

Ricardo Mansilla\*

## Las ideas de la complejidad en la obra de Leonardo da Vinci\*\*

### The ideas of complexity in the work of Leonardo da Vinci

**Abstract** | One of the most notable members of our civilization throughout its history is undoubtedly Leonardo da Vinci. He was a painter, engineer, musician, scientist, sculptor and organizer of superb celebrations among many other vocations. After his death, in 1519, his work languished in the dark until the end of the 18th century. Only then, in full Enlightenment, his reputation as a scientist and engineer matched his extraordinary prestige as a painter, showing his accentuated interdisciplinary foundation. To achieve the deep realism we observe in his artistic works, Leonardo undertook careful geological, biological and anatomical studies. To document these scientific studies, he used in his codex's beautiful drawings of high artistic quality. This is the virtuous circle of Leonardo's interdisciplinary work: science to raise the quality of artistic work, art to document scientific work.

Although we conceive the ideas of complexity as a scion of the second half of the twentieth century, driven in its development by the resounding progress of digital computers, which in the words of H. Pagels are the foundational instrument of the homonymous theory, it can be observed glimpses of the essential ideas of this doctrinal body in thinkers settled in previous centuries. Such is the case of Leonardo. This work tries to show how the cardinal ideas of the theory of complex systems are glimpsed in Leonardian codices.

**Keywords** | Leonardo da Vinci, complex systems theory.

**Resumen** | Uno de los más notables integrantes de nuestra civilización a lo largo de toda su historia es sin duda Leonardo da Vinci. Fue pintor, ingeniero, músico, científico, escultor y organizador de soberbios festejos entre otras muchas vocaciones. Después de su

---

Recibido: 28 de junio de 2019.

Aceptado: 28 de octubre de 2019.

\* Doctor en matemáticas por la Universidad de La Habana. Investigador Titular C del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM.

\*\* Este trabajo es una síntesis muy apretada de un libro homónimo que se encuentra en preparación por el autor de este artículo.

**Correo electrónico:** mansy@unam.mx

Mansilla, Ricardo. «Las ideas de la complejidad en la obra de Leonardo da Vinci.» *Interdisciplina* 8, n° 21 (mayo-agosto 2020): 75-88.

doi: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2020.21.75148>

muerte, ocurrida en 1519, su obra languideció en la oscuridad hasta finales del siglo XVIII. Solo entonces, en plena Ilustración, su reputación como científico e ingeniero se igualó a su extraordinario prestigio como pintor, mostrando de paso su acentuado fundamento interdisciplinario. Para lograr el profundo realismo que observamos en sus obras artísticas, Leonardo emprendió cuidadosos estudios geológicos, biológicos y anatómicos. Para documentar estos estudios científicos se valió en sus códices de hermosos dibujos de elevada calidad artística. Es este el círculo virtuoso del trabajo interdisciplinario de Leonardo: ciencia para elevar la calidad de la obra artística, arte para documentar el trabajo científico.

Si bien concebimos las ideas de la complejidad como un vástago de la segunda mitad del siglo XX, impulsadas en su desarrollo por el rotundo progreso de las computadoras digitales, que a decir de H. Pagels son el instrumento fundacional de la teoría homónima, se pueden observar atisbos de las ideas esenciales de este cuerpo doctrinario en pensadores asentados en siglos previos. Tal es el caso de Leonardo. Este trabajo intenta mostrar cómo en los códices leonardianos se vislumbran las ideas cardinales de la teoría de los sistemas complejos.

**Palabras clave** | Leonardo Da Vinci, teoría de la complejidad.

## Introducción

De todas las mentes brillantes que han asombrado a la humanidad a lo largo de su historia, de todos los eruditos generados por nuestra civilización, Leonardo da Vinci es sin duda alguna el más interdisciplinario entre ellos. Su habilidad para establecer conexiones a través de diferentes disciplinas —artes y ciencias, humanidades y tecnologías— es la huella más indeleble de su genio y es un aspecto esencial en el proceso de creación e innovación aun en nuestros días (Isaacson 2017, 3). En las más de 7,200 páginas de sus notas y garabatos a los cuales hemos tenido acceso, observamos comentarios y dibujos sobre diferentes temas mezclados de manera aparentemente aleatoria, sugiriéndonos una mente de una curiosidad extraordinaria. Los saltos entre disciplinas que se observan en comentarios o dibujos adyacentes son una muestra fidedigna de su satisfacción por el conocimiento de la Naturaleza, de su urgida curiosidad. El eminente historiador de las artes Kenneth Clark lo definió como el ser humano más implacablemente curioso de la historia (Clark 1988, 258 y 1969, 135).

Nació el 15 de abril de 1452 y desde el principio parecía no encajar en la época que le tocó vivir: hijo ilegítimo, homosexual, vegetariano, zurdo, ligeramente estrábico (Tyler 2019) y en ocasiones herético (Isaacson 2017, 9). Pero esas incongruencias con los *vivendi praecepta bona* de la época lo salvaron de terminar siendo un notario público. Desde principios del siglo XIV, esa había sido la ocupación familiar, y se transfería de padres a hijos. Para continuar con

la tradición, era imprescindible ser hijo legítimo, lo cual Leonardo no podía reivindicar. Estas circunstancias probablemente salvaron de una vida mediocre a uno de los mayores genios de la humanidad.<sup>1</sup>

Sin embargo, su condición de bastardo sí influyó en su formación.<sup>2</sup> Los hijos legítimos que iban a dedicar sus vidas a carreras profesionales o al servicio público, en particular al servicio notarial, eran enviados a las llamadas *Escuelas Latinas* en las que recibían una educación basada en el estudio de los clásicos y las humanidades. Leonardo fue enviado a una de las llamadas *escuelas de ábaco*, donde recibió un somero entrenamiento en matemáticas básicas comerciales. Cualquier otro conocimiento adquirido por Leonardo a lo largo de su vida fue de manera autodidacta.<sup>3</sup> Tal vez la única excepción sea su aprendizaje de las matemáticas avanzadas de la época, las cuales estudió con Luca Paccioli<sup>4</sup> después de su llegada a la corte de Ludovico el Moro, en Milán, en 1482. En aquella época, Leonardo apuntó (Isaacson 2017, 200): “No hay certeza en la ciencia donde la matemática no puede ser aplicada”. Tal vez inspirado por la máxima grabada a la entrada de la Academia de Platón, en el volumen I de sus cuadernos de anato-

**1** El padre de Leonardo, llamado Piero conoció en 1451 a Caterina Lippi, por entonces una joven de 15 años. Iniciaron una relación sentimental que trajo al mundo a Leonardo. Caterina era una huérfana de un campesino pobre con pocas posibilidades de casarse con Piero, que aspiraba (y finalmente lo logró) contraer nupcias con la hija de un comerciante florentino llamada Albiera. Este matrimonio, probablemente arreglado, era muy conveniente para ambas familias. No obstante, Piero logró arreglar un matrimonio entre Caterina y un trabajador de la familia llamado Antonio di Piero del Vaccha. El abuelo de Leonardo, también notario, inscribió a su nieto con la siguiente declaración: “1452: Me ha nacido un nieto, hijo de Ser Piero mi hijo, el sábado 15 de abril de 1452, a la tercera hora de la noche (10:00 pm). Se llama Leonardo”. Ninguna mención a su madre. Para más detalles sobre este asunto ver Isaacson (2017, 12 y 13) y las referencias que allí aparecen.

**2** En el Renacimiento, nacer fuera del matrimonio no era motivo de vergüenza. El historiador suizo J. Burckhardt (1818-1897) describe en su obra *The civilization of the Renaissance in Italy* al Renacimiento italiano como “la era dorada para los bastardos”. Algunos de ellos tuvieron un notable reconocimiento social. Tal es el caso de Cesar Borgia, hijo ilegítimo del Papa Alejandro VI, quien llegó a ser cardenal, comandante de los ejércitos papales e inspiró a Maquiavelo a escribir *El Príncipe*. En algún momento fue empleador de Leonardo.

**3** En el folio 520 recto del *Código Atlántico*, puede leerse la siguiente nota: “Leonardo da Vinci, discípulo de la experiencia”.

**4** Luca Pacioli (1445-1514) es una pieza importante de la ciencia del Renacimiento. Es el creador del sistema de contabilidad de doble entrada que se utiliza en la actualidad. Tuvo un papel importante, junto con Girolamo Cardano, en la fundación de la teoría de las probabilidades. Autor de una conocida compilación de los conocimientos matemáticos de la época *Suma de aritmética, geometría, proporciones y proporcionalidad* (1494) fue profesor en varias ciudades italianas. Ya asentado en Milán escribió la obra *De la divina proporción* (1509) cuyos dibujos realizó Leonardo da Vinci, por el que sentía una profunda admiración. Aparentemente, Leonardo elaboró los dibujos en agradecimiento por los desvelos de Pacioli en enseñarle las matemáticas avanzadas de la época, a las cuales Da Vinci no había tenido acceso dada la pobre educación básica recibida en la escuela de ábaco.

mía el genio florentino escribió:<sup>5</sup> “que ningún hombre que no sea matemático lea los elementos de mi trabajo”.

Fue un precursor del método científico más de un siglo antes de los trabajos de Galileo. En el año 1510, expresó:<sup>6</sup> “aquellos que se enamoran de la práctica sin conocimiento teórico son como un marinero que se lanza a la mar sin timón ni compás y que nunca podrán saber con certeza a dónde van (...) la práctica siempre tiene que estar sustentada en una sólida teoría”.

Vale agregar que Leonardo era un pensador sistémico en el sentido moderno, siglos antes de que este concepto fuera acuñado.<sup>7</sup>

Muchos pensadores anteriores a la segunda mitad del siglo XX vislumbraron en sus obras las nociones de la complejidad. Tal es el caso de A. Smith, quien en su obra *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*, adelantaba el concepto de *La Mano Invisible*.<sup>8</sup> Este no es más que un ejemplo de una propiedad emergente de un sistema complejo, esto es, un observable macroscópico emanado del sistema que no puede ser deducido directamente de las reglas microscópicas del funcionamiento del sistema. Así, nos permitimos afirmar que A. Smith avizoró una propiedad esencial de los sistemas complejos, en este caso, la economía. G. Julia en 1918, estudiando las iteraciones de funciones analíticas racionales adelantó el concepto de fractal (Julia 1918). Sin tener acceso a computadoras digitales, obtuvo muchas propiedades notables de los llamados hoy *Conjuntos de Julia*. H. Poincaré advirtió los sistemas dinámicos caóticos (Poincaré 1892) casi setenta años antes de que fueran redescubiertos por el seminal trabajo de E. Lorenz. (Lorenz 1963). Cabe entonces preguntarse si Leonardo da Vinci vislumbró en su obra las ideas de la complejidad. Las páginas que siguen pretenden echar luz sobre ese asunto.

Navegar la obra de Da Vinci es un reto extraordinario, facilitado recientemente por la digitalización total de su obra conocida. Todas las citas directas a la obra de Leonardo que se hacen en este trabajo provienen de los siguientes sitios web:

- Biblioteca Leonardiana: <http://www.bibliotecaleonardiana.it/bbl/home.shtml>
- The Royal Collection: <https://www.rct.uk/collection>

**5** The Royal Collection, Windsor Castle RCIN 1151934, folio 8, verso.

**6** Manuscrito G, Instituto de París, folio 8, recto.

**7** En la página ix del prólogo de la obra *Learning from Leonardo*, el físico F. Capra nos dice: “Leonardo da Vinci era lo que nosotros llamaríamos en el lenguaje actual un pensador sistémico. Comprender un fenómeno para él significaba conectarlo con otros fenómenos a través de la similitud de sus patrones”.

**8** En realidad, el concepto de ‘La Mano Invisible’ lo introdujo A. Smith en su obra *Teoría de los sentimientos morales* (1759); sin embargo, fue popularizada en la *Riqueza de las Naciones*, donde curiosamente solo aparece una vez.

El resto de las citas provienen de las obras anotadas. La responsabilidad de la traducción de las diferentes citas a lo largo del texto recae sobre el autor de estas líneas.

## Precursor del método científico

El carácter de la educación elemental recibida por Leonardo, así como su poderosa capacidad de observación, pariente cercana de su exuberante curiosidad, lo condujeron inicialmente a ser un experimentador sin ningún entrenamiento para lidiar con conceptos abstractos. “Primero pruebo por experimento antes de continuar, porque mi intención es consultar al inicio la experiencia y luego, con razonamiento, mostrar por qué esa experiencia está destinada a funcionar de tal manera”, escribió en el Manuscrito E, folio 55, recto, guardado en el Instituto de Francia.<sup>9</sup> Esto no significaba para nada que renunciara a la búsqueda de las causas de los fenómenos, ni a la construcción de explicaciones de estos. “A pesar de que la Naturaleza comienza con la causa y termina con la experiencia, nosotros tenemos que seguir el curso opuesto, esto es, comenzar con la experiencia y por medio de ella investigar la causa”, anotó en el mismo folio del manuscrito antes mencionado.<sup>10</sup> Esto rompía (un siglo antes que Galileo) con la ortodoxia escolástica de la Edad Media, que había fusionado el trabajo de Aristóteles con la fe cristiana para crear un cuerpo de ideas las cuales, como es conocido, no dejaban espacio a la experimentación ni a la crítica escéptica de sus postulados.

Por otra parte, sus cuadernos de notas nos muestran a un Leonardo en evolución. A lo largo de la década de los años noventa del siglo XV, Da Vinci desarrolló un notable esfuerzo para reparar las carencias de su primera educación. A partir de allí, encontramos en la obra de Leonardo una pretensión consistente por articular los resultados experimentales en un cuerpo teórico más elaborado. El matemático polaco Leopold Infeld, colaborador de A. Einstein durante los años 1936-1938, publicó, en 1953, un notable trabajo sobre los puntos de vista de Leonardo acerca de las leyes fundamentales de la Naturaleza (Infeld 1953). Comenta en el mismo lo siguiente: “Podemos ver en Leonardo un intento dramático de evaluar adecuadamente la relación mutua entre la teoría y el experimento”.

Es curioso el concepto de demostración que empleaba Leonardo. Consistía en la posibilidad de replicar un resultado particular a través de la experimentación. Es frecuente encontrar en sus notas la frase: “esto puede ser probado con un experimento”. Esta era la base misma de su búsqueda de la verdad: la replicabilidad de los experimentos. “Antes de establecer una regla general, ponla a

**9** Ver también, Richter (1952, 9).

**10** Ver también, Isaacson (2017: 173).

prueba dos o tres veces y observa si estas pruebas producen el mismo efecto” (Capra 2007, 156).

Este método de experimentación lo llevó a resultados sumamente precisos sobre la naturaleza del movimiento mecánico. En los primeros años de su actividad profesional, Leonardo aceptó la explicación de la fuerza de gravedad postulada por Aristóteles. Pero mientras estudiaba ciertos fenómenos mecánicos llegó a la conclusión de que este marco teórico era insuficiente para explicar los resultados que observaba. Por tal motivo, diseñó un experimento muy ingenioso para medir la aceleración debida a la gravedad, usando un plano inclinado. Nótese que este experimento fue realizado por Galileo 100 años después. En el Manuscrito M, folio 42 verso, Leonardo anotó: “a pesar de que el movimiento es oblicuo, se observa en cada uno de sus grados un incremento en el movimiento y en la velocidad en progresión aritmética”. Si bien no apreció correctamente el incremento en el espacio recorrido, en lo que respecta a la velocidad obtuvo la estimación correcta: en un cuerpo que rueda sobre un plano inclinado, la velocidad crece proporcional al tiempo transcurrido.

Las razones por las cuales solo se le ha reconocido recientemente a Leonardo como un precursor del método científico son claras. Los más de 7,200 folios a los cuales hemos tenido acceso estuvieron fuera del escrutinio público por más de un siglo.<sup>11</sup> Los trabajos de Galileo y F. Bacon fueron conocidos antes del redescubrimiento de la obra autógrafa de Da Vinci.

**11** Francesco Melzi regresó a su villa en Vaprio d'Adda (Lombardía) un poco después de la muerte de su maestro. Llevaba consigo todo el legado que había recibido en calidad de beneficiario principal del testamento de Leonardo. Allí se dio a la tarea de organizar el valioso conglomerado de manuscritos. El resultado de este titánico trabajo se conoce hoy a través del *Codex Urbinas Latinus 1270* de la Biblioteca Apostólica Vaticana. A su muerte, acaecida hacia 1570, se inicia el proceso de dispersión de la obra autógrafa de Da Vinci. Orazio Melzi, quien se hizo cargo de los bienes paternos al fallecimiento de Francesco, no le brindó mucha atención a los códices, los cuales fueron depositados en un desván de su propiedad. El preceptor de la familia Melzi, Lelio Gavardi d'Asola, siendo testigo del estado de abandono del material, intentó hacer una venta parcial del mismo. Cuando Orazio Melzi tuvo noticias del hecho, regaló el lote a Gian Ambrogio Mazenta, la persona que lo había alertado de las intenciones de Gavardi d'Asola. Gian Ambrogio, a su vez, lo repartió entre dos de sus hermanos: Guido y Alessandro Mazenta. Parte de este material pasó a manos de la Biblioteca Ambrosiana. El resto pasó a manos del duque Carlo Emanuele de Saboya y de Ambrogio Figgini, pintor conocido en la época. Más adelante, el escultor Pompeo Leoni, se sintió muy atraído por la obra autógrafa de Leonardo. Llegó a poseer gran parte del fondo en poder de Orazio Melzi y los manuscritos restantes de Alessandro y Guido Mazenta. El propio Leoni se embarcó en una nueva clasificación del legado de Da Vinci y organizó por tamaños el material adquirido. Si bien el proceso de dispersión del legado de Leonardo fue muy complejo, existen algunos reportes incompletos de su evolución. Tal es el caso del trabajo de Jean Paul Richter (1970, 393-399), y la actualización que hizo del mismo Carlo Pedretti siete años después.

“En la historia intelectual de Europa, a Galileo, nacido 112 años después de Leonardo, se le reconoce como el primero en desarrollar este tipo de enfoque rigurosamente empírico y es con frecuencia aclamado como el padre de la ciencia moderna. No existen dudas de que este honor se le hubiera otorgado a Leonardo da Vinci si él hubiera publicado sus trabajos científicos o sus Cuadernos hubieran sido estudiados inmediatamente después de su muerte”, afirma el físico F. Capra. (Capra 2013, 5).

## Precursor de la mecánica de Newton

Una de las grandes fascinaciones de Leonardo por más de dos décadas a partir del 1490 fue el vuelo de los pájaros. Conjeturaba que comprender el mecanismo de sustentación de las aves en el aire lo ayudaría a construir máquinas que permitieran a los seres humanos volar.<sup>12</sup>

Comprendió muy temprano que debía entender los detalles de cómo la fuerza de la gravedad actuaba sobre los diferentes cuerpos. De esta forma, dejó atrás el punto de vista de Aristóteles que resultaba ya muy estrecho para la profundidad de sus investigaciones. Definió la fuerza de gravedad como “la atracción de un objeto sobre otro, la cual actúa a través de la línea imaginaria que une el centro de los cuerpos”.<sup>13</sup> Doscientos años después vemos este mismo postulado en los *Principia* de Newton.

Leonardo también vislumbró las leyes fundamentales de la mecánica clásica. Aquí su versión personal de la ley de inercia o Primera Ley de Newton: “Un cuerpo en movimiento desea mantener su curso en la línea en la cual lo inició”.<sup>14</sup> Doscientos años después, Isaac Newton escribía en su *Principia Matemática*: “Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado” (Newton 1686, 10).

Esta es su versión de la Tercera Ley de Newton. “Miren cómo las alas, golpeando contra el aire, sostienen a la pesada águila en el aire ligero (...) la misma fuerza que se ejerce sobre el aire por el objeto es la que se ejerce sobre el objeto por el aire”.<sup>15</sup>

**12** En el *Códice Atlántico*, en los folios 45, recto, y 124, recto, Leonardo anotó: “Estudiar la anatomía de las alas de un ave junto con los músculos del pecho que mueven esas alas. Hacer lo mismo con un hombre para ver la posibilidad de que pueda sostenerse en el aire agitando unas alas”.

**13** *Códice del vuelo de las aves*, folios 1r y 2r. Este códice puede ser consultado en línea, traducido al inglés, en la página web del Smithsonian National Air and Space Museum: <https://airandspace.si.edu/exhibitions/codex/codex.cfm>.

**14** *Códice sobre el vuelo de las aves*, folio 12, recto.

**15** *Códice Atlántico*, folio 381, verso.

El principio de relatividad de Galileo también fue entendido por Leonardo: “El efecto del aire en movimiento sobre un objeto estacionario es el mismo que el de un objeto en movimiento sobre el aire estacionario” (Richter 1952, 86).

Tales afirmaciones por parte de Da Vinci lo hubieran puesto legítimamente entre los padres fundadores del método científico y de la mecánica clásica. Sin embargo, él fue mucho más adelante. En su interés por entender con toda profundidad el mecanismo del vuelo de las aves, Leonardo también se preocupó por la influencia de la fricción del aire sobre el cuerpo de las aves. En este sentido, realizó una notable cantidad de experimentos basados en el uso de planos inclinados con diferentes niveles de rugosidad, con los cuales arribó a conclusiones muy similares a las obtenidas doscientos años después por el físico e inventor francés Guillaume Amontons (Isaacson 2017, 197).

Estos hechos nos permiten afirmar que a pesar de que los resultados teóricos fundamentales de la mecánica clásica aún no habían sido definitivamente establecidos, Leonardo tenía una idea muy intuitiva pero precisa de algunos de sus postulados. Es legítimo preguntarse por qué Da Vinci no avizó las ideas del cálculo. Las razones básicas son en primer lugar que muchos de los ingredientes teóricos necesarios para la elaboración del cálculo de Newton (por ejemplo, la Geometría de Descartes y la invención de los ejes de coordenadas)<sup>16</sup> no estaban disponibles en su época. Por otra parte, recordemos las carencias originales de su educación elemental. Sin embargo, la poderosa capacidad de observación de Leonardo le permitió obtener la respuesta correcta en uno de los problemas más famosos relacionados con la prioridad en el descubrimiento del cálculo infinitesimal, a saber, el problema de la braquistócrona.<sup>17</sup>

## Las metáforas metodológicas como instrumentos epistémicos

Una de las herramientas predilectas de Leonardo da Vinci en la búsqueda y construcción del conocimiento era el establecimiento de analogías entre objetos y procesos ya estudiados y conocidos y aquellos que eran nuevas presas de su curiosidad y atención. Este proceder tiene sus raíces en la convicción medieval (que tiene a su vez sus orígenes en Platón y Aristóteles) de que la Naturaleza, en su conjunto, era un ser vivo y que los patrones y procesos del macrocosmos eran similares a los del microcosmos.

**16** Con frecuencia se le atribuye a Descartes la invención del plano de coordenadas porque los conceptos fundamentales para esta construcción están ya en su obra. Sin embargo, en ningún sitio de *La Géométrie* aparece el sistema moderno de coordenadas cartesianas. Esta adición a la obra de Descartes fue realizada por Frans van Schooten, profesor de matemáticas en la Universidad de Leiden, y sus estudiantes alrededor de 1649.

**17** R. Mansilla, *Leonardo da Vinci and the problem of brachistochrone*, en preparación.

Estas analogías entre el macrocosmos y el microcosmos y en particular entre la Tierra y el cuerpo humano se remontan a Platón y tenían la autoridad de conocimiento común en la Edad Media y el Renacimiento [...] Una de las ideas más importantes de las modernas teorías de la complejidad ha sido que, a pesar de que los patrones de relaciones entre los componentes y procesos de dos sistemas vivos diferentes pueden ser similares, los procesos en sí mismos y las fuerzas y estructuras involucradas en ellos pueden ser bastante diferentes. (Capra 2013, 146).

Esto garantiza el carácter holístico de la formulación moderna de los sistemas complejos. Leonardo sin duda alcanzó ese nivel de comprensión en su obra.

Leonardo creía que las analogías eran una manera de apreciar la unidad de la Naturaleza. “El hombre es la imagen del mundo”, era una de sus máximas preferidas.<sup>18</sup> Dentro de las formas análogas que él estudió se encuentran, por ejemplo, los patrones de ramificación de las ramas de los árboles, las arterias dentro del cuerpo humano, los ríos y sus tributarios (Isaacson 2017, 109) y otras que serán discutidas más adelante. Su gran capacidad de observación lo llevó a postular una regla que aún lleva su nombre: “Todas las ramas de un árbol en cada etapa de su altura cuando se juntan son del mismo grosor que el tronco” (Richter 1888, 394). Recientemente se ha comprobado a través de simulaciones computacionales la veracidad de esta regla (Minamino y Tateno 2014). Además, ha podido demostrarse que es la distribución óptima para la resistencia por parte de los árboles de la carga de los vientos (Eloy 2011).

Uno de los mejores ejemplos del uso de estas analogías está relacionado con la realización de una ciudad utópica.<sup>19</sup> Milán había sido assolada durante los tres primeros años de la década de 1480 por la peste bubónica, eliminando a más de la tercera parte de sus habitantes. Leonardo aplicó la analogía clásica entre el microcosmo del cuerpo humano y el macrocosmo de la Tierra: las ciudades eran según él organismos que respiraban, que tenían fluidos que circulaban y desechos que debían moverse. Leonardo por esa época había comenzado ya su estudio de la sangre y la circulación de fluidos dentro del cuerpo humano. Pensando por analogías consideró cuál debería ser el mejor sistema de circulación para las necesidades urbanas, considerando desde el comercio hasta la recolección de basuras (Isaacson 2017, 103).

En el año 1487, la catedral de Milán tenía ya 100 años de construida, pero aún carecía de su *tiburio*, esto es, una torre con una linterna y cruz en su extre-

**18** Richter [1162] (1888). Una versión en línea puede encontrarse en: <https://zelalemkibret.files.wordpress.com/2012/02/the-complete-works-leonardo-da-vinci.pdf>

**19** La planeación de ciudades utópicas era un tema favorito entre artistas y arquitectos de la época.

mo superior. Su construcción era un gran reto, toda vez que la catedral tenía ciertas debilidades en su estructura. Leonardo entró al concurso para construir el tiburio. Por su trabajo recibió seis pagos entre julio y septiembre de 1487. En el documento donde desarrollaba su proyecto, Leonardo escribió: “Usted sabe que los medicamentos pueden restaurar la salud de los enfermos, y el que los conoce bien los usará bien si también comprende qué es el hombre, qué es la vida y las constituciones y qué es la salud. Al conocerlos bien, conocerá sus opuestos, y estando así equipado estará más cerca de una cura que cualquier otra persona. La necesidad de la catedral inválida es similar: requiere un médico arquitecto que entienda bien qué es un edificio, y en qué reglas se basan los métodos correctos de construcción y de dónde se derivan estas reglas y en cuántas partes se dividen y cuáles son las causas que mantienen unida la estructura y la hacen duradera y cuál es la naturaleza del peso y cuál es el deseo de fuerza y de qué manera deben combinarse y relacionarse y qué efecto produce la unión” (Richter 1952, 281-282).

La obra de Vitruvio sirvió a Leonardo para establecer algunas de sus más lúcidas analogías entre el microcosmos del hombre y el macrocosmos de la Tierra.<sup>20</sup> En la misma época en que estaba inmerso en el diseño de la catedral de Milán y en la evaluación de la de Pavía escribió: “los antiguos llamaban al hombre un mundo menor y ciertamente esa denominación es muy adecuada, porque el cuerpo es un análogo del mundo”.<sup>21</sup> Partiendo de este punto de vista, estimulado por los repetidos intentos de su amigo Francesco di Giorgio por mejorar el trabajo de Vitruvio y las discusiones sobre el tema que sostuvo con Giacomo Andrea, un conocedor reconocido de la obra del arquitecto romano,<sup>22</sup> Leonardo resuelve hacer su muy conocida versión del hombre de Vitruvio, la cual es analizada en la contribución de J. Rafael Martínez de este número.

**20** En junio de 1490, mientras Leonardo se encontraba trabajando en el proyecto de la catedral de Milán, el gobierno de Pavía le solicitó a Ludovico Sforza que enviara al arquitecto Francesco de Giorgio y a Da Vinci como consultores de la nueva catedral que se construía en esta ciudad. Esto le dio la oportunidad a Leonardo de acceder a una copia del siglo XIV del tratado de arquitectura de Vitruvio, que se encontraba en la biblioteca Visconti de la ciudad de Pavía. En el libro tercero de esta obra su autor se acoge al mantra medieval y expresa: “el diseño de un templo depende de su simetría...tiene que existir una relación precisa entre sus componentes como en el caso de un hombre bien formado” (ver W. Isaacson, *op. cit.*, 149).

**21** Manuscrito A, Instituto de París, folio 55 verso.

**22** En una de las ediciones de su libro Sobre la Divina Proporción, Luca Pacioli escribía una dedicatoria a los miembros ilustres de la corte de Sforza. En ella puede leerse: “Existe también Giacomo Andrea de Ferrara, tan querido por Leonardo como un hermano y un estudiante entusiasta de Vitrubio” (ver T. Lester, *Da Vinci Ghost's*, Simon and Schuster, 2012, 201).

El pensamiento interdisciplinario de Leonardo fue su sello característico como el hombre renacentista por excelencia y lo convirtió en un pionero del humanismo científico (Isaacson 2017, 400-401).

## La dinámica de fluidos en Leonardo

Leonardo estudió por más de 40 años diferentes fluidos. Por su fascinación con el vuelo de las aves estudió las corrientes de aire. En su trabajo como ingeniero hidráulico estudió con gran detenimiento las corrientes de agua. Pero su enorme curiosidad lo llevó también a estudiar las propiedades del vino, la miel, el aceite y los conglomerados de granos como fluidos. Con esto último, Leonardo se anticiparía varios siglos al estudio de los llamados fluidos granulares, en la actualidad un tema de investigación muy activo (Jaeger y Nagel 1996).

Sus experimentos con materiales granulares eran especialmente notables. Él comprendió que podía aprender algo acerca del flujo del agua observando un fenómeno similar pero más simple: el flujo de los granos, en el cual las partículas individuales eran visibles. Este método de usar un modelo simplificado para analizar los rasgos fundamentales de un fenómeno más complejos es una característica distintiva de nuestro método científico moderno. (Capra 1996, 161).

Antes de seguir adelante, conviene una digresión sobre el tema. La turbulencia es uno de los problemas más complejos de la física. En cierta ocasión Richard Feynman, Premio Nobel de Física dijo que la turbulencia hidrodinámica era: "El más importante problema de física clásica aún no resuelto". Horace Lamb, un destacado físico británico, dijo en una ocasión que cuando muriera, la única pregunta que estaba interesado en hacerle a Dios era acerca de la explicación de la turbulencia hidrodinámica. Lamb murió en 1934, pero la situación no ha cambiado mucho: el Instituto Clay, fundado en 1998 en Cambridge, Massachusetts, por el filántropo Landon Clay, ofrece un premio de un millón de dólares a quien ofrezca una teoría de la turbulencia hidrodinámica.

Leonardo hizo una investigación profunda sobre la turbulencia hidrodinámica. En el *Códice Atlántico* y en el Manuscrito H aparecen una gran cantidad de dibujos y comentarios sobre fluidos turbulentos. "No hay otra área de su trabajo donde él haya sido más original e innovador" (Macagno 1988, ii).

La inclinación de Leonardo por este tema tiene dos grandes fuentes. En primer lugar, su patrón favorito en la Naturaleza eran las espirales. Si observamos, por ejemplo, el cuadro *El Bautismo de Cristo*, pintado por Verrocchio con la ayu-

da de Leonardo,<sup>23</sup> podemos ver que los rizos que caen sobre los hombros del ángel que aparece en la extrema izquierda del cuadro parecen una cascada de agua, como si un río cayera desde su cabeza y se transformara en cabellos. Pueden encontrarse en otras obras de Leonardo similares cabelleras que imitan corrientes turbulentas, como el *San Juan Bautista* (entre 1508 y 1513) y *Leda y el Cisne* (entre 1515-1520).

Creo que a Leonardo le gustaba dibujar estos remolinos con espirales en sus extremos porque veía la espiral como un arquetipo de los flujos turbulentos y en general, como un símbolo de la vida. He argumentado anteriormente que él intuitivamente reconoció que la dinámica del vórtice espiral, estable pero continuamente cambiante, era algo que simbolizaba a todas las formas vivas. (Capra 2013, 62).

En segundo lugar, las analogías en la obra de Leonardo no se reducían a las establecidas entre el Hombre, la Naturaleza y la Tierra, sino también entre diferentes fenómenos u objetos. Por ejemplo, cuando trabajaba en la estatua ecuestre para Ludovico Sforza, realizó incontables mediciones de las proporciones entre las diferentes partes del cuerpo de los caballos y las comparó con las del hombre. Estableció también, como ya hemos comentado relaciones entre los troncos y el grosor de las ramas. También midió la relación entre las grandes arterias y las venas más pequeñas. Determinó relaciones de proporcionalidad entre los grandes ríos y sus pequeños afluentes. “Utilizó su sofisticada comprensión de los flujos turbulentos y de la fricción para desarrollar un brillante (aunque erróneo) modelo para el flujo sanguíneo” (Capra 2013, 295). Entendía (y lo documentó pródigamente) que ciertos sistemas tenían actividad a diferentes escalas espaciales. Como es conocido, esta es una propiedad que distingue a los sistemas complejos.

La precisión de los dibujos hechos por Leonardo de fluidos turbulentos es la mejor medida del nivel de comprensión que tenía de este fenómeno. La manera en que los remolinos aparecen en diferentes escalas espaciales, adecuadamente situados en el contexto, coincide con lo observado en experimentos y simulaciones computacionales. “El agua tiene su movimiento de remolino, una parte del cual se debe al ímpetu de la corriente principal, la otra al movimiento

**23** A la muerte de Albiera, la esposa de su padre en 1464, Leonardo se trasladó a vivir con él en Florencia. Allí, siendo muy joven, deslumbró a su padre con su talento para el dibujo. Decidió enviarlo al taller de Andrea del Verrocchio, quien era su amigo. Allí, el talento de Leonardo detonó de inmediato. Verrocchio le encargaba las partes más complicadas de algunos cuadros. Tal es el caso del Bautismo de Cristo. Se dice que cuando Verrocchio vio el ángel que Leonardo había pintado en el extremo izquierdo de la obra, decidió no tocar jamás un pincel.

incidente y reflejado”.<sup>24</sup> De esta manera, Leonardo anticipaba el trabajo que Osborne Reynolds realizó cuatrocientos años después.

## Conclusiones

Leonardo da Vinci atisbó a través de su enciclopédica e interdisciplinaria obra de manera intuitiva, aunque precisa, las ideas de la complejidad. Lo observamos de manera general en el carácter holístico de su pensamiento: admitiendo que muchos fenómenos naturales no pueden estudiarse por medio de una disección de partes; en la percepción de las diferentes escalas existentes en los fenómenos que estudiaban; en las analogías que lograba establecer entre fenómenos de muy diferentes orígenes, reforzando así su convicción del carácter holístico de los fenómenos de la Naturaleza.

Precursor del método científico, se adelantó a Galileo en casi cien años. Conjeturó, a través de su trabajo experimental, las leyes fundamentales de la mecánica que Newton estableció casi doscientos años después. A través de su agudísima capacidad de observación entendió a nivel muy intuitivo, pero preciso, la estructura de los flujos turbulentos cuya completa comprensión aún desafía a los especialistas.

Queda por indagar cómo se manifiestan las ideas de la complejidad en ese amplio territorio de la obra de Leonardo que es el estudio del cuerpo humano. Este trabajo solamente entreabre la puerta a un fértil campo de investigación. ■

## Referencias

- Capra, F. 2007. *The science of Leonardo*. Doubleday, 156.
- Capra, F. 2013. *Learning from Leonardo. Decoding the notebooks of a genius*. San Francisco, California: Berret Koehler, 62.
- Clark, K. 1969. *Civilization*. Harper & Row, 135.
- Clark, K. 1988. *Leonardo da Vinci*. Ed. Rev. por M. Kemp. Penguin Books, 258.
- Eloy, Ch. 2011. «Leonardo's rule, self-similarity, and wind-induced stresses in trees.» *Physical Review Letters*, 107, 258101.
- Infeld, L. 1953. «Leonardo da Vinci and the fundamental laws of science.» *Science and Society*, 17(1): 26-41.
- Isaacson, W. 2017. *Leonardo da Vinci*. Simon & Schuster, 3.
- Jaeger, H. M. y S. R. Nagel. 1996. «Granular solids, liquids and gases.» *Reviews of Modern Physics*, 68(4): 1259-1273.

- Julia, G. 1918. «Mémoire sur l'iteration des fonctions rationnelles.» *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, 8: 47-245.
- Lorenz, E. 1963. «Deterministic non periodic flow.» *Journal of Atmospheric Sciences*, 20: 130-141.
- Macagno, E. 1988. «Leonardian fluid mechanics in the Manuscript H.» *Iowa Institute of Hydraulic Research Monograph*, 103: ii.
- Minamino, R. y M. Tateno. 2014. «Tree branching: Leonardo da Vinci's rule versus biomechanical models.» *PLoS ONE*, 9(4): e93535, 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093535>.
- Newton, I. 1686. *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Pepys, 10. (Una versión en español puede verse en [https://www.academia.edu/30085118/Principios\\_Matematicos\\_de\\_la\\_Filosofia\\_Natural\\_-\\_Isaac\\_Newton.pdf](https://www.academia.edu/30085118/Principios_Matematicos_de_la_Filosofia_Natural_-_Isaac_Newton.pdf))
- Poincaré, H. 1892. *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*. Éditions Gauthiers-Villars.
- Richter, I. 1952. *Leonardo da Vinci Notebook's*, editado con introducción y notas de T. Wells, prólogo de M. Kempt. Oxford: Oxford University Press, 9.
- Richter, J. 1888. [1162]. *The complete notebooks of Leonardo Da Vinci*. Nueva York: Dover.
- Richter, Jean Paul. 1970. *The literary works of Leonardo da Vinci*, 3a ed. vol. II. Phaidon, 393-399.
- Tyler, C. 2019. «Evidence that Leonardo da Vinci had strabismus.» *Journal of American Medical Association (Ophthalmology)*, 137(1): 82-86.  
DOI: <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.3833>