



PABLO CUARTAS RESTREPO  
GERMÁN RICAURTE

Ilustración: Erika Torres Hoyos

# EL helicóptero DE LEONARDO

## ¿Era Leonardo un científico?

Desde hace cinco siglos el nombre de Leonardo da Vinci ha sido relacionado con la definición del científico por antonomasia. Leonardo es más reconocido como científico entre el común de las personas que, incluso, algunas de las mentes más brillantes de la ciencia. Cerebros que aportaron nuevas ideas en lo que al conocimiento del universo se refiere como Newton, Gauss o Einstein son menos recordados que el genio del Renacimiento (Truesdell, 1975, p. 18).

El conocimiento que poseía Leonardo sobre la ingeniería de finales del siglo xv,

fue el fruto de la recopilación metódica de información sobre la tecnología de la época, aunque se debe reconocer que el genio trató de introducir sus propias innovaciones en el diseño de todo tipo de máquinas. Era común que los inventores del siglo xv fueran al mismo tiempo pintores, escultores y arquitectos, ejemplo de ello es Francesco di Giorgio Martini, un sienés contemporáneo y amigo de Leonardo (Ibíd, p. 18).

Las inquietudes de Leonardo sobre la naturaleza lo llevaron a imaginar infinidad de posibles proyectos. Sus notas están repletas de preguntas sobre los más diversos temas, la mayoría de las cuales nunca llegó a responderse. Se sabe que Leonardo en realidad era poco experimentador, la mayoría de las veces sus notas sobre posibles experimentos no terminaron con un desarrollo verdadero o con algún resultado. Truesdell dice acerca de la falta de conclusión en las ideas de Leonardo: “Entre los cientos de páginas que escribió Leonardo sobre mecánica, sólo he encontrado una afirmación, y nada más que una, cuyo origen no puede ser más que experimental” (Ibíd, p. 26).

El autor se refiere aquí a una explicación sobre las ideas de da Vinci acerca de la fricción. Según Leonardo: “Todo cuerpo ofrece una resistencia de rozamiento de magnitud igual a la cuarta parte de su peso si el movimiento se realiza sobre un plano y las superficies de contacto son densas y pulidas (Ibíd, p. 26).<sup>1</sup>

Esta es, tal vez, la única referencia a un experimento mecánico llevado a cabo por Leonardo y se relaciona directamente con algunos de sus dibujos, en los que probablemente presentaba un esquema del proyecto para verificar su afirmación.

Su trabajo sobre la fricción se originó en estudios sobre la resistencia a la rotación de los ejes y la mecánica de las roscas de tornillo. Persiguió el tema durante más de veinte años, incorporando su conocimiento empírico de la fricción en modelos para varios sistemas mecánicos. Los diagramas que se suponen representan su aparato experimental son engañosos, pero su trabajo se basó sin duda en mediciones experimentales y probablemente en contactos lubricados (Hutchings, 2016).

Posiblemente, Leonardo no alcanzó a desarrollar una teoría mecánica debido a su propio desorden, que es evidente en sus cuadernos de

apuntes y a la manera como su mente divagaba a través de infinidad de preguntas que finalmente no trataba de resolver.

## La polimatía de Leonardo lo llevaba desde la ingeniería hasta el arte sin que para él hubiera alguna diferencia y sin que se notara el cambio entre la pintura artística o el diseño técnico.

El método de Leonardo para tratar los problemas científicos se limitaba a observar el fenómeno directamente en la naturaleza y a definir las variables que parecían tener relación con el problema, una velocidad aquí, una fuerza allá; después trataba de relacionar dichas variables procurando que no fueran contrarias a lo observado y finalmente sugería algún

tipo de experimento que pudiera explicarlo. Sin embargo, como ya se ha dicho, no se sabe con certeza que Leonardo llevara a cabo alguno de dichos experimentos, aparte de los relacionados con la fricción. A pesar de ser un fiel observador, y a preferir la observación directa a los enunciados de los textos o a suposiciones dadas por evidentes —cualidades tan apreciadas por la ciencia y que exaltarán Galileo Galilei un siglo después—, Leonardo no jugó un papel trascendental en la historia de la ciencia (Ibíd. p. 18). Entonces, ¿qué hay de particular en su forma de trabajo que hace que se lo asocie con la ciencia? ¿Por qué parece andar en ese borde en que los científicos consideran que es un gran artista y los artistas, un gran científico? Busquemos algo común en la heurística de sus invenciones y sus obras artísticas.

## Observación creativa

La polimatía de Leonardo lo llevaba desde la ingeniería hasta el arte sin que para él hubiera alguna diferencia y sin que se notara el cambio entre la pintura artística o el diseño técnico. La mente de Leonardo mezclaba sin distinguos arte, ingeniería y ciencia. Así, mientras dibujaba el detalle del ala de una paloma, se imaginaba la máquina que pudiera realizar el mismo trabajo. Finalmente, lo que Leonardo deseaba en cada una de sus obras y en cada uno de sus diseños era modelar la naturaleza.

La dedicación de Leonardo a la contemplación metódica y detallada de la naturaleza le proporcionó un conocimiento profundo de la funcionalidad mecánica de los seres vivos, especialmente de las aves. Su sueño de volar se plasmó en el diseño de máquinas aéreas que para su época representaban muchas veces las ideas de un loco, casi todas ellas abocetadas en sus libretas de apuntes, diarios de campo donde además guardaba sus ideas escritas en lenguaje especular (*Manuscrito B*, f. 74 r de 1488).

Los diseños de Leonardo cubren una gama muy amplia de posibilidades mecánicas, desde máquinas para volar, pasando por armas y artillería pesada que incluía cañones, carros blindados y fortalezas, hasta bosquejos de medios de transporte, herramientas de trabajo e instrumentos musicales (Laurenza, Taddei y Zanon, 2009, pp. 18-25).

### El tornillo aéreo

Leonardo imaginó mecanismos que pudieran reproducir el movimiento de las alas y que lograrán la sustentación para el vuelo. Uno de sus más icónicos diseños, la *vite aerea*, o el tornillo aéreo (*Manuscrito B*, 1489), ha sido relacionado durante mucho tiempo con la idea original del “helicóptero” moderno. La palabra para referirse a una hélice voladora fue bautizada así por el pionero de la aviación francés Gustave Ponton D’Amécourt en 1863, y combina las palabras griegas *hélíx*, *hélíkos*, espiral y *pteron*, ala.

Este proyecto de Leonardo para una máquina voladora no solo se destaca por el diseño mecánico, sino por la idea correcta que tenía sobre la verdadera naturaleza del aire como un fluido dinámico. Su diseño estaba basado en su conocimiento sobre la estructura del aire. Siendo una sustancia, tal y como él lo imaginaba, el aire debería producir algún tipo de sustentación. Leonardo imaginaba que al hacer girar la hélice, esta “penetraría” el aire como lo hace un tornillo en la madera (Laurenza, Taddei y Zanon, 2009, p. 47). Junto a los bocetos de su diseño podía leerse: “Si este instrumento hecho en forma helicoidal, se realiza de la manera correcta sobre un tejido de

lino donde los poros de almidón detienen el aire, al mover rápidamente este tornillo se creará una espiral que levantará el objeto” (*Manuscrito B*, f. 83 v de 1489).

La máquina poseía una base circular donde se empotraba un eje rotador y el mecanismo que lo haría rotar empujado por cuatro hombres de pie. Alrededor del eje se sujetaba una estructura helicoidal armada con cañas y lino templado que se reforzaba con un borde metálico.

Aunque visionario en su diseño, obviamente la *vite aerea* no podía volar. La fuerza de cuatro hombres empujando el mecanismo no sería suficiente para desarrollar una velocidad de la hélice que lograra un efecto dinámico sobre el aire para producir sustentación. Por otro lado, Leonardo no sabía que, al elevarse la máquina, el disco de la base empezaría a rotar en sentido contrario al de la hélice, debido a la ley de conservación del momento angular.

Los helicópteros modernos utilizan sus hélices como alas rotantes que generan sustentación al hacer pasar el aire más velozmente por el lado de encima, lo que genera una presión mayor del aire en el lado de abajo de la hélice produciendo un empuje ascendente, a este fenómeno se le conoce como efecto Bernoulli, y no fue descrito sino hasta 1738. Igualmente, los helicópteros modernos tienen un rotor de cola, lo que les permite contrarrestar el giro contrario a la hélice principal.

Habría sido maravilloso poder observar a aquellos cuatro aeronautas tratando de hacer volar su máquina sobre las colinas de la Toscana italiana mientras eran vitoreados por los testigos incrédulos que se santiguaban ante semejante adefesio.

### Ciencia e ingeniería de la naturaleza

Las ideas de Leonardo sobre el funcionamiento de los seres vivos son equivalentes a las ideas modernas de la *biomimética*, campo de estudio situado entre la ciencia y la ingeniería, que encuentra en los mecanismos vivos la fuente de inspiración para el desarrollo de nuevas tecnologías (J. Benyus, 1997).

A partir del estudio de la biología en áreas como los materiales de los que están hechos los seres vivos, o los principios mecánicos que hay detrás del funcionamiento de los cuerpos animales, la biomecánica y la ingeniería biomédica tratan de imitar (*mimesis*) a los organismos vivos con el diseño de máquinas funcionales.

En este sentido, muchos de los diseños de Leonardo eran biomiméticos. Máquinas como la *Libellula*, el *Ala battente* o la *Macchina volante*, (*Manuscrito B*, f. 88v, 1487-1489) eran intentos de mejorar las capacidades mecánicas del hombre y de darle la oportunidad de reproducir el aleteo de las alas de un ave con el fin de volar.

A juicio de Leonardo, la ciencia tiene como propósito la imitación y, en ese sentido, no existe ninguna disciplina que aventaje a la pintura en la tarea de imitar.

La obsesión por la observación detallada llevó a da Vinci a acumular dibujos extraordinarios y a reportar descubrimientos anatómicos en sus cuadernos de apuntes. Al intentar ser preciso en sus ilustraciones, por ejemplo, rastreó en el corazón el recorrido de las arterias, avizoró la función de las válvulas y comprobó, en contra de lo que pensaban lo médicos de la época, que el aire no pasa directamente de los bronquios a la vena pulmonar y que el corazón no tiene dos cavidades, sino cuatro (*Manuscrito G*, 1510-1511).

## El arte como imitación

En su obra artística, Leonardo no pretendía solo observar fielmente la naturaleza y extasiarse, quería entender cómo hace la naturaleza para producir su magia de luces y sombras, y para él entender significaba ser capaz de reproducir. Cuando observaba fenómenos como los destellos del amanecer, las miradas furtivas, las sonrisas enigmáticas o el color de la piel traslúcida de las doncellas, trataba de imaginar al mismo tiempo la manera de imitar esos efectos ópticos haciendo uso de resinas, aceites, minerales, diversos metales, secreciones de insectos o moluscos, tintes vegetales, cuyas esencias extraía y maceraba en morteros alquimistas,

que luego vertía y esparcía en un lienzo en capas de diferentes espesores y mezclas. Su manera de ver el mundo y su proyecto de vida nacían del convencimiento de que es posible emular el lenguaje de los juegos de luz en la atmósfera con el lenguaje de resinas pigmentadas sobre el lienzo.

La técnica que inventó, que causó sensación ya entre sus contemporáneos, es el *sfumato* o difuminado, que reducía el “peso” del dibujo, borrando sutilmente los contornos de las figuras fundiéndolos con las sombras, emulando la sutil nubosidad fruto del aire que existe entre el observador y el observado. En palabras del propio Leonardo: “El mucho aire impide la evidencia de la forma de esos objetos y, en consecuencia, sus más menudos detalles resultan imperceptibles e irreconocibles” (*Tratado de Pintura*, 558 B.N. 2038 31b, p. 397). Relacionado con la explicación de por qué “no se puede reconocer el rostro de una persona a gran distancia” (Ibíd. 557 B.N. 2038, 20b, p. 395).

Pero la realización de su proyecto artístico no fue fácil para Leonardo. Tuvo que luchar contra la opacidad de los pigmentos inorgánicos. Las investigaciones modernas hechas con espectroscopia de rayos x (de Viguerie *et al.*, 2010), muestran que, en sus últimas pinturas, Leonardo llegó a producir capas translúcidas de espesores entre treinta y unos cuantos micrómetros, un logro increíble incluso para los estándares actuales. Esta técnica exige un largo tiempo de secado de las capas individuales, que dura semanas y meses, lo cual explica por qué, por ejemplo, Leonardo trabajó en la Mona Lisa durante más de cuatro años y la consideraba aún inconclusa. Experimentó haciendo *sfumatos* con colorantes orgánicos, más intensos y transparentes, en cuadros como la última cena, como lo demuestran los estudios de espectroscopia Raman y de fluorescencia (Austin Nevin *et al.*, 2011).

Gran parte del desarrollo de la química durante la segunda posguerra es una imitación artificial de los costosos colorantes de origen biológico, que hacen ahora más fácil los efectos de difuminado para los artistas modernos, e incluso son la base de la fotografía en papel.

## Un borde difuso

Quizá el mayor legado que nos deja Leonardo se encuentra en su manera de recordarnos que el camino entre ciencia y arte, entre la imitación y la creación original, es más difuso de lo que solemos imaginar. En nuestra época multidisciplinaria y fragmentaria, percibimos un abismo conceptual, incluso un borde legal, entre copia e invención donde, para Leonardo, hay solo un borde difuso, un *sfumato*, podríamos decir. Mirar detalladamente la naturaleza involucra a la vez reproducir su dinámica, y esta reproducción a veces sugiere espontáneamente abandonar la estructura y pasar a imitar solo la función. Así, al reconocer los límites físicos de la sustentación de un ala batiente para levantar cuerpos más pesados que los de las aves, pronto lleva a da Vinci a concebir un ala de tela velozmente giratoria y de mayor superficie sin parangón en la naturaleza. Se puede sacrificar el anhelo de “volar como un ave” a cambio de “volar como sea”. Esto puede dar lugar a modificaciones grotescas en la anatomía pero, a cambio, añade poderes al aparato como la capacidad de mantenerse estático en el aire, girar sobre sí mismo y despegar y aterrizar verticalmente, cosas imposibles para casi todas las aves, a excepción quizá de la más liviana: el pequeño colibrí.

Aunque la fantasía sobre el genio renacentista nos presione a creerlo, debemos reconocer que Leonardo no logró convertir su idea en invención factible con los medios de su época. Esta maravilla de la tecnología moderna fue patentada por el argentino Raúl Pateras de Pescara en 1920, ya con motores de combustión interna. Sin embargo, no deja de sorprendernos que 440 años antes Leonardo hubiera soñado con perforar el aire con una hélice, sueño que aún inspira a los más curiosos ingenieros a volver a observar las aves en busca de sus secretos. Investigadores británicos, por ejemplo, han observado que, en términos de la energía que necesitan para alzar su peso en el aire, los colibríes son un 20% más eficientes que un helicóptero de tamaño similar (Lentink *et al.*, 2014). Este estudio es un buen ejemplo de la

investigación en el campo que vincula la biología y la ingeniería. “Estudiar la forma de las alas de los colibríes no solo puede ofrecer información sobre la biomecánica de los animales”, dijo uno de los autores a la BBC, “estos conocimientos también pueden servir para construir la nueva generación de micro robots voladores” (BBC Mundo)<sup>2</sup>. 

### Referencias

- Truesdell, C. (1975). *Ensayos de Historia de la Mecánica*. Tecnos.
- Hutchings, M. (2016). *Leonardo da Vinci's studies of friction*. Wear. Volumes 360 -361, 15 August pp. 51-66.
- Laurenza, D., Taddei, M., Zanon, E. (2009). *Le Macchine di Leonardo*. Giunti.
- Benyus, J. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York, USA: William Morrow & Company.
- da Vinci, L. (2007). *Tratado de Pintura*. Akal.
- de Viguerie, L., Walter, P., Laval, E. Mottin, B. y Solé, A. (2010). *Revealing the sfumato Technique of Leonardo da Vinci by X-Ray Fluorescence Spectroscopy*. *Angewandte Chemie International Edition* 49, No. 35, 6125-6128.
- Nevin, A., Osticioli, I., Comelli, D., Gallone Galassi, A., Valentini, G. y Cubeddu, R. (2011). *Advances in the analysis of red lake pigments from 15th and 16th C. paintings using fluorescence and Raman spectroscopy*. *Int. Conf. on non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage (ART 2011)*, 13-15 April, Florence, Italy.
- Kruyt, J. W., Quicazán-Rubio, E. M., van Heijst, G. F., Altshuler, D. L. y Lentink, D. (2014). *Hummingbird wing efficacy depends on aspect ratio and compares with helicopter rotors*. *Journal of The Royal Society Interface*.

### Notas

<sup>1</sup> Esta afirmación tan genérica es atrevida. Equivale a decir que el coeficiente de fricción estático para todas las superficies pulidas es de 0.25, lo cual es un valor razonable para algunas superficies madera-madera muy bien pulidas de varios tipos, pero no por ejemplo, para el caso de superficies de metal-hielo, como en los trineos, que es de alrededor 0.1.

<sup>2</sup> <https://www.bbc.com/mundo/noticias>

### Germán Ricaurte

Magíster en Física de la Universidad Nacional. Profesor del Instituto de Física de la Universidad de Antioquia. Miembro del Grupo de Biofísica. Sus pasatiempos son la historia de la ciencia y la música. Premio a la Extensión Universitaria UdeA 2008.

### Pablo Cuartas

Doctor en Física (Ciencias Planetarias), profesor e investigador del pregrado de Astronomía de la Universidad de Antioquia. Conferencista, divulgador y autor de varios libros.

