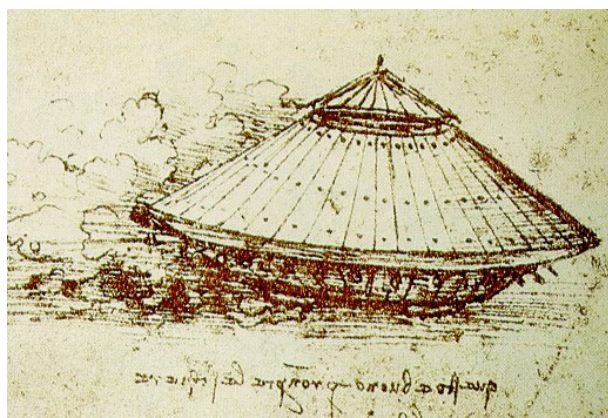
Vale la pena destacar algunos ejemplos entresacados de las diez ofertas que conforman la “carta-oferta” de servicios.

En primer lugar, Leonardo ofrece diseños de diversos tipos de puentes:

unos ligeros, fuertes y fácilmente transportables; otros seguros e indestructibles por el fuego y fáciles de instalar. Por supuesto también posee maneras de quemar y destruir los puentes del enemigo. Se debe cumplir con la dimensión ofensiva y defensiva del arte de la guerra.

En segundo lugar, para las acciones de asedio de plazas, ofrece medios para secar el agua de los fosos y construir puentes, arietes, escaleras y otros instrumentos apropiados para superar las defensas y murallas. También posee proyectos para túneles y caminos “secretos y torcidos realizables sin ningún estruendo” para superar los fosos y los ríos.

En tercer lugar, ofrece el diseño de lo que



Diseño de Tanque. Leonardo Da Vinci

a h o r a  
l l a m a r í a m o s  
“carros blindados  
artillados”, o  
b i e n , “p r o t o  
tanques” y que él  
d e n o m i n a  
“ c a r r o s  
c u b i e r t o s ,  
seguros contra  
todo ataque” que  
entrando en el

seno de las filas enemigas, no habría multitud de gente armada a la que no derrotasen por la acción de sus piezas de artillería. Por supuesto, “la infantería los seguiría ilesa y sin ningún problema”.

Asumimos que el diagrama que se reproduce a continuación, aunque perteneciente a un momento posterior, podría corresponder al espíritu del diseño antes citado.

En cuarto lugar, propone varios tipos de armas, como bombardas, morteros y culebrines, las cuales no solamente serían de gran utilidad contra el enemigo por el espanto causado por piedras, municiones y humo, sino también -y con ello se manifiesta la vocación del artista que acompaña al ingeniero militar-, por sus “bellísimas formas”.

A continuación, como cierre de la parte militar de su oferta, Leonardo también ofrece que puede inventar diversos medios de ataque y de defensa. ////

Finalmente, Leonardo cierra la misiva con un párrafo que denota nuevamente la vocación del artista. Escribe, pues, que en “En tiempos de paz, creo poder muy bien parangonarme con cualquier otro en materia de arquitectura, en proyectos de edificios, públicos o privados, y en la conducción de aguas de un lugar a otro. Ejecutaré esculturas en mármol, bronce y arcilla, y todo lo que pueda hacerse en pintura, sin temer la comparación con otro artista, sea quien fuere. Y, en fin, podrá

emprenderse la ejecución en bronce de mi modelo de caballo que, así realizado, será gloria inmortal y honor eterno de la feliz memoria de vuestro Señor padre y de la casa de Sforza”.

Nos atrevemos a afirmar que esta última oferta fue crucial y la razón de que Leonardo entrara al servicio de la casa reinante de Milán al año siguiente, 1483. El proyecto de la estatua ecuestre de Francisco Sforza acaparó la mayor parte de los trabajos de Leonardo, al menos los oficiales, a partir de 1485. Aunque no exclusivamente pues también ejerció de arquitecto, urbanista, diseñador de "autómatas" para las fiestas de la corte, ingeniero hidráulico, civil y militar; además como escultor y pintor.

Pero como es muy común en su quehacer, Leonardo nunca terminó la estatua fundiéndola en metal, pero en este caso tuvo la perfecta excusa dada la destrucción -en 1499 de un modelo de arcilla todavía en proceso- por las fuerzas francesas que también terminaron con el reinado de Ludovico Sforza - que se había iniciado en el 1481. La magnitud del proyecto era enorme: poco más de siete metros de altura y muchas toneladas de peso. En una ocasión, Ludovico dispuso del bronce necesario pero se usó, paradójicamente, en la fundición de cañones. Una obvia tensión entre la dimensión técnico-militar y la artística.

### III. El ingeniero ante el conocimiento:

## Tartaglia sobre el movimiento de los proyectiles.

Volviendo al problema del artillero balístico, el análisis del movimiento del proyectil, de la bala de cañón, puede intentarse desde la perspectiva de la práctica o técnica, y como desde los viejos tiempos del arquero, recomendar el apuntar sobre el blanco para precisamente dar en el mismo. Pero la pregunta inmediata es obvia: ¿a cuánta distancia sobre el blanco debe ser proyectada la flecha? La misma situación se planteaba cuando se quería adiestrar en el tiro a blancos móviles: un poco adelante porque si se dispara al lugar en que se ve ahora el blanco móvil, al llegar la flecha al blanco este ya habrá superado ese lugar. Pero cuán adelante es, en este nuevo caso, la pregunta igualmente apremiante. La práctica de los empíricos solamente puede recomendar al aprendiz que imite al maestro; pero en tal caso se pueden desperdiciar muchos recursos -pólvora, balas, cañones y artilleros- tratando de efectuar un tiro eficaz. Y ello no resulta aceptable.

Por ello, se hacía llamativo un análisis teórico del problema para tratar de obtener una descripción de la trayectoria de la bala, por una parte, y una mayor seguridad en el resultado final, por la otra. Pero la nueva dificultad es que los teóricos tampoco tienen una respuesta clara y precisa al problema.

Algunas veces se sugería la composición de movimientos en línea recta con un ingrediente curvo como intermedio. Y Tartaglia hace uso de esta estrategia en su primera obra de balística, *Nova Scientia*, en el año de 1537. Pero la fidelidad a la experiencia, o bien, una propuesta teórica de inspiración aristotélica, pero no estrictamente desarrollada por Aristóteles, podía sugerir una cierta curvatura. Esta propuesta teórica es la teoría del ímpetu, pero Tartaglia no la discute estrictamente. Es más, su tratamiento parece querer librarse de tales referentes filosófico especulativos y más bien desarrollar un enfoque geométrico-formal. Sin embargo, declara que la trayectoria con componentes rectilíneos no es adecuada ni tampoco posible.

En particular, las obras de Tartaglia en cuestiones dinámicas relativas al problema balístico son dos, la primera de más repercusión en su tiempo -Venecia, 1537, con segunda edición en 1550- se titula *Nova scientia inventa da Nicolo Tartalea* y la segunda, más importante pero menos influyente *Questii et inventioni diverse di Nicolo Tartalea*, de 1546. En la primera se estudia la trayectoria de la bala fuera de la pieza de artillería; en la segunda, además del problema del movimiento del proyectil se considera la totalidad de la artillería, es decir, la fundición de los cañones, la fabricación de la pólvora y las balas, el uso, etc. En esta segunda obra es donde hay mayor desarrollo conceptual

novedoso y oposición a las interpretaciones tradicionales en uso corriente.

En estas obras hay una interesante tensión entre la experiencia del ingeniero y la fuerza de la demostración geométrica, la novedad del enfoque de Tartaglia. Además de Arquímedes, Tartaglia se apoya en desarrollos medievales. Pero los resultados no son exitosos por la complejidad del fenómeno a estudiar y la dependencia de definiciones tradicionales expresadas geoméricamente. Un estudio específico de la cuestión que va más allá del alcance de este estudio puede encontrarse en el ensayo de Koyré, “La dinámica de Niccolo Tartaglia”. También podría resultar interesante el breve apartado sobre Tartaglia que aparece en el texto de W. R. Laird que se anota en la bibliografía.

No obstante, a lo máximo que se acerca es a cierto grado de inclinación del cañón para asegurar el blanco efectivo. Tartaglia encuentra que el alcance máximo de un proyectil se obtiene cuando la inclinación de la pieza de artillería es de 45 grados, aunque también investigó otros factores como la carga, la longitud del caño, el peso y diámetro de la bala, y también el calibre de la pieza.

Sin embargo, se debe reconocer que Tartaglia no logra establecer una estricta ley que exprese la esencia del fenómeno de movimiento de los proyectiles, que es lo que está tras el

problema balístico. Pero sí coloca las bases para lo que será una solución. Dicha solución será el logro y el legado de Galileo Galilei, como se tratará más adelante.

### Notas

(1) A Niccoló Tartaglia se le conoce también como agrimensor y tenedor de libros. Publica una edición al italiano de los *Elementos* de Euclides. Como ingeniero que busca retroalimentar su saber con las matemáticas considera que “la finalidad del estudiante de la geometría es siempre hacer cosas que él pueda construir con material para conseguir el mejor resultado de su habilidad” (Mason, *Historia de las ciencias*, 172.)

Tartaglia llegó a ser profesor de matemáticas en Venecia y allí muere en 1557. Su campo matemático es el álgebra, y se destaca por un nuevo método de resolver ecuaciones de tercer grado, esto es, que incluyen cubos de números que le sirvió para ganar un duelo o desafío matemático con Antonio Maria Fiori, discípulo de Scipione del Ferro. Por supuesto no da a conocer su método, pero se lo comunica a Cardano, quien a pesar de un juramento lo publica en su libro *Ars magna* de 1545, reconociendo la autoría de Tartaglia. El *Ars magna* es uno de los primeros tratados dedicados exclusivamente a cuestiones algebraicas.