

# Leonardo da Vinci y la ingeniería

*Texto basado en la conferencia pronunciada en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, el 14 de noviembre de 2019 en el ciclo “Da Vinci debería estar vivo”*

José Fernando Jiménez Mejía

(Colombia, 1963-v.)

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia y Magíster en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la misma institución. Doctor en Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia. Autor de un libro, varios capítulos y artículos.



## Resumen

**L**as pinturas de Leonardo da Vinci despertaron respeto y admiración entre muchos de sus contemporáneos, lo que, desde entonces, le valió gran renombre como artista. Por contraste, se habla menos, aunque con interés creciente, acerca de su obra técnica, sobre la cual los manuscritos constituyen la fuente principal. El Renacimiento, al carecer propiamente de un paradigma estable y único de pensamiento, lo obligó a crear unas reglas de conocimiento a partir de las cuales pudo explorar con alguna certeza el mundo concreto y fenoménico, dándole primacía a la experiencia y a los sentidos. En Leonardo se desarrolla una intuición maquínica que acompañó su variada, singular e interesante actividad como ingeniero, la cual se ve reflejada en pequeños y grandes proyectos, algunos de estos inéditos en su naturaleza. En la obra de este artista-ingeniero reconocemos la existencia de un verdadero espíritu libre.

## Palabras clave

Ciencia, experiencia, ingeniería, intuición maquínica, Leonardo da Vinci, mecánica.

Las últimas luces de la tarde caen sobre la ciudad. Por invitación de la Dirección de Bienestar Universitario de la Sede, en unos minutos vamos a hablar sobre la obra técnica de Leonardo da Vinci. Mi café todavía humea, huele bien y tiene el sabor justo para darme el impulso antes de entrar al salón. Quizás alguien pregunte: “¿Es que usted no ve más que máquinas? ¿No se da cuenta de que está hablando de un artista extraordinario?”. Las nubes que pasan sobre nosotros ya muestran sus primeros tonos rosados. Hay ruido de voces y de ciudad. Miro con curiosidad y discreción a los jóvenes, también a las chicas, más que a los mayores. Quisiera encontrar en sus miradas las chispas de creatividad e independencia que acompañaban a nuestro personaje. Todos tienen algo de Leonardo, o pudieran tenerlo. Me gustaría que fueran ellos los que hablaran hoy en el auditorio, que dijeran: “Amamos el mundo” o cosas como “vamos a luchar por esta Tierra generosa, mal que les pese a los que quieren convertirla en una máquina de producir dinero”. Quizás alguien invite, antes de salir de la presentación, levantando un poco la voz por encima de nuestras cabezas: “Nos vemos mañana, cuando salga el Sol; no olviden levantarse temprano para celebrarlo”.

### **Años de formación**

A mediados del siglo xv Vinci era una pequeña población rural, situada a unas cuatro horas de camino al oeste de Florencia. No se trataba propiamente de una región apartada y atrasada, sino que tenía cierta actividad artística y cultural, ligada en parte a la de esa próspera ciudad. Leonardo fue hijo de un conocido notario, Ser Piero da Vinci, y de una joven campesina, Caterina, cuyo matrimonio no fue posible consumar por razones de conveniencia, dada la disparidad social entre ellos. Quizás los progenitores sintieran mutuamente verdadera atracción amorosa, aunque transitoria, a juzgar por los escasos documentos históricos que se conservan y en atención al parecer del mismo Leonardo, quien escribe, sin hacer referencia explícita a su caso personal, en el manuscrito de Weimar:

El hijo engendrado por la fastidiosa lujuria de la mujer y no por la voluntad del marido será mediocre, vil y estúpido. El hombre que realiza el coito con reticencia y disgusto engendrará niños irascibles y cobardes. Y cuando el coito es producto de un gran amor, y de un gran deseo mutuo, entonces el niño tendrá gran intelecto, vivacidad y gracia (Pedretti, 1977, p. 110).

Lo cierto es que el abuelo celebra con beneplácito el advenimiento del niño: “El 15 de abril [1452], un sábado a las tres de la noche, nació mi nieto, hijo de Ser Piero. Lo llamaron Leonardo” (Vezzosi, 2001, p. 13). Y, según se dice, en Vinci los aldeanos festejaron el nacimiento y bautizo del pequeño.

Muchas páginas se han escrito sobre las condiciones que, en pleno Renacimiento, pusieron a bascular la cultura europea. Por ejemplo, en el mismo año del nacimiento de Leonardo, Gutenberg comenzó la impresión de la Biblia. Un año después, tras la caída de Constantinopla a manos de los turcos otomanos, se desata una gran crisis de poder en el mundo cristiano que obligó a la transformación de las relaciones económicas y culturales entre Asia y Europa; en tales circunstancias se produce la migración de sabios y eruditos desde Bizancio al continente europeo, quienes llevan consigo valiosos libros del pensamiento antiguo, entre los que se cuentan las obras de Platón, Aristóteles, Euclides y Ptolomeo. A todo esto se suma el descubrimiento del nuevo continente y la formación de una pujante clase financiera, justo en el corazón económico y político de la región toscana, es decir, en Florencia. Para hacerse a una idea del esplendor de esta ciudad, conviene recordar la descripción que hace de ella Benedetto Dei en 1472, citado por Isaacson (2018):

La hermosa Florencia reúne los siete elementos fundamentales que necesita una ciudad perfecta. Primero, goza de absoluta libertad; segundo, tiene una gran población, rica y elegantemente vestida; tercero, disfruta de un río de agua clara y pura y acoge molinos dentro de sus murallas; cuarto, gobierna en castillos, pueblos, tierras y gentes; quinto, hay una universidad en la que se imparte griego y contabilidad; sexto,

convienen en ella maestros en todas las artes; séptimo, cuenta con bancos y agentes en todo el mundo (p. 38).

Leonardo vivió buena parte de su infancia en la casa de los abuelos paternos en Vinci, mientras el padre permanecía mayormente ocupado en sus oficios notariales, y la madre, que había contraído matrimonio meses después del nacimiento de Leonardo con un campesino y alfarero del lugar, vivía en una granja situada en las afueras del pueblo. Así pues, libre de las pesadas ataduras de una familia “funcional”, como se acostumbra decir ahora, Leonardo tuvo la fortuna de moverse sin mayores limitaciones por Vinci y sus alrededores, entrando en contacto con un mundo de ocupaciones más prácticas que intelectuales. Es de suponer que un tío suyo, llamado Francesco, mayor que él unos quince años, casi cumpliera el papel de padre y maestro. Se dice que era bonachón y disipado, como el abuelo, pero tan próximo a Leonardo que, en la primera edición de las *Vidas de los más excelentes pintores, escultores y arquitectos*, Vasari lo confundió con el padre de sangre de Leonardo (Isaacson, 2018).

A la edad de 12 años, tras la muerte de su abuelo Antonio y de su esposa, la situación en la casa de Vinci cambió drásticamente. Ser Piero decidió entonces trasladar a su hijo a Florencia, donde este asistió inicialmente a una escuela primaria, conocida como el ábaco. Cuando alcanzó la edad de 14 años, el padre, quizás motivado por las destrezas e intereses que manifestaba su hijo, y considerando que ya era hora de que aprendiera un oficio, decidió llevarlo a la *bottega* del maestro Andrea del Verrocchio con la intención de que allí el muchacho se hiciera diestro en diversas artes manuales.

Verrocchio no solo era un cliente conocido de ser Piero. Su taller rivalizaba en fama con algunos otros que tenían su asiento en la ciudad de Florencia, como el de Antonio de Pollaiuolo. En estos lugares se instruía a los aprendices en las artes de la pintura, la escultura, la metalurgia, la arquitectura, la construcción y las artes escénicas; y se producían mercancías y obras de arte que eran compradas por la clase media emergente de

la ciudad o por reconocidos comerciantes y banqueros locales, entre los cuales se encontraban varios miembros de la familia Médici, cuya influencia marcaba el ritmo del devenir económico, político y cultural de la ciudad. En calidad de aprendiz, Leonardo tuvo la oportunidad de estudiar algo de anatomía, técnicas de dibujo y pintura, y artes mecánicas; pero también es casi seguro que en la *bottega* hiciera parte de tertulias y discusiones acerca de asuntos relacionados con poesía, música, filosofía, matemáticas, geometría y geografía. Y además de la elaboración de algunos dibujos y pinturas, en los que trabajó como ayudante, participó en otros proyectos importantes, como aquel de la construcción y posicionamiento de una gran esfera de dos toneladas, envuelta en láminas de cobre, sobre la cúpula de la Catedral de Florencia, siguiendo el diseño original del famoso arquitecto Filippo Brunelleschi (1377-1446). A juzgar por sus numerosas invenciones posteriores, no parece que fuera menos importante para Leonardo la creación de artefactos y máquinas destinados a diferentes representaciones humorísticas y teatrales, en las cuales se acostumbraba incluir distintos tipos de *ingegni* que consistían en la elaboración de efectos especiales, carruajes, monstruos, ángeles y máquinas voladoras que cruzaban el escenario ante el asombro del público presente. Sus talentos pudieron hacerse más notorios a partir de las contribuciones que hiciera a pinturas de carácter colectivo que se desarrollaban en las instalaciones del taller de Verrocchio, en las cuales interviene su espíritu inquieto y experimentador, pues ya introduce pequeños cambios en el tratamiento de la perspectiva, la preferencia por uso del óleo en las pinturas, el valor otorgado al paisaje y las primeras exploraciones con el claroscuro, el *sfumato* y el color —véanse, por ejemplo, en el cuadro colectivo llamado *Bautismo de Cristo*, fechado a mediados de la década de 1470, la perspectiva aérea en las montañas que se difuminan al fondo, las delicadas ondas que se forman en la superficie del agua en torno a las piernas de Jesús, y la hermosa cabeza del ángel en escorzo, todas ellas contribuciones atribuidas al muchacho proveniente de Vinci—.

El encuentro con Verrocchio tuvo mucho de afortunado. La labor de este maestro, reconocida expresamente por el padre de Rafael Urbino (Isaacson, 2018), se pone de manifiesto de varios modos: en su capacidad de reconocer y contribuir al desarrollo de las habilidades de sus discípulos; en que, bajo su dirección, el espacio del taller facilitó la discusión de temas culturales, artísticos y técnicos; en la construcción de ambientes diversos y muy favorables para la producción de conocimiento; en el trabajo colaborativo del taller para la realización de algunas obras, y en haber permitido la transición de los aprendices a la vida laboral e independiente. Y si un maestro se distingue por los logros que alcanzan sus discípulos, echemos un vistazo a los jóvenes pintores que acudieron a la *bottega* de Verrocchio: Pietro Perugino, Lorenzo di Credi, Domenico Ghirlandaio, Sandro Botticelli, Leonardo da Vinci.

Leonardo residió hasta los 25 años en el taller de Verrocchio, pero finalmente se decidió a montar él mismo su taller, con el cual no tuvo mucha suerte. En los cinco años siguientes recibió por lo menos tres encargos artísticos importantes, de los cuales solo emprendió la *Adoración de los reyes* y el *San Jerónimo*, los cuales quedarían inconclusos. En ellos, sin embargo, emergen ya nuevos problemas, y se deja ver el espíritu original del joven aprendiz, desde siempre innovador y disruptivo.

### Las reglas de conocimiento de Leonardo

La actividad técnica y científica de Leonardo no se puede inscribir en ningún “paradigma” de conocimiento, en el sentido que Kuhn le da a este término. Las razones son varias y entre ellas, como es apenas obvio, está el hecho de no haber recibido una educación “formal” y que, a pesar de escribir muchas páginas en sus libretas de notas, al final no pudo llevar a cabo los proyectos de publicación que alguna vez se propuso (de anatomía, hidráulica, entre otros), quedando inédita gran parte de su obra. El Renacimiento fue más una época de cambios, umbrales y transiciones que de consolidación de modos de pensamiento, y en tal sentido antecede y

aporta enunciados, técnicas, instrumentos, problemas y acervo experimental fundamentales para la emergencia del paradigma científico que habrá de desarrollarse en la Europa del siglo xvii a partir de los trabajos de Newton, Descartes y Leibniz, por mencionar unos pocos. No podía ser de otra manera: muchos de los científicos renacentistas del siglo xv tuvieron que afrontar una feroz resistencia religiosa, cultural y política con la que aún se pertrechaba el tambaleante saber del medioevo europeo; y se expusieron a los peligros derivados de ser declarados herejes o blasfemos, como lo atestiguan las biografías del mismo Leonardo, Copérnico, Giordano Bruno o Galileo.

Las numerosas notas de Leonardo acerca de diversos fenómenos naturales y de la actividad técnica por él desplegada, hubieran sido imposibles de realizar sin la ayuda de un conjunto de “reglas” de conocimiento. Con el tiempo, a medida que las reglas se fueron completando, articulando entre sí y definiendo entre ellas jerarquías y campos de aplicación más apropiados, las intervenciones de Leonardo llegaron a ser más osadas y efectivas. Fue justamente el traslado a Milán el acontecimiento que lo puso en contacto con verdaderos expertos de la época en temas relacionados con las matemáticas, la arquitectura, la medicina, entre otras materias. Y es aquí donde precisamente podría decirse que comienza su carrera técnica, ya que en los años previos, correspondientes a los años de formación, estuvo más dedicado a las artes y a la fabricación de artefactos escénicos y populares.

Las reglas de conocimiento de Leonardo constituyen un marco de referencia mínimo para entender sus obras de ingeniería: “dado que el buen juicio nace de un buen entendimiento, y un buen entendimiento conduce a razones derivadas de buenas reglas, y las buenas reglas son hijas de la buena experiencia: la madre común de todas las ciencias y las artes” (C. A., 218b).<sup>1</sup> Hay unas básicas o fundamentales, como las que se refieren al

<sup>1</sup> Estas abreviaturas hacen referencia a los manuscritos de Leonardo. Al final del presente texto se encontrará una tabla en donde se explican con detalle [N. del E.].

papel de la experiencia, la ciencia y las matemáticas; y otras de segundo nivel, intermedias, derivadas o parciales, como las relacionadas con la necesidad y potencia, la jerarquía de los sentidos, la práctica, la repetitividad de las pruebas, las analogías y el lenguaje gráfico-escritural. Consideremos brevemente algunas de estas reglas:

1. Experiencia: cuando Leonardo habla de experiencia no necesariamente está pensando en experimentos “técnicos”, sino en algo mucho más amplio, capaz de abarcar otras dimensiones posibles del pensamiento y la actividad humana, como cuando escribe en una libreta pequeña (Richter, 1929): “La sabiduría es hija de la experiencia (S. K. M. III, 80b)” (p. 288).

Ahora bien, es interesante ver cómo plantea que la función del experimento controlado es la de hacer de intérprete entre la naturaleza y el hombre. Esto se lee en una nota escrita probablemente en el año 1497, según Pedretti (1977):

Ustedes investigadores, por consiguiente, no deberían confiar en aquellos que, empleando solo su imaginación, han deseado convertirse ellos mismos en intérpretes entre la naturaleza y el hombre, y solo han de fiarse de aquellos que han ejercitado sus intelectos no en los signos de la naturaleza sino en los resultados de sus experimentos (I., 102-103) (p. 238).

2. Ciencia: la ciencia renacentista europea venía precedida por la visión aristotélica del Medioevo —más deductiva que inductiva, más teórica que experimental—, y entró en franco conflicto con ella, aunque no de una manera inmediata ni definitiva. Varias veces Leonardo debió contrastar esa manera “práctica” de ver el mundo que había aprendido en la *bottega* con el saber de algunos académicos de su época, quienes incluso lo acusaron de iletrado. Así, escribe:

Soy plenamente consciente de que al no ser un hombre de letras, ciertas personas presuntuosas pueden pensar que tienen motivos para reprochar mi falta de conocimientos. ¡Necios! ¿Acaso no saben que

puedo contestarles con las palabras que Mario dijo a los patricios romanos? “Aquellos que se engalanan con las obras ajenas nunca me permitirán usar las propias”. Dirán que al no haber aprendido en libros, no soy capaz de expresar lo que quiero tratar, pero no se da cuenta [de] que la exposición de mis temas exige experiencia más bien que palabras ajenas. La experiencia ha sido la maestra de todo buen escritor; por esto será siempre ella la que citaré como maestra (C. A., 117b).

En todo caso, tampoco Leonardo entiende por “ciencia” lo mismo que nosotros en la actualidad, como se colige de la siguiente cita, escrita probablemente en el periodo 1513-1514 (Pedretti, 1977): “Ciencia es la explicación de las cosas posibles, presentes y pasadas; preciencia es el conocimiento de las cosas que pueden ocurrir, aunque lentamente (Tr., 46)” (p. 236).

3. Matemáticas: a medida que Leonardo incursiona en labores técnicas y artísticas más complejas, valora más el aporte de las matemáticas para el desarrollo de la ciencia, la mejor comprensión de sus experimentos y la realización de sus proyectos. Un inusual talento geométrico le permitió ampliar sus propias teorías acerca del arte de la perspectiva y la “geometría en movimiento” (Capra, 2011). Una sola frase expresa la relación que, por los años 1510-1511, establece entre ciencia y matemáticas (Pedretti, 1977): “No hay certeza donde no se puede aplicar una de las ciencias matemáticas, o donde no se pueda establecer relación alguna con las mismas (G., 95b)” (p. 239).

Sin embargo, a pesar de haber encontrado en el matemático Luca Pacioli un amigo y un maestro, fueron pocos sus logros en otras áreas de la matemática, con excepción de la geometría.

4. Necesidad y potencia: esta dupla maravillosa, que puede tener su origen conceptual en las lecturas que hiciera Leonardo de Aristóteles, se cuida de no condenar el devenir del mundo a los designios de la causalidad. A propósito de esta última, y refiriéndose al papel fundamental del experimento como intérprete entre la

naturaleza y los seres humanos, Leonardo escribe: “En la naturaleza no hay efecto sin causa; si se comprende la causa, no hay necesidad de experimentación” (C. A., 147).

En contraste con la causalidad (entendida aquí como necesidad), la siguiente frase, escrita probablemente entre los años 1487-1490, muestra la función liberadora y generatriz de las potencias (Richter, 1929): “En muchos casos, una y la misma cosa es atraída por dos fuerzas poderosas, llamadas Necesidad y Potencia. El agua se precipita como lluvia; la Tierra la absorbe por necesidad de su humedad; y el Sol la evapora, no por necesidad, sino por su potencia (Tr., 75)” (p. 286).

Por una parte, Leonardo no cree en milagros ni en hechos sobrenaturales; todo lo contrario, dedica varios apuntes de sus cuadernos a denunciar la nigromancia, la magia, la alquimia, la milagrería y, de modo explícito, lo que denomina las ciencias sofisticas. Pero, por otra parte, muchas de sus invenciones y máquinas requieren el concepto de potencia para funcionar, como se mencionará más adelante.

5. Jerarquía de los sentidos: Leonardo se dedicó a estudiar de modo sistemático el papel de los sentidos en los procesos de conocimiento y estableció el siguiente principio epistemológico básico (Pedretti, 1977): “El origen de todos nuestros conocimientos está en nuestras percepciones (Tr., 20b)” (p. 236).

Los sentidos realizan una labor mediadora entre el mundo y el sistema receptor del cuerpo, quien por su parte traduce las señales visuales, sonoras y demás en signos para el desciframiento del alma (W. An. II, 202a; Naranjo, 1987). Sin embargo, los sentidos tienen diferentes potencias, dado lo cual surge una especie de jerarquía entre ellos, siendo la vista el de categoría superior: “El ojo, al que llamamos la ventana del alma, es el medio principal por el que el sentido común puede, de la forma más copiosa y magnífica, considerar las infinitas obras de la naturaleza” (Capra, 2011, p. 305).

6. Práctica: así como Leonardo reitera en varias ocasiones la importancia de apoyar los argumentos de la

ciencia en la observación y la experimentación, también señala cómo la práctica sin ciencia es más bien un empirismo ciego, que no conduce más que a la incertidumbre y la errancia (de los argumentos), como en la siguiente cita, datada por Pedretti (1977) entre 1510-1511: “Aquellos que se enamoran de la práctica sin ciencia son como un marinero que se embarca sin timón y sin brújula, y que nunca sabe con certeza a dónde se dirige (G., 8a)” (p. 373).

En otras partes, como cuando habla de sus trabajos de anatomía o pintura, se refiere a la “práctica” más como el conjunto de usos, ejercicios, ensayos y entrenamientos que sirven para desarrollar ciertas habilidades necesarias para el desempeño artístico o técnico. En este punto estamos ante un incuestionable maestro, quien reservó un lugar especial para la “práctica” en su método de conocimiento.

7. Repetitividad: esta regla es necesaria para “garantizar” que la interpretación de las observaciones y los experimentos sea la correcta, y abre la posibilidad de convertir los resultados de un estudio en verdaderos criterios de autoridad, como ocurre a propósito de los experimentos anatómicos realizados en cadáveres. Leonardo escribe, cerca del año 1508 (Richter, 1929; Pedretti, 1977):

Y tú, que dices que es mejor presenciar una demostración anatómica que ver mis dibujos de la anatomía del cuerpo, tendrías razón, si fuera posible observar todos los detalles de estos dibujos en una sola figura. Pero a pesar de su inteligencia, no serías capaz de conocer en una sola figura más que algunas venas, mientras que para obtener un conocimiento completo de ellas he diseccionado más de diez cuerpos humanos (W. An. IV, 167a) (p. 89).

Además, Leonardo piensa que la ciencia debe sustentarse en la repetición de los experimentos. De hecho, en ocasiones hasta se atreve a recomendar algunos cuántos, como pasa con un experimento de caída de graves (*The notebooks of Leonardo da Vinci*, 1939): “y este experimento debería ser realizado varias veces, no

sea que un accidente pueda ocultar o falsear esta prueba – pues el experimento puede llevar a engaño o falsedad al experimentador (M., 57)” (p. 575).

8. Analogías: el uso de las similitudes es frecuente en las notas que se conservan de Leonardo, y parece haber sido una práctica común en las escuelas de ábaco de Florencia, donde se enseñaba a los niños los conocimientos necesarios para llevar una contabilidad básica y abrirse paso en el mundo de los oficios. En distintas épocas de su vida, Leonardo comparó el macrocosmos con el ser humano (microcosmos), intentó explicar el ciclo hidrológico por analogía con la circulación sanguínea en los animales, etc. Sin embargo, más allá de la metáfora y la comparación, subyace aquí un problema fisicomatemático que Leonardo exploró con sorprendente inteligencia e intuición; pero cuyo desarrollo matemático formal solo se concreta a fines del siglo XIX mediante el teorema  $\pi$  de Vaschy-Buckingham. Este problema tiene una larga historia, como se infiere de la cita siguiente, escrita probablemente en el año 1502 (Richter, 1929; Pedretti, 1977): “Vitruvio dice que los modelos pequeños no se comportan en concordancia con los grandes; y aquí me propongo probar que esta conclusión es falsa (L., 53b)” (p. 274).

El uso que le da el maestro florentino a los modelos a escala es frecuente en varias de sus investigaciones científicas y en sus proyectos de ingeniería. Observemos esta otra apreciación acerca de la similitud dinámica del movimiento de cuerpos sometidos a fuerzas viscosas: “Escribe sobre la natación bajo el agua y tendrás el vuelo de los pájaros a través del aire” (C. A., 214).

9. Lenguaje gráfico-escritural: al joven Leonardo pudo pesarle en el ánimo no ser más hábil con la escritura. Pero, con los años, pudo compensar estas falencias de formación gracias, en parte, a su trabajo gráfico, con el cual expresó con suficiente y adecuada precisión el resultado de muchas de sus observaciones y experimentos. Los dibujos anatómicos son un buen ejemplo de esto, como se deduce del siguiente texto,

citado por Pedretti (1977): “Y tú, que dices que es mejor contemplar cómo se hace una anatomía que estos dibujos, tendrías razón si fuera posible ver todo lo que se representa en ellos” (p. 91).

Leonardo estuvo lejos de menospreciar el lenguaje escrito, como se deduce de sus miles de páginas manuscritas, y también demostró las posibilidades comunicativas del dibujo técnico y científico.

### Universo maquínico

Sin duda la ingeniería mecánica fue una actividad importante para Leonardo. Sus cuidadosos dibujos y anotaciones sobre este particular se encuentran dispersos en numerosas páginas de sus libretas y manuscritos, principalmente en aquellos que se guardan en la Biblioteca Real de Turín, el Museo Británico y el Instituto de Francia, y en los códices Ashburnham, Atlántico y de Madrid. Aparecen allí diseños e invenciones de tipo bélico, civil, hidráulico, escénico, musical, de vuelo, y otras de carácter industrial para el movimiento alterno, entallado de limas, pulimento de espejos, transporte de cargas pesadas, costura de tejidos, impresión de textos... Entre estos documentos se destaca el Códice Atlántico: colección de 1.119 hojas repartidas en doce volúmenes, escritas desde el año 1478 hasta 1518, pocos meses antes de su muerte. Los folios fueron recopilados por el escultor Pompeo Leoni a finales del siglo XVI y el conjunto se conserva en la Biblioteca Ambrosiana de Milán. Contiene dibujos y anotaciones sobre una gran variedad de tópicos relacionados con geometría y álgebra, física y ciencias naturales, herramientas y máquinas, arquitectura, artes aplicadas y ciencias humanas. Por otro lado, están los códices de Madrid I y II, escritos entre los años 1491 y 1505. Este documento, de unas setecientas páginas, estuvo perdido durante 150 años y fue hallado finalmente en la Biblioteca Nacional de Madrid, en el invierno de 1964-1965, aunque su publicación no se hizo hasta el año 1974. El Códice Madrid I constituye un verdadero tratado de mecánica, de contenido profuso, específico, ordenado y homogéneo; en cambio, el Códice

Madrid II trata temas más relacionados con el arte y el diseño de fortificaciones, aunque en sus últimas páginas contiene información sobre el proyecto de fundición en una sola colada del monumento ecuestre a Francesco Sforza, cuyos detalles han convencido a algunos investigadores no solo de la viabilidad técnica del proyecto, sino del sorprendente grado de madurez que había alcanzado Leonardo para realizar esa enorme empresa, la más audaz de su naturaleza de la cual se tenga noticia. Por fortuna, el contenido de estos códices se puede consultar por internet en versión digital, sin limitaciones de acceso.

Para entender los estudios, invenciones y proyectos mecánicos de Leonardo, es necesario ponerlos en contexto. La tendencia más difundida es atribuirle a su ingenio tal capacidad de creación que es como si su obra estuviera por encima de cualquier consideración histórica. Sin embargo, tanto en el Códice Atlántico como en el de Madrid I figuran máquinas y mecanismos no del todo originales, las cuales estudia con atención, sin cesar de buscarles variantes y nuevos usos. Entre ellas están las máquinas simples, llamadas así porque sus componentes configuran arreglos de funcionalidad simple y específica; cambiar la dirección o magnitud de una fuerza, por ejemplo. En los manuscritos de Leonardo, Taddei (2010) identifica unas diecisiete máquinas de este tipo, todas ellas conocidas en el Renacimiento, algunas en la antigua Grecia o anteriores incluso: palanca, cuña, tornillo, plano inclinado, polea, leva, freno, biela-manivela, juntas, articulaciones, ejes, cadenas, engranajes dentados, cojinetes, engranajes tipo jaula, péndulos, muelles y volantes. Hay un segundo grupo de máquinas algo más complejas, en tanto que se componen de máquinas simples articuladas entre sí para formar unidades funcionales no necesariamente pensadas para producir un trabajo específico, como si Leonardo estuviera explorando combinaciones, rangos de movimiento, compatibilidad del conjunto maquinico. Y finalmente hay un grupo de máquinas realmente complejas, como el llamado “automóvil” o el “autómata-soldado”. De este tercer grupo hace parte el célebre león-mecánico, del cual Vasari, en su

libro *Vidas de los más excelentes pintores, escultores y arquitectos* (2004), se refiere en los siguientes términos: “cuando éste [Leonardo] se encontraba en Milán, el rey de Francia fue a la ciudad y le pidieron que hiciera alguna cosa curiosa; en consecuencia, hizo un león que caminaba y, luego de dar unos pocos pasos, se le abría el pecho y dejaba ver profusión de lirios” (p. 230).

Ciertos comentarios de la época mencionan supuestas reparaciones del león autómatas, incluida una última en Amboise en el año de 1518. Los expertos en robótica admiten la extrema dificultad que supone el poner en escena un robot mecánico de este tipo, principalmente por lo que se refiere a imitar el deambular de un animal cuadrúpedo. En el libro *Los robots de Leonardo* de Mario Taddei (2010), este autor muestra cómo, después de una cuidadosa labor de arqueología documental, él y sus colegas hallan indicios de este autómatas en el Códice de Madrid I, y logran construir uno como el mencionado por Vasari, para lo cual recurrieron a ocho máquinas simples: polea/garrucha, plano inclinado, palanca, engranaje tipo linterna, eje, muelle, cadenas y articulaciones. Taddei (2010) comenta: “No podemos saber cuánto se parece nuestro modelo al león de Leonardo: quizás era más complicado y evolucionado o quizás más sencillo pero escenográfico” (p. 133).

Una de las tareas de investigación que más ocupó a Leonardo fue la de las máquinas de vuelo. Entre sus primeros dibujos sobre este problema se encuentran los del folio C. A. 1051v, elaborado alrededor del año 1482, momento en que se traslada a Milán. Muestra una libélula y otro insecto de dos alas, parecido a una chapola; es interesante ver allí ciertos trazos que sugieren mecanismos acoplados a unas alas, los cuales han sido interpretados como parte de un aparato para un montaje teatral. Entre los dibujos escribe: “Para ver el volar con cuatro alas, ve a los arroyos y verás las libélulas negras” (Laurenza, Taddei y Zanon, 2002, p. 31). Pero, luego de su llegada a Milán, Leonardo abandona parcialmente el estudio sistemático de los insectos y se dedica a explorar las capacidades físicas del hombre para elevarse en los aires, válido de su propia potencia

corporal; fruto de esos estudios son varios esquemas sobre alas artificiales y el muy nombrado tornillo aéreo. En el manuscrito C.A., 381, probablemente del año 1486, donde además aparece un esquema de paracaídas, escribe: “Por estos ejemplos, y las razones demostrativas presentadas, usted podrá entender que cuando un hombre tiene grandes alas pegadas a su cuerpo, si ejerce su fuerza contra la resistencia del aire, podrá subyugarlo y elevarse en él”. Se estima que más tarde, en el año 1505, mientras residía en Florencia, Leonardo escribe y compila un manuscrito con marcada unidad de contenido temático —cosa poco habitual en él—, conocido como el *Código sobre el vuelo de las aves*. El código constituye un testimonio científico único por su naturaleza y belleza, y una investigación de características excepcionales por la capacidad de concentración, el cuidado en las observaciones, la madurez experimental y el talento natural que se requieren para llevar a cabo semejante trabajo. Las últimas palabras del código, en el folio 18, dicen en tono de profecía: “Desde el Monte Ceceri [este nombre significa Gran pájaro] el famoso pájaro se elevará en vuelo, por lo cual llenará el mundo con su gran fama”. El sueño de la máquina voladora autopropulsada por el hombre lo acompañará hasta su muerte, aunque al final prefiriera trabajar en planeadores.

La dedicación de Leonardo al estudio de las máquinas no es marginal ni convencional. Su estilo de trabajo se distingue del de sus contemporáneos en un aspecto muy específico: le interesan los detalles, los objetos parciales, la potencialidad de los acoplamientos, la compatibilidad de los arreglos maquínicos, los límites de funcionalidad, la forma como asimilan y distribuyen la energía y la potencia. Estudiando su obra, uno se siente tentado a considerar sus estudios sobre la anatomía humana o animal como si en realidad él viera máquinas en los sistemas biológicos. No obstante, en su excelente estudio *La ciencia de Leonardo*, Fritjof Capra (2011) comenta a este respecto: “Reconoció con toda claridad, y lo documentó con magníficas realizaciones, que la anatomía de los animales y de los seres humanos implican funciones mecánicas...

Pero para él eso no implicaba que los organismos vivos fueran máquinas” (p. 35). Este argumento no es exclusivo de Capra, sino que es compartido por otros expertos, lo cual no es de extrañar, ya que puede tener relación con una idea imprecisa del concepto de máquina, aún muy arraigada. Capra, que es físico, recurre a las notas de Leonardo sobre el alma y el espíritu para sustentar sus argumentos, pero —por lo menos en el libro mencionado— no se detiene a pensar en el asunto por alguna razón. Confesemos que tampoco este es el lugar para detenernos en este tipo de disquisiciones, y solo con el propósito de llamar la atención sobre el problema, digamos que varios de los textos de Leonardo ponen justamente en entredicho la apreciación de Capra. Léanse, por ejemplo, las siguientes líneas del Manuscrito B del Instituto de Francia, donde la cinemática, la dinámica y hasta la termodinámica entran en liza (*The notebooks of Leonardo da Vinci*, 1939): “donde no hay ni nervios ni huesos no puede haber una fuerza ejercida, en movimiento alguno, por espíritus imaginarios [...]. Defino la fuerza como una potencia espiritual, incorporeal e invisible, cuya breve vida en esos cuerpos produce una violencia accidental, que los conduce a su natural estado y condición” (pp. 68, 70).

Estamos de acuerdo con Capra en que, para Leonardo, la mecánica no explica los organismos vivos. Explicar la naturaleza de los seres vivos solo a partir de una funcionalidad mecánica, sin potencia (esto es sin fuerzas, sin flujos de energía), sería condenar la biología a los dominios de la pura causalidad —como vimos en la cita mencionada más arriba, correspondiente a Tr., 75—. Lo sorprendente es que Leonardo parece estar en estos temas más cerca que muchos de nosotros de las recientes investigaciones sobre la teoría termodinámica de sistemas abiertos, las cuales muestran la súbita emergencia de ciertas propiedades en el sistema —ausentes en las partes del mismo—, que desaparecen cuando este se descompone (como ocurriría con el alma o el espíritu dada la muerte). Dicho en otras palabras, el alma y el espíritu corresponderían a propiedades emergentes de las máquinas biológicas y humanas.

El mundo en tanto que complejo maquínico ha sido bellamente expresado en las páginas del *Antiedipo* por Deleuze y Guattari. Allí se definen las máquinas, en sentido genérico, como una combinación de elementos articulados, cada uno con una funcionalidad específica para “transmitir un movimiento y producir un trabajo”. La máquina como unidad de producción, como sistema termodinámico cuyas partes se disponen para intervenir flujos, crear cortes y efectuar transformaciones de energía. Un carro sí, y una pistola; pero también un camaleón y una compañía de teatro; un árbol y un soneto. Pero esta manera de considerar los sistemas maquínicos no siempre es obvia. Puede sonar forzada incluso entre círculos técnicos donde todavía predomine la concepción de la máquina-mecánica; es decir, aquella estructura compuesta por elementos sólidos, cuyos movimientos y funcionalidad están regidos (aparentemente) solo por las leyes de Newton, las relaciones esfuerzo y deformación, la ley de variación de las propiedades en medios continuos, etc. Vistas así las cosas, se nos escapa el rasgo más característico y esencial de la máquina, un rasgo ciertamente cósmico, pero también económico, social y humano: que la máquina es ante todo una unidad de producción. Y para superar este enfoque, y volver a Leonardo, tal vez haya que recurrir, como en el caso de estos autores, no solo a los científicos e ingenieros, sino también a etnólogos, antropólogos, economistas, psicólogos, filósofos, artistas, ¡qué extraño!

### **Ingeniería en manos de un artista**

Hay quienes aseveran que Leonardo era fundamentalmente un artista, y en eso estamos de acuerdo. Esto es tan cierto como decir que fue un ingeniero notable e innovador. Los ingenieros nos sentimos honrados porque su opus técnico merece ser elevado, con sobradas razones, a la categoría de arte. Ingeniero en el sentido pleno de la palabra, da gusto ver cómo su espíritu se dispone a problematizar la naturaleza sin perder el asombro ni cesar de desarrollar del mundo sus potencias; devenir creativo que procede de la experimentación y de la práctica; menosprecio tranquilo, pero

firme, en relación con las respuestas fáciles, manidas o basadas en prejuicios. Mucha bondad, creación y belleza emanan de la obra de este hombre que se llamó a sí mismo “discípulo de la experiencia”.

Los Médici decidieron, a fines o comienzos del año 1481, poner en marcha un plan de alianzas estratégicas que asegurara su posición de poderío en Florencia y el resto de Italia. Mandaron a Boticelli y a otros pintores a Roma; a Verrocchio y algunos otros a Venecia, y a Leonardo al ducado de Milán. Esta ciudad, que triplicaba en habitantes a Florencia, estaba gobernada por los Sforza, una familia que se había tomado por la fuerza el gobierno de la ciudad lombarda. Los autoproclamados duques gastaban el dinero a manos llenas no solo en festejos y espectáculos, sino que además contrataban a ingenieros y arquitectos que se ocupaban en las construcciones y la seguridad de los territorios bajo su control. Leonardo llegó allí a la edad de casi 30 años, en calidad de embajador artístico. En el Códice Atlántico aparece un listado de los bienes que habría transportado en el viaje, donde figuran, entre numerosos dibujos y pinturas, unos cuantos “diseños de hornos, [...], ingenios para barcos, [...], ingenios para el agua, [...]”. A los pocos días de haberse instalado en la ciudad, hizo llegar a Ludovico Sforza, Duque de Milán, una carta donde enumeraba en diez puntos sus habilidades y conocimientos, nueve de los cuales mencionaban explícitamente su idoneidad técnica en temas relacionados con la guerra. Los investigadores coinciden en plantear que la composición de la carta obedece más al deseo e imaginación del artista que a la realidad, pues hasta el momento no se sabe que hubiera participado en ninguna campaña militar. Por cuarenta años Italia, no del todo exenta de tensiones entre los distintos centros de poder, gozó de una cierta paz, razón por la cual Leonardo tuvo que aplazar su encuentro con la guerra y la muerte hasta el año 1502, cuando entró al servicio de César Borgia, uno de los hombres más crueles de la época. Nuestra fantasía tiende a negar un interés real de Leonardo por la guerra, y resulta difícil pensarlo a las órdenes de hombres como los Sforza o los Borgia, pero hay aquí, además, un problema de perspectiva,

que reclama un análisis distinto de los seres humanos, como el que usara Nietzsche (1982) para referirse a las circunstancias históricas del Renacimiento:

Se malentendiendo de modo radical al animal de presa y al hombre de presa (por ejemplo, César Borgia), se malentendiendo la “naturaleza” mientras se continúa buscando una “morbosidad” en el fondo de esos monstruos y plantas tropicales, los más sanos de todos, o hasta un “infierno” congénito en ellos: cosa que han hecho hasta ahora casi todos los moralistas (af. 197).

¿Por el contrario, cree cualquiera de nosotros, en su sano saber y entender, que una obra magna como *La última cena* pudiera ser concebida y realizada sin esa aproximación del artista al lado más oscuro de la humanidad? Leonardo no era hombre asustadizo, es muy probable que su curiosidad lo llevara a compartir la mesa con esos monstruos, de la misma manera como asistía al mercado y a los suburbios con su libreta de notas, en busca de rostros deformes y grotescos. Quizás por las mismas razones, a pesar de haber estado tan cerca a estos seres, no sufrió directamente su violencia. ¿Una prueba más de su inteligencia, sensibilidad y sabiduría? La respuesta a esta pregunta desborda los propósitos de este breve artículo, así que remito a otra frase de Nietzsche (1982) que bien podría ser el punto de partida para quien desee meditar en este interrogante:

Quien en el trato con los hombres no aparezca revestido, según las ocasiones, con todos los cambiantes colores de la necesidad, quien no se ponga verde y gris de náusea, de fastidio, de compasión, de melancolía, de aislamiento, ese no es ciertamente un hombre de gusto superior; mas suponiendo que no cargue voluntariamente con todo ese peso y desplacer, que lo esquive constantemente y, como hemos dicho, permanezca escondido, silencioso y orgulloso, en su castillo, entonces una cosa sería cierta: no está hecho, no está predestinado para el conocimiento (af. 26).

Después de unos pocos meses de trabajar para César Borgia, durante los cuales diseñó puentes, fortificaciones, canales y máquinas de guerra, se apartó de él. En

ese breve tiempo había perdido a su amigo Vitellozzo Vitelli, quien murió estrangulado, y pudo ver en el ser humano un verdadero “pozo lleno de maldad”. De esta época de ajetreos militares se conserva un mapa sorprendente de la ciudad de Imola, situada al este de la ciudad de Bolonia. El mapa que parece haber sido creado para realizar trabajo de campo, centrado en la ciudad, representa con lujo de detalles las características geográficas del lugar, a vista de pájaro, en un formato inusualmente grande, de unos sesenta centímetros de ancho. En él se definen la ubicación y tamaño de cada elemento del territorio, los canales, las calles y las casas, la orientación norte-sur. Algunas de estas innovaciones cartográficas pasaron prácticamente inadvertidas entre los contemporáneos del maestro; y, en cambio, nos recuerda los actuales sistemas de información geográfica, los drones y satélites, solo que aquí la vista desde el cénit es producto directo de unas manos y un cerebro humanos.

El punto diez planteado por Leonardo en la carta de presentación a Ludovico, dice así: “En tiempos de paz, creo poder satisfacer tanto como cualquier otro en la arquitectura, en la construcción de edificios públicos o privados, y en la conducción del agua de un sitio a otro”, desafortunadamente no quedan muchas pruebas de qué tanto había trabajado en estos temas. Lo cierto es que un grupo importante de sus apuntes pudiera ser denominado: “temas constructivos y resistencia de materiales”. En la edición de los *Cuadernos de notas* de Richter, este investigador reúne parte de esas anotaciones y dibujos bajo el título genérico *Escritos teóricos sobre arquitectura*, que tratan, en realidad, sobre los tipos de fisuras en paredes y nichos, la naturaleza del arco, las cimentaciones y la resistencia de las vigas. Como es usual, Leonardo combina su poderosa capacidad de innovación, observación y entendimiento con el método experimental y la aplicación de analogías. Y sustenta sus análisis mediante el uso del lenguaje gráfico-escritural, el cual le permite plantear una interesante variedad de estructuras y sistemas de carga, sin recurrir al álgebra o a las demostraciones abstractas basadas en la geo-

metría, como haría Galileo un siglo después en sus *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. El profesor ucraniano Stephen Timoshenko, considerado uno de los principales artífices de la ingeniería mecánica del siglo xx, en una breve nota de su libro sobre la historia de la resistencia de materiales, reconoce que en sus escritos Leonardo insinúa ya los modernos principios de equilibrio estático, los análisis de momento y desplazamientos virtuales, y el estudio experimental de la resistencia de los materiales. Reiteramos —como para que no haya duda al respecto— que ni Leonardo recibió educación formal en estas materias ni sus conocimientos son de naturaleza infusa. Participó tanto como pudo en la realización de proyectos constructivos, disfrutó de la amistad de reconocidos ingenieros y arquitectos de la época, y exploró él mismo, con espíritu insaciable, estas materias. Para poner un ejemplo de las audacias que se permite formular Leonardo, remontémonos al año 1502, cuando el artista-ingeniero andaba con César Borgia por la provincia de Bolonia. Se dice que por esos días el sultán Bayezid II de Constantinopla anunció un concurso para diseñar un puente sobre el Cuerno de Oro, que serviría para conectar Turquía con Europa. Leonardo, quizás inspirado en el puente de Alidosi que se intentaba construir en Castel del Río, cerca de la ciudad de Imola, concibió para el efecto un puente en arco que tendría una luz de unos 280 metros (L., 66a), es decir, ¡tres veces más largo que su modelo referente! Tengamos en cuenta que apenas a fines del siglo xix se logró superar en el mundo esta longitud con el puente Upper Steel Arch, construido en acero, el cual colapsó en 1937. El proyecto del Cuerno de Oro tenía mucho de interesante y parece que lo sigue teniendo, pues un grupo de investigadores del MIT, en los Estados Unidos, dice estar tratando de probar la viabilidad de la obra, basado en los escasos documentos que se conservan de Leonardo sobre el particular (Chandler, 2019). Estas son las características del puente: doble arco aplanado que otorgaría tanto estabilidad vertical como lateral a la estructura, construido en mampostería, sin apoyos intermedios y creando suficiente espacio para que pudieran cruzar por debajo de él veleros pequeños con el mástil erguido.

Pero si Leonardo en su primera estancia en Milán, entre los años 1482 y 1499, no pudo desempeñarse en labores de ingeniería militar, tampoco pudo desarrollar sus ambiciosos proyectos de arquitectura ni de construcción, aunque participó en varias comisiones para la intervención de edificios públicos en Lombardía, entre los cuales se encuentran la Catedral de Pavía y la Catedral de Milán. En cambio, sus ocupaciones como pintor fueron importantes: recibe el encargo de pintar la primera versión de *La Virgen de las rocas* (ca. 1483), pinta el *Retrato de un músico* (ca. 1485) y *La dama del armiño* (1493), da inicio a *La última cena* (1486) y trabaja en una serie de dibujos geométricos para el libro *La divina proporción* de Luca Pacioli. Además, emprende por fin, en el año 1489, el proyecto del monumento ecuestre en honor a Francisco Sforza, y organiza varios espectáculos públicos y representaciones teatrales —muy de su gusto personal— donde da sobradas muestras de su ingenio mecánico y artístico. Por otro lado, aunque pudiera hacerse una lista paralela de los proyectos de esta época que se quedaron en la etapa de diseño, vale la pena mencionar aquí el de la llamada “ciudad ideal”. Se llama ideal porque corresponde a un planteamiento urbanístico de carácter teórico y modélico (Alberti, Leonardo, Francesco di Giorgio), pero basado en argumentos realistas, puesto que la intención es que se vea plasmado en estructuras concretas y en territorios específicos. Algunos diseños y consideraciones de Leonardo sobre la “ciudad ideal” se pueden consultar en los Manuscritos B conservados por el Instituto de Francia (Richter, 1929, v. 2, pp. 27-28). Varios autores todavía se refieren a estos como si se tratara de un proyecto de transformación urbanística para la ciudad de Milán, la cual había afrontado, con numerosas pérdidas humanas, una fiebre bubónica entre los años 1484-1485. Pero por los detalles queda claro que Leonardo estaba más bien pensando en la construcción *ex novo* de una ciudad ubicada entre Milán y Vigevano, vecina al río Ticino, cercana a un sitio de residencia de los Sforza (Pedretti, 1977, p. 25). La “ciudad ideal” de Leonardo considera los siguientes aspectos: 1) la ciudad debe ser bella; y en esto coincide con varios urbanistas del renacimiento italiano. Un

texto algo confuso, quizás el borrador de una carta que debería ser enviada al duque de Milán (C.A., 65, ca. 1493), incluye el siguiente comentario: “y la ciudad obtendrá belleza digna de su nombre y para usted será útil por sus ingresos y la eterna fama de sus engrandecimientos”; 2) la ciudad es como un organismo vivo en el cual circulan fluidos y se generan residuos (por la misma época de Milán, el urbanista estudia la circulación de la sangre y otros fluidos del cuerpo humano). Propone entonces una ciudad en dos niveles: “En el nivel superior no deberían circular vehículos ni objetos similares, pues sería para uso exclusivo de los caballeros [*li giēteli omini* en italiano según la lectura de Richter, quien traduce al inglés como *gentlemen*]; las carretas y cargas requeridas para comodidad del pueblo [*popolo*] deben movilizarse por el piso inferior” (B, 16); esto es además, al parecer, una ciudad fundada en dos estratos sociales. Y añade detalles constructivos al diseño como: “y cada calle debe tener por lo menos 20 *braccia* (~14 m) de ancho y una pendiente de ½ *braccia* (~35 cm) desde los lados hasta el centro, donde, a intervalos regulares de 1 *braccio* (~70 cm), se situará una abertura de un *braccio* de largo y un dedo de ancho, por la que el agua de lluvia puede escurrirse” (B, 16); 3) Leonardo prefiere los asentamientos urbanos pequeños a las grandes aglomeraciones: “diez ciudades, cinco mil casas con treinta mil habitantes, y usted dispersa esta gran multitud de personas que, como cabras, una tras la otra, lo infestan todo de fetidez y de muerte” (C. A., 64b); 4) acerca de la disposición de los residuos urbanos, hace una propuesta que no se vería tan dañina en esa época, con una población humana de apenas el 6% de la actual: “Deja que una tal ciudad sea construida cerca del mar o de un gran río, de manera que la basura sea arrastrada por el agua” (B, 16), y 5) sugiere que las construcciones tengan escala humana, lo cual le otorga al paisaje urbano un toque de calidez y proporcionalidad: “Deja que el ancho de las calles sea igual al promedio de la altura de las casas” (B, 36). Así pues, aquellos que estén interesados en los estudios de Leonardo sobre ingeniería civil, arquitectura y urbanismo, cuentan con abundante material, en buena medida conservado en los manuscritos A, B, C, G, H,

K del Instituto de Francia, en el Museo Británico, en la Biblioteca Real de Windsor, en la Biblioteca Forster del Museo Kensington Sur y en el Códice Atlántico de la Biblioteca Ambrosiana de Milán.

La ciudad ideal se quedó en el papel, pero Leonardo trabajó con diligencia en la red de canales de Milán, que surtía de agua y permitía movilizar mercancías por vía fluvial. Se ocupó de atender problemas concretos relacionados con la protección y mantenimiento de la infraestructura existente, obras para la regulación de caudales y para la disipación de energía, diseño y perfeccionamiento de embarcaciones, así como de máquinas hidráulicas para el bombeo y el aprovechamiento de la energía. Unos años después, al servicio de César Borgia, atendería también varios frentes de obra en calidad de “arquitecto e ingeniero general”, y sería el encargado de diseñar castillos y fortalezas, puertos, diques, canales y puentes.

Pero estos oficios no fueron suficientes para su espíritu inventivo, de modo que dedicó algún tiempo a concebir grandiosos proyectos. En Milán, estudió la posibilidad de conectar la ciudad con el lago Como, a través del río Adda, efluente del lago, el cual, sin embargo, presentaba un fuerte estrechamiento en la llamada Garganta de los Tres Cuernos, que impedía el paso de los planchones, por lo cual Leonardo consideró la posibilidad de construir un embalse, un túnel, esclusas y canales que salvaran las dificultades propias del terreno; incluso, después de que los franceses se tomaran Milán en 1499, Leonardo le presentó esta propuesta al rey Luis XII, en la cual le planteaba cómo, con un proyecto así, se podrían desarrollar distritos productivos de riego en los terrenos aledaños al río Adda. Otro de sus grandes sueños fue el de conectar a Florencia con el mar, una idea que empezó a desarrollar tal vez cuando residía en la región lombarda, bajo las órdenes de Ludovico Sforza. El proyecto consistía en construir un canal para desviar las aguas del río Arno hacia las poblaciones de Prato y Pastoia, y reconectar luego con el cauce natural aguas arriba de Pisa. Leonardo dio a conocer la propuesta original a Maquiavelo, quizás haciendo énfasis en las

posibilidades de riego y de la ubicación de molinos a lo largo del canal, pero Maquiavelo, hombre diestro en política, le sugirió a su amigo que, para lograr pronto apoyo, mostrara a los florentinos la posibilidad de llegar al mar por vía fluvial sin pasar por Pisa y, a la vez, evitar que los vecinos de esa ciudad rival accedieran por río a la costa toscana. De estos planes solo se conservan los interesantes manuscritos y mapas a vista de pájaro, pero estos documentos rebosan de detalles que son, aún hoy, materia de estudio e investigación (Barbèra, 1983; Levi, 1989; Macagno, 1987). Es como si Leonardo, a través de los tiempos, repitiera: “Al ordenar la ciencia del movimiento del agua, no se debe olvidar el incluir en cada tema su aplicación práctica, con el fin de que estas ciencias no resulten inútiles” (F, 2b).

Enzo Macagno (1987), reconocido estudioso de los trabajos de Leonardo en hidráulica y mecánica de fluidos, plantea una tesis muy interesante: “Las publicaciones acerca de Leonardo como artista, científico, ingeniero hidráulico y ‘fluido-mecánico’, parecen disminuir exponencialmente en ese orden. Esto es asombroso, porque es realmente en el área de la mecánica de fluidos donde él escribió profusamente y alcanzó los picos más altos de originalidad” (p. 33). No se trata de una simple opinión, pues su comentario parte de un análisis sistemático del opus vinciano, principalmente de los códices de Madrid y Atlántico. Y es que, aun si no quisiéramos tomar parte en una potencial polémica, hay que reconocer que el agua y el aire están casi siempre presentes en los cuadros del maestro, con quizás algunas excepciones. Decimos “quizás” porque, aun en cuadros como *La dama del armiño* o la *Madona Benois*, está por verse si el pintor no nos diría: “La superficie de los cuerpos opacos tiene toda su imagen inmersa en el aire iluminado que lo rodea desde los cuatro costados”. El punto es que no siempre los *Cuadernos de notas* hacen referencia a problemas aplicados de la mecánica de los fluidos y, por el contrario, en reiteradas ocasiones las observaciones y experimentos se centran en aspectos relacionados con las propiedades de líquidos y gases, presión, energía, ímpetu, conservación de la masa, fuerzas, flujos, chorros y trayectorias; por supuesto,

todo esto podría servir de insumo a la hora de pensar un surtidor, un dique, un rompeolas, etc.

No siendo, pues, su interés por los fluidos un tema específico de la ingeniería, y considerando que este breve artículo es más una transcripción de una conferencia abierta al público, invitamos al lector interesado para que consulte por su cuenta estas materias. Le anticipamos que encontrará bellezas. A manera de ejemplo, permítasenos una referencia corta acerca de los vórtices y las turbulencias. Resulta que Leonardo veía vórtices por doquier, no solamente en las corrientes de agua, sino en las plantas, en las nubes, en las rocas, en las cabelleras de hombres, mujeres y ángeles; incluso es espiral la disposición de los personajes que componen el primer plano en la *Adoración de los magos*. Trayectorias espirales que remiten al maravilloso mundo real, de las formas y colores, en contraposición a los acartonados y aburridos círculos ideales de Platón, que además habría que ir a buscar a otros mundos, ideados. Leonardo no pinta simplemente figuritas, está pensando la naturaleza; no se la inventa, está haciendo ciencia; en sus pinturas recrea el mundo físico. Aquel que insista en decir que Leonardo era platónico o neoplatónico, es mejor que reconsidere su punto de vista. Platón no estaría interesado en observar ni en experimentar; solo habla de círculos y sólidos perfectos. Un dibujo de Leonardo, elaborado entre 1510-1513, que se conserva en la Biblioteca Real de Windsor, muestra una faceta suya un tanto personal. Imaginémosnos a Leonardo frente a su libreta. Primero traza unas figuras a la derecha de la hoja. Observa el agua, un obstáculo sumergido en el agua; la corriente rodea la paleta y se forman dos trenzas laterales más una tercera que emerge del borde sumergido. Está dibujando. “¿Qué dibujas Leonardo? Dibuja vórtices”. Permanece extasiado, en silencio, y escribe luego: “Nota el movimiento del vellón de agua, el cual se parece a los cabellos que poseen dos movimientos: uno responde al peso del vellón, el otro al lineamiento de los bucles; así el agua tiene sus giros vorticosos, de los cuales una parte responde al ímpetu del curso principal, la otra al movimiento incidente y reflejado”. Finalmente, el artista dibuja a la

izquierda la figura de un anciano contemplativo. “¿Eres tú, Leonardo?”. Leonardo estudia, se sorprende, piensa y crea. Lo natural es para él primero.

### Da Vinci debería estar vivo

Con este eslogan la Dirección de Bienestar Universitario de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, invitó a conmemorar la obra de Leonardo da Vinci, muerto el 2 de mayo de 1519, hace poco más de quinientos años. Nos preguntamos, pues: ¿Por qué debería estar vivo? ¿En qué sentido debería estar entre nosotros? Decir que admiramos su entereza, su capacidad de asombro y de trabajo, su inusual atención y concentración, su sensibilidad y sus talentos, su confianza en sí mismo, nos ayudaría, es verdad, a ponernos en un plano común ante su obra. Pero ¿no podemos decir cosas parecidas de otras personas similarmente diligentes, sensibles y dotadas? ¿Qué hubo de singular en su existencia que nos lleva a pensar en él a cinco siglos de su fallecimiento? En primer lugar, puesto que Leonardo estaba convencido de la compleja realidad del mundo, no temió desafiar las creencias de su tiempo y se esforzó por pensar distinto; esto es, distinto de las mayorías y de las minorías, de los curas y de los

políticos, de los poderosos y de los humildes, de los eruditos y los enajenados, de los sabios y los necios. En segundo lugar, su pensamiento era mucho menos estructurado que el nuestro; más caótico, menos lineal y enfocado, lo cual le otorgaba una gran plasticidad y posibilidades creativas. Tercero, no se quedó atrapado en la ciencia, ni en la ingeniería, menos aún en la pintura; fue un experto en cambiar de oficios y de patronos. Cuarto, nunca dejó de vivir como un artista, de jugar, de celebrar el mundo, de rodearse de belleza. Quinto, el suyo era un espíritu libre, como diría Nietzsche en *Más allá del bien y del mal*, y gozó de los atributos que, como tal, a estos seres les corresponde.

### Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a la Dirección de Bienestar Universitario y a la *Revista de Extensión Cultural* de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por su apoyo a este trabajo.

Nota: la siguiente tabla detalla algunos de los manuscritos referenciados dentro de los libros de J. P. Richter (1929) y C. Pedretti (1977) que aparecen en el presente texto. También pueden encontrarse en Internet.

**Tabla 3.1** Manuscritos referenciados

Marca en el manuscrito	Manuscrito	Lugar	Fecha estimada
A, B, C, F, G, H, I, K, L, M	A, B, C, F, G, H, I, K, L, M	Instituto de Francia, París	1490-1515
Ash.	Códice Ashburnham	Instituto de Francia, París	1486-1492
C. A.	Códice Atlántico	Biblioteca Ambrosiana, Milán	1478-1518
C. M. I	Códices de Madrid I	Biblioteca Nacional de España, Madrid	1493-1499
C. M. II	Códices de Madrid II	Biblioteca Nacional de España, Madrid	1493-1505
S. K. M. III	Cuaderno de notas, III	Biblioteca Forster, Museo Kensington Sur, Londres	1493
Tr.	Códice Trivulziano	Palacio de Trivulzio, Milán	1497-1516
V. A.	Códice sobre el vuelo de las aves	Biblioteca Real de Turín, Turín	1505
W	Hojas de varios tamaños	Biblioteca Real, Windsor	1490-1516
W. An. I	De anatomía	Biblioteca Real, Windsor	1489
W. An. IV	De anatomía	Biblioteca Real, Windsor	1515

## Referencias

- Barbèra, G. (Ed.) (1983). *Leonardo e le vie d'acqua* [sin editorial].
- Capra, F. (2011). *La ciencia de Leonardo*. Anagrama.
- Chandler, D. (2019). *Engineers put Leonardo da Vinci's bridge-design to the test*. MIT News Office.
- Deleuze G. y Guattari, F. (1985). *El Antiedipo*. Paidós.
- Isaacson, W. (2018). *Leonardo da Vinci, la biografía*. Debate.
- Kuhn, T. (2000). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Laurenza, D., Taddei, M. y Zanon, E. (2002). *Las máquinas de Leonardo*. Susaeta Ediciones.
- Levi, E. (1989). *El agua según la ciencia*. Ediciones Castell.
- Macagno, E. (1987). Leonardo da Vinci: Engineer and scientist. En G. Garbrecht (Ed.), *Hydraulics and hydraulic research. A historical review* (págs. 33-54). Balkema Publishers.
- Naranjo, J. A. (1987). La estética de Leonardo. En *Estudios de Filosofía del Arte* (págs. 59-124). Secretaría de Educación y Cultura.
- Nietzsche, F. (1982). *Más allá del bien y del mal*. Alianza Editorial.
- Pedretti, C. (1977). *The literary works of Leonardo da Vinci compiled and edited from the original manuscripts by Jean Paul Richter* (vol. 2). BD Berkeley.
- Richter, J. P. (1929). *Leonardo da Vinci*. Bridgman Publishers.
- Taddei, M. (2010). *Los robots de Leonardo da Vinci*. Susaeta Ediciones.
- The notebooks of Leonardo da Vinci* (1939). Reynal.
- Timoshenko, S. (1953). *History of strength of materials*. McGrawHill. 1953.
- Vasari, G. (2004). *Vidas de los más excelentes pintores, escultores y arquitectos*. W. M. Jackson.
- Vezzosi, A. (2011). *Leonardo da Vinci. Arte y ciencia del Universo*. Blume.