



Con el paso de los años y la difusión de sus obras, aunque relativamente pocas, se iniciaron las leyendas. Muchas de sus reflexiones y observaciones permanecieron en el secreto debido a su forma de escribir y por la dispersión que sufrieron tras su muerte, ocurrida días después de cumplir 67 años, en Amboise, Francia. Fue el 2 de mayo de 1519; quinientos años más tarde le hacemos homenaje.

Sus pinturas más famosas, entre ellas *La Última Cena*, *Mona Lisa* y *Santa Ana, la Virgen y el niño* son una muestra de su inusual habilidad para las luces, las expresiones y el claroscuro, amén de su búsqueda incansable de nuevos pigmentos y matices para enriquecerlas.

Sus dibujos, como el Hombre de Vitruvio, amalgama de arte y geometría, inspirados en el arquitecto romano de igual nombre y del primer siglo de esta era, y múltiples estudios al carbón o con sanguina, son muestras de su profundo conocimiento de las formas, la anatomía y las sombras.

Una parte de la historia de esos “libros”, de quienes los dispersaron y aquellos que buscaron reunirlos, está descrita en la obra de Levi; sólo se conservan 19 y se sabe que al menos escribió 46 de ellos —uno de los conocidos lleva ese número. La febril actividad intelectual, incoherente por lo dispersa y breve, y la falta de sistematización hicieron de los cuadernos de Leonardo una tarea de poco interés hasta el siglo pasado.

Parte de la responsabilidad recae, sin duda, en el mismo Leonardo, quien siendo zurdo escribió casi todo de derecha a izquierda, lo que hace necesario usar un espejo para su lectura; escribía en italiano, directamente “al revés”, lo que no era particularmente extraño en la época. Salvo por el Códice Leicester-Hammer, los demás están llenos de temas diversos, inconexos, a veces oscuros, y reflejan más la diversidad

de áreas que atrajeron su atención, las percepciones y conclusiones de lo aprendido, y la excepcional capacidad para observar y captar la esencia de las cosas o los fenómenos.

El Códice Leicester-Hammer

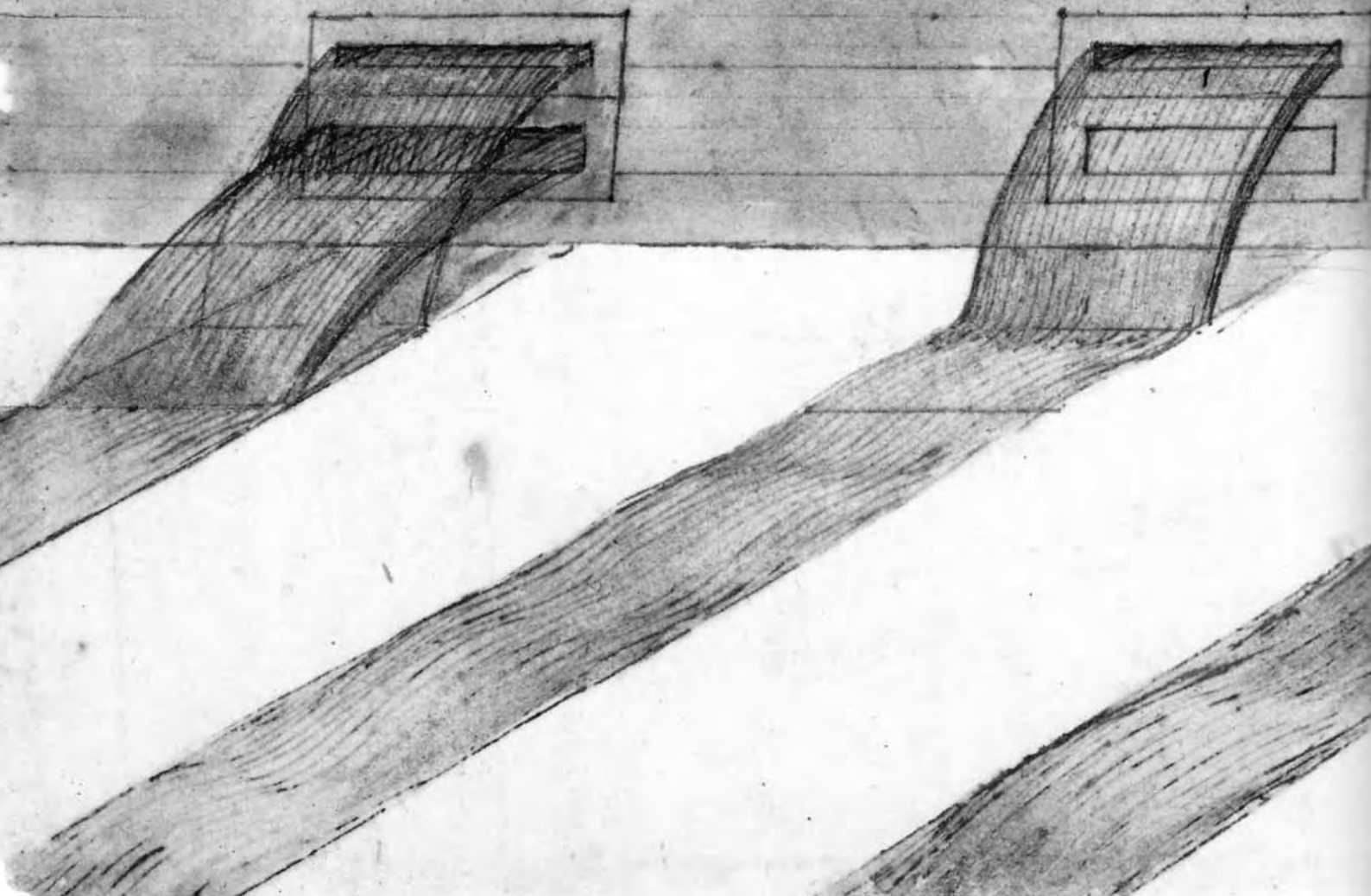
Escrito por Leonardo, muy probablemente, entre 1506 y 1513 en su ir y venir entre Florencia y Milán gracias al patrocinio del rey Luis XII de Francia, este códice contiene observaciones y especulaciones sobre astronomía, fósiles, montañas, la luz y el aire, pero principalmente el agua. Es la reflexión más completa y extensa de Leonardo, anticipando resultados, observaciones y conclusiones que tardarían siglos en ser redescubiertas, apreciadas o formuladas con precisión. En el mismo texto hace alusión repetida a su proyecto de reunir en un solo tratado todo lo que ha aprendido sobre las aguas. Códices como el Atlántico, el Arundel, y el de Madrid I también contienen consideraciones sobre el agua, pero son más escuetos y abruptos los cambios de temática, como lo eran sus intereses. El Leicester-Hammer es la excepción, consta de 18 pliegos, doblados por la mitad y llenos por los dos lados, formando 72 páginas, con textos y dibujos; cada página está numerada (no por Leonardo) en el lado recto (derecho). Ni la forma de “empastar” ni el orden para ir llenando las páginas hace fácil su lectura. Que sea el más sistemático de los códices conocidos no lo hace una obra consistente en temas y profundidad, pues interrumpe una descripción del cauce de los ríos para abordar la reflexión de la luz solar por la Luna o analizar las razones para descartar el Diluvio universal.

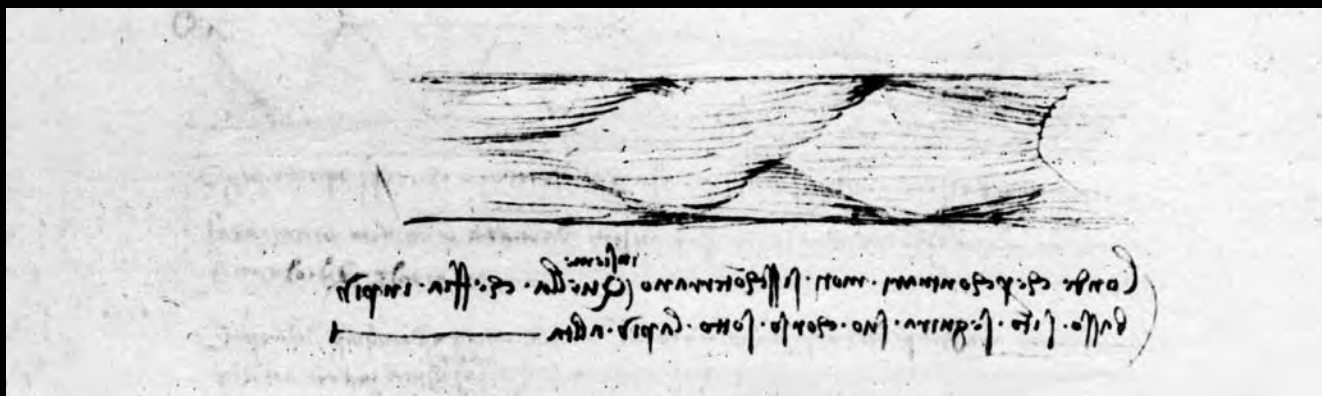
Al morir Leonardo, sus obras (libros, dibujos, pinturas e instrumentos) fueron conservadas por su discípulo y amigo

Ramón Peralta y Fabi

Da Vinci y los fluidos

18





Francesco Melzi, quien —con Giacomo Salai— lo acompañó de cerca sus últimos años; la casa señorial Clos Lucé, donde vivió sus últimos tres años —le fue regalada por el rey François I de Francia—, es ahora un hermoso museo público que exhibe recreaciones de casi todos sus inventos al tamaño en que los concibió, rodeado de cuidados jardines donde puede uno reponerse de la visita por las salas que muestran parte de la obra del “genio universal del Renacimiento”. Melzi resguardó todo en su villa, en Vaprio, y al morir, en 1568, su hijo Orazio heredó la obra leonardiana, iniciando la dispersión de los escritos. La ausencia de anotaciones de Melzi al calce del Leicester-Hammer hace pensar que tal vez no fue parte de la herencia o bien Orazio lo vendió entre 1570 y 1580 a Guglielmo della Porta, escultor y autor del sepulcro del papa Paulo III. En 1690, Giuseppe Ghezzi, pintor romano, reconoció el posible valor del material “hurgando en un viejo cofre que perteneció a della Porta” y trató de venderlo muchas veces. En 1717, el joven Thomas Coke, que se convertiría posteriormente en el primer conde de Leicester, adquirió el códice en una de sus estancias trimestrales en Roma, resguardándolo en el castillo de Holkham Hall en

Norfolk, Reino Unido, en donde permaneció hasta 1980. Ese año, en una subasta lo hace suyo el petrolero y coleccionista de arte Armand Hammer, quien pagó el equivalente actual a 15.5 millones de dólares y sufragó un proyecto que duró siete años para lograr regresar las páginas a su orden original y traducirlo al inglés, de lo cual se encargó el experto en la obra vinciana Carlo Pedretti. A la muerte del coleccionista, ya renombrado Hammer, fue subastado en 1994 por el equivalente a 52 millones de dólares, pagados por el magnate Bill Gates. Desde entonces el códice lleva el nombre de los dos dueños previos, ha recibido una amplia difusión y viajado por innumerables museos en todo el mundo. Desde la posesión de Hammer se hizo posible contar con copias facsimilares y su traducción, pero Gates lo volvió aún más accesible.

Anticipando la ciencia

En el auge renacentista, ese siglo de notable esplendor, sobresale Leonardo, destacándose en todas y cada una de las diversas actividades en las que estuvo interesado. En mu-





chos aspectos, anticipó a Francis Bacon (1561-1626) sobre la necesidad de recurrir a la observación y a los experimentos como elementos indispensables para generar conocimiento confiable y acceder a la comprensión del mundo circundante, al igual que a Galileo Galilei (1564-1642) e Isaac Newton (1642-1727), a quienes les atribuimos la aurora de la ciencia como hoy la entendemos.

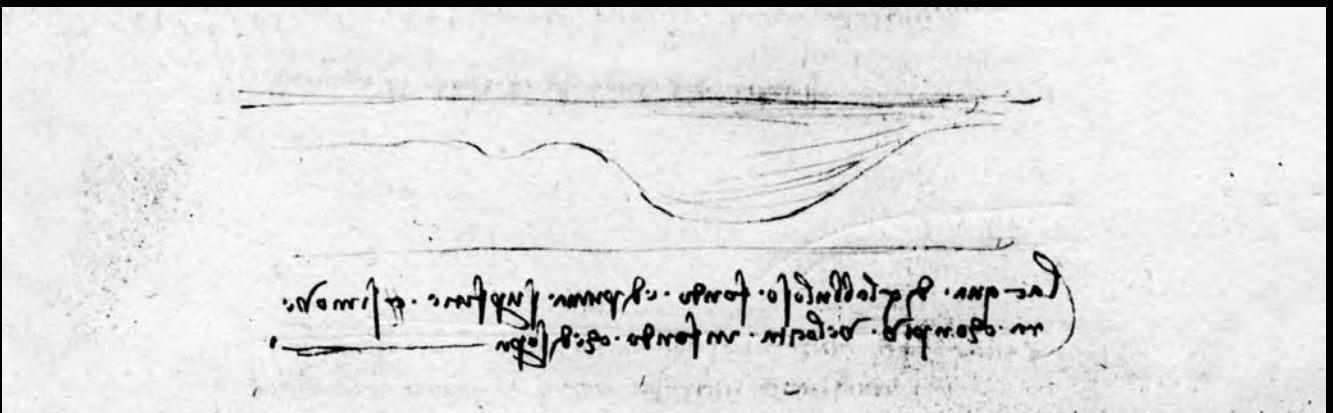
Como pocos de sus antecesores y contemporáneos, Leonardo subrayó en numerosas ocasiones la necesidad ineludible de la observación y el experimento. Así lo mostró en sus bellos, meticulosos y copiosos dibujos; una exquisita selección está en el Leicester-Hammer. Sus consideraciones se pueden leer en algunas de las notas que los acompañan: “huid de la opinión de los especuladores, pues sus argumentos no están sustentados en la experiencia [...] y a diferencia de ellos no puedo citar autoridades pero, más importante y digno, es argumentar con base en el experimento, maestro de sus maestros”. O bien al describir su forma de trabajo: “pero antes, llevaré a cabo algunos experimentos, ya que es mi premisa empezar así y entonces demostrar por qué los cuerpos se comportan de cierta manera. Éste es el

método que debe seguirse en la investigación de los fenómenos naturales”.

Cabe mencionar que Leonardo no sabía latín y se consideraba un hombre iletrado “sé bien que, por no ser yo letrado, a algún presuntuoso le parecerá razonable poderme censurar, alegando que soy hombre sin letras (*omo sanza lettere*) [...] Ahora, éstos no saben que mis argumentos se han de sacar, más que de palabra ajena, de la experiencia, que ha sido maestra de quien ha escrito bien; y así por maestra la tomo, y en aquella en todos casos alegaré”. Y no tiene prurito en “criticar” a autoridades, incluido Aristóteles, a quien refuta con base en sus observaciones, ya que éste parece haber hecho pocas.

Fluido, apellido de líquidos y gases

De la gran cantidad de observaciones y experimentos que llevó a cabo sobre el comportamiento de los fluidos, Leonardo obtuvo resultados cuantitativos y generalizaciones sorprendentes que no fueron apreciadas sino mucho después, algunas hasta el siglo XIX.





Encontró que el aire y el agua tienen un apellido común. Al comparar en forma sistemática los movimientos de masas de aire (vientos) y agua (estanques, ríos y mares), intuyó los elementos comunes de su comportamiento, citándolo en forma recurrente. Serían doscientos cincuenta años más tarde cuando Leonhard Euler (1707-1783), Johann Bernoulli (1667-1742) y su hijo Daniel (1700-1782) formularan la teoría de los fluidos, una de las primeras extensiones de la mecánica de Newton y la primera teoría de campos clásica.

Al observar el movimiento de las aguas en ductos, canales y ríos descubrió y formuló, en forma cuantitativa, uno de los principios fundamentales en la mecánica de los fluidos: el de continuidad o conservación de la masa. Si bien es cierto que al menos desde la época de Arquímedes se sabía que el agua que entra por el extremo de un tubo sale por el otro, apenas se sospechaba —aun entre los constructores romanos— la relación entre este hecho y la “descarga”, esto es, la cantidad de fluido que atraviesa cualquier sección de un tubo o de un canal o río por unidad de tiempo; por ejemplo, el número de litros por segundo que pasa por cualquier parte de un tubo cuyo interior sea de área variable será siempre el mismo.

En las palabras de Leonardo: “en cada parte de un río y en tiempos iguales, pasa la misma cantidad de agua, independientemente de su ancho, profundidad, tortuosidad y pendiente. Cada masa de agua con igual área superficial correrá tanto más rápido como poco profunda sea”, y anexa un dibujo preciso: “en A (aguas someras) el agua se mueve más rápido que en B (aguas más profundas), tanto más como la profundidad de A cabe en B”.

Este análisis básico y casi evidente que eludió a sus predecesores, puede considerarse como la primera formulación clara y cuantitativa de la ecuación de continuidad para el flujo estacionario (que no cambia con el tiempo) de un fluido incompresible (de densidad constante): en términos más apropiados, que no más comunes, dicho resultado establece que la velocidad es inversamente proporcional a la sección transversal. Equivalentemente, el producto de la velocidad y el área, en cada sección, es constante. La generalización de este resultado a la forma en que hoy se conoce tomó todavía 250 años más.

Otros estudios de Leonardo versaron sobre el vuelo, la generación y propagación de ondas, el movimiento de remolinos (vórtices) y el papel de éstos en los flujos complicados e irregulares que llamamos turbulentos. Estos estudios de carácter cualitativo o puramente descriptivo influyeron en forma directa e indirecta en el desarrollo de la hidráulica y la hidrodinámica, entendidas éstas como la parte práctica y teórica de la mecánica de fluidos, respectivamente. La percepción visual de Leonardo fue la herramienta clave de su obra artística y científica, la cual se aprecia en cada detalle de sus penetrantes y hermosas ilustraciones, y gracias a ella estableció una pauta en la búsqueda del conocimiento.

Si la observación y la experimentación son elementos indispensables para el conocimiento científico, entendidas la primera como el registro meticuloso y pasivo, y la ocurrencia intencional, repetitiva y controlada del fenómeno la segunda, el uso de un lenguaje adecuado y la generalización deductiva o inductiva las complementan y dan sentido.

Lewis Fry Richardson (1881-1953), uno de los pioneros de la meteorología moderna y miembro representativo de

la tradición científica inglesa, estudió la dinámica atmosférica y, desde luego, se enfrentó con la turbulencia, siempre presente en el monumental laboratorio de la atmósfera. En un poema sencillo, que todavía se cita en los textos, resumió lo que da Vinci plasmó en sus lienzos al observar el fluir de las aguas y lo que los científicos creen que sucede en un fluido excitado:

“Vórtices grandes tienen vórtices más chicos,
nutridos por su velocidad.
Vórtices chicos tienen vórtices más chicos,
y así hasta la viscosidad
(en el sentido molecular).”

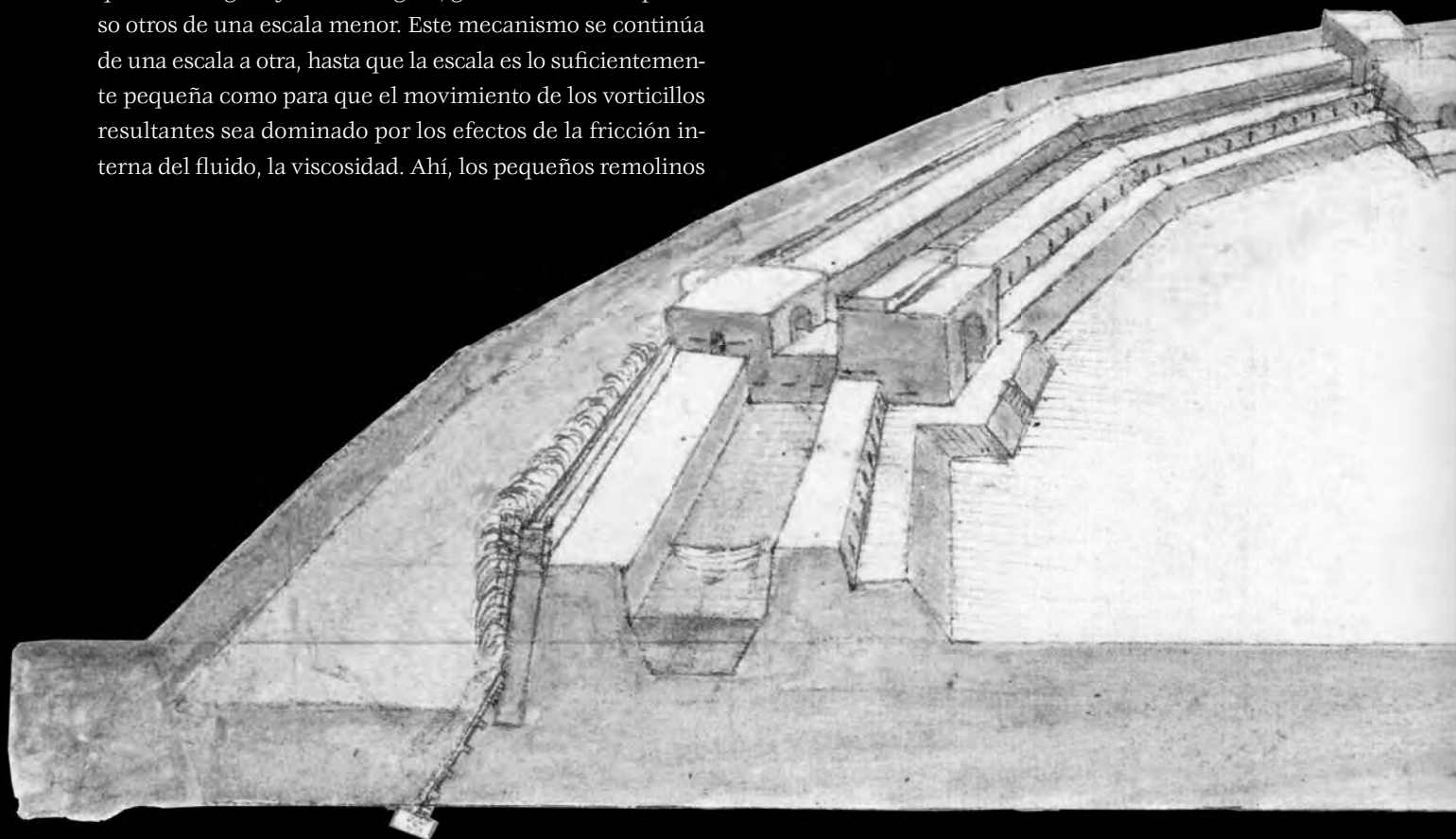
Aceptando el sentido del adagio latino de “traductor, ¡traidor!”, el contenido del verso expresa el proceso que parece describir la forma en que la energía que se le comunica a un fluido para mantenerlo en estado turbulento, agitado y aparentemente caótico, se propaga y lo excita, y es llamado modelo de la “cascada de energía”.

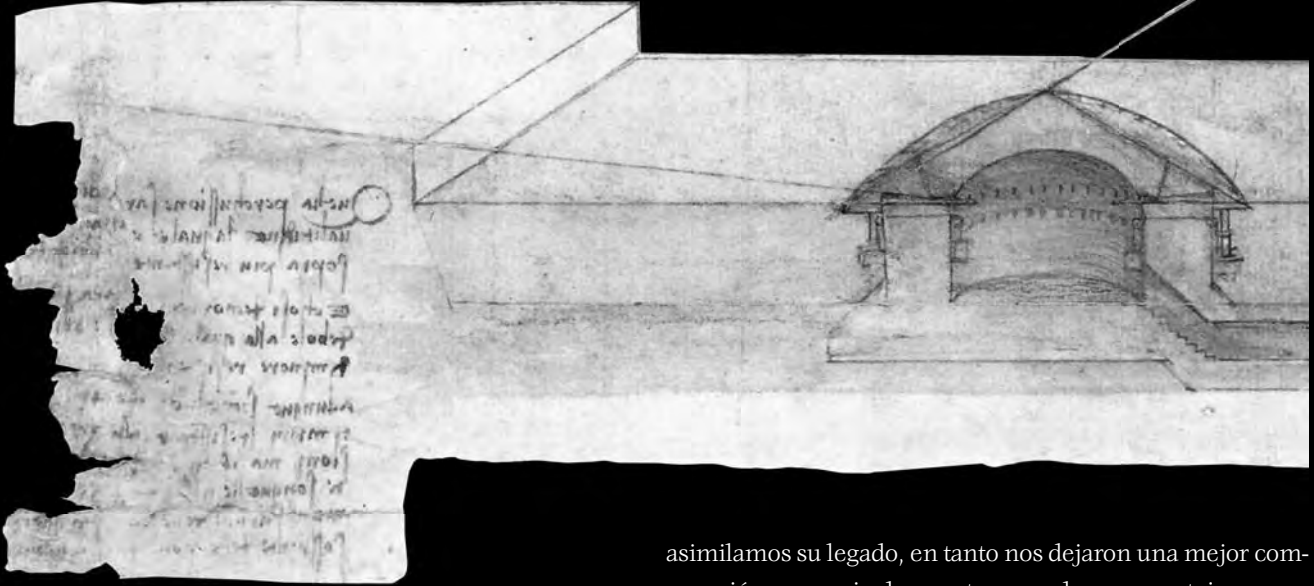
Imaginemos un tanque con agua, a la que agitamos con una paleta de cierto tamaño (escala mayor). Al mover la paleta se producen vórtices de la misma escala. Observamos que éstos migran y se desintegran, generándose en el proceso otros de una escala menor. Este mecanismo se continúa de una escala a otra, hasta que la escala es lo suficientemente pequeña como para que el movimiento de los vorticillos resultantes sea dominado por los efectos de la fricción interna del fluido, la viscosidad. Ahí, los pequeños remolinos

comienzan una etapa de decaimiento, disipándose hasta desaparecer; la longitud típica de esta última escala es de fracciones de milímetro y se le conoce como “escala de Kolmogorov”.

De acuerdo con estas ideas, la energía pasa de una escala a otra, como en una “cascada” en la que el agua cae de un nivel a otro, perdiendo altura, pero ganando movimiento. En el fondo de las escalas el movimiento se convierte en calor, disipándose la energía. En la medida en que se siga agitando la paleta (inyectando energía al fluido) se podrán apreciar las estructuras en las distintas escalas, la más pequeña será la más difícil de ver.

Leonardo dibujó estas secuencias de remolinos con sorprendente habilidad y precisión; llama la atención su capacidad para captar cosas que las miradas de los demás no apreciamos cabalmente. Y más aún, sugirió formas de hacer observaciones de flujos que sólo se empezaron a usar —amplia y fructíferamente— hasta el siglo XX. “Si quieres ver el movimiento que realiza el aire, penetrado por un móvil, toma como modelo capas profundas de agua que esté mezclada con panizo disperso, o con otra simiente diminuta que se sostenga en todo nivel. Luego mueve en su interior un móvil [...] y verás la revolución de dicha agua [...] dentro de un





vaso de vidrio". Nótese dos cosas. La primera es la equivalencia entre hacer experimentos en aire y en agua, viéndolos como fluidos, y, segundo, la idea de que puede apreciarse el movimiento sin perturbar el flujo de interés, suspendiendo partículas de flotación neutra. Estas nociones se fueron haciendo claras hasta los siglos XIX y XX.

Con menos de 400 años de antelación, sugirió la forma de diseñar válvulas cardiacas para subsanar deficiencias e ilustró con dibujos la manera de articular las cúspides —la más conocida es la tricúspide—, mostrando con experimentos de su hechura cómo el reflujó natural da lugar a que se cierren cuando la diástole y la sístole llenan o vacían cavidades. Fue hasta el último tercio del siglo pasado cuando alguien, recordando a Leonardo y sus experimentos, desarrolló las válvulas sintéticas.

Otra contribución notable, dispersa en sus escritos, es el reconocimiento del papel que la fricción desempeña en nuestra percepción del movimiento y en el comportamiento de objetos que se hallan en contacto unos con otros, tanto sólidos como fluidos. Esto es particularmente notable en el contexto de este ensayo, ya que lo que hoy llamamos la fricción interna de los fluidos, representada por la viscosidad, da pie al "arrastre", que es lo que explica por qué los objetos son arrastrados por una corriente, por qué se apaga un flujo turbulento que deja de agitarse, por qué las olas eventualmente se extinguen y por qué una embarcación, un vehículo terrestre o un avión, requieren invertir energía para mantener su movimiento, etcétera.

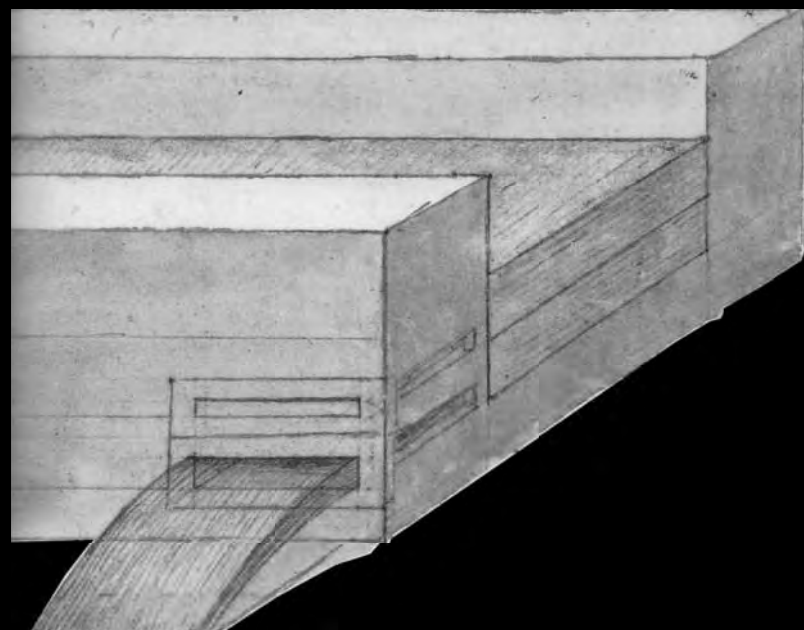
Reflexión

No cabe duda de que la genialidad de algunos de los que nos antecedieron genera un asombro especial, una cercanía particular cuando los ubicamos en su circunstancia y

asimilamos su legado, en tanto nos dejaron una mejor comprensión y aprecio de nuestro mundo y un ventajoso punto de partida a nuestro propio camino.


Los movimientos sociales no son ajenos a los personajes principales que ellos inspiraron, son parte de las fuentes que ayudan a entender sus orígenes y natural evolución. Si el Medioevo fue el crisol del Renacimiento, éste fue sin duda la fuente de inspiración del Siglo de las Luces, cuyo legado aún cultivamos y potenciamos con el desarrollo de la cultura, que incluye el humanismo, las artes y la ciencia.

La razón y la evidencia como ingredientes centrales de una estrategia para la construcción del conocimiento tiene sus semillas en esa brillante época del pensamiento humano, que llevó a que reflexiones y acuerdos locales se transformaran en los elementos universales que hoy reconocemos; la libertad de expresión, la promoción de la paz, la aceptación de la falibilidad del ser humano, la institucionalización de la ciencia y la educación, las normas de la democracia, de los mercados internacionales y los derechos humanos, son una parte especialmente relevante. Todas las ideas vienen de algún lado, de alguien que las formuló con precisión por primera vez, pero "su mérito nada tiene que ver con su origen".



¿Qué papel pudo haber desempeñado la obra vinciana en quienes le siguieron, poco después o en la plena Ilustración? Es difícil saberlo, pero es clara la influencia que tuvo en distinguidos personajes como Bacon, Giordano Bruno (1548-1600) y Gottfried Leibnitz (1646-1716). Parte de las percepciones, inventos e ideas del hombre de Vinci, seguramente le fueron sugeridas por algunos contemporáneos o bien fruto de sus lecturas, que ahora tienen un carácter general —de orígenes ambiguos— y sobre las que conformaron la posición racionalista y empírica que permea el pensamiento contemporáneo.

Interesante y preocupante es ver que se ha acentuado la pérdida de la confianza en la ciencia, en las instituciones de la modernidad, en la información cuantitativa y verificable, trocándose la visión cosmopolita por la tribal, la democracia por el autoritarismo, la visión correcta o racional por la ma-

yoritaria. Y aun así, la sociedad moderna en su conjunto es mejor que nunca antes y los datos lo demuestran, a pesar de lo que nuestras visiones locales y nuestros prejuicios parroquiales parecen indicar. Hay menos pobreza, más alimentos, menos violencia, más equidad, más educación y salud. La historia es la base de esta percepción de la mejora de nuestra civilización, cada vez más global, apoyada con los datos duros y cuantitativos. A las personas nos cuesta trabajo asimilar los datos de carácter positivo u optimista, mientras que cuando sugieren el decaimiento de la sociedad y el deterioro de nuestra cultura o condiciones de la gente, estamos más dispuestos a aceptarlos y creerlos. El espíritu de la Ilustración sigue y no hay evidencia alguna de su fragilidad. Podemos apreciar su enriquecimiento paulatino y certero, a dos siglos de su generación, aunque no libre de las fluctuaciones típicas de toda empresa humana. 



Ramón Peralta y Fabi
Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

Da Vinci, Leonardo. 1510. *Codex Leicester Hammer*. Edición de Kindle, 2016.

Keele, Kenneth David. 1952. *Leonardo da Vinci on Movement of the Heart and Blood*. Harvey and Blythe, Londres.

Levi, Enzo. 1986. "El agua según la ciencia" en *Series del Instituto de Ingeniería*, Vols. I y II, UNAM, D-24; véase, particularmente, el Cap. X en el Vol. II.

Peralta y Fabi, Ramón. 1994. *Fluidos: apellido de líquidos y gases*. Colección La Ciencia para todos, Fondo de Cultura Económica, México.

Pinker, Steven. 2018. *Enlightenment Now: The Case for Reason, Science, Humanism and Progress*. Penguin, Nueva York.

IMÁGENES

P. 30: Estudios de agua (detalle), Castillo de Windsor, 1508-1510. P. 31: Esbozo de un canal de riego cerca de San Cristofano, Milán (detalle), Códice Atlántico (fol. 1097r/395r-a), Biblioteca Ambrosiana, 1509. P. 32-33: Movimiento del agua (detalles), Manuscrito París A (fol. 24v), 1492. P. 34: Estudios de agua (detalle), Castillo de Windsor, 1508-1510. P. 35 y 36: Estudio del trazado de una fortificación de planta poligonal con dos fosos (detalle), Códice Atlántico (fol. 116r/41v-a), Biblioteca Ambrosiana, 1504-1508; Esbozo de un canal de riego cerca de San Cristofano, Milán (detalle), Códice Atlántico (fol. 1097r/395r-a), Biblioteca Ambrosiana, 1509.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bellhouse, B. J. y F. H. Bellhouse. 1968. "Mechanism of Closure of the Aortic Valve" en *Nature*, 217, pp. 86-87

DA VINCI AND FLUIDS

Palabras clave. códices vincianos, códice Leicester-Hammer, fluidos, ciencia.

Key words. Codices, Codex Leicester-Hammer, Fluids, Science.

Resumen. Leonardo Da Vinci nos deslumbra con su genialidad plástica, en dibujos y pinturas, y sus desconcertantes inventos, que lo sitúan mirando al futuro como un visionario universal. No debe sorprender que haya otras facetas igualmente atractivas, menos conocidas, pero encerradas en los códices vincianos. Uno de los 19 conocidos es el códice Leicester-Hammer, con sus reflexiones y observaciones, particularmente sobre el agua y el aire. No muy difundida, es la percepción de Leonardo sobre que el conocimiento debe tener como elementos indispensables la observación y la evidencia, a través de la experimentación, anticipando el nacimiento de la ciencia, la estrategia más exitosa de la historia para comprender el mundo en el que estamos inmersos.

Abstract. Leonardo Da Vinci amazes us with his artistic genius in his drawings and paintings, as well as with his puzzling inventions, which position him as a universal, forward-looking visionary. It therefore shouldn't surprise us that he had other, equally fascinating, but less-well-known, facets of his work that can be found in his codices. One of his 19 known codices, known as the Codex Leicester-Hammer, contains his reflections and observations, particularly on water and air. Though this codex has been little-studied, Leonardo's understanding that knowledge should be based on observation and evidence obtained through experimentation anticipates the birth of science, the most successful strategy in human history for understanding the world in which we live.

Ramón Peralta y Fabi. Físico y doctor en Ciencias con especialidad en dinámica de fluidos y física estadística. Ha sido director de la Facultad de Ciencias y de la Sedes UNAM-Canadá y Francia (Escuela de Extensión Universitaria). Asimismo, se ha desempeñado como secretario general, vicepresidente y presidente de la Sociedad Mexicana de Física.

Recibido el 6 de abril de 2019; aceptado el 12 de abril de 2019.