

AUTODIDACTA

A Leonardo da Vinci le gustaba jactarse de que, como no había recibido una educación formal, tuvo que aprender de sus propias experiencias. Fue alrededor de 1490 cuando escribió su diatriba sobre su condición de «hombre sin letras» y «discípulo de la experiencia», con su ataque a los que citaban a los sabios de la Antigüedad en lugar de hacer observaciones por su propia cuenta. «Aunque yo no puedo citar a autores como ellos —proclamó casi con orgullo—, me basaré en algo mucho más grande y digno: en la experiencia.»¹ A lo largo de su vida, repetiría esta afirmación de preferir la experiencia sobre el saber recibido.² «Quien puede ir a la fuente no se conforma con la jarra», escribió. Esto lo distinguió del hombre del Renacimiento arquetípico, que abrazaba de forma acrítica el resurgir del conocimiento aportado por las obras redescubiertas de la Antigüedad.

Sin embargo, la formación que Leonardo adquirió en Milán comenzó a atenuar su desdén hacia la sabiduría transmitida. Podemos advertir un punto de inflexión a principios de la década de 1490, cuando se esforzó en aprender por su cuenta latín, el idioma de los antiguos y de los eruditos más importantes de su época. Copió página tras página de palabras y conjugaciones latinas de los libros de texto de su época, incluida una que había utilizado el hijo pequeño de Ludovico Sforza. Al parecer, no le resultó un ejercicio agradable; en medio de una hoja de cuaderno donde copió ciento treinta palabras, dibujó a su hombre de perfil de pájaro cascanueces frunciendo

el ceño y con una mueca más acentuada de lo normal (figura 52). Tampoco llegó a dominar el latín. En su mayor parte, sus cuadernos se encuentran llenos de notas y de transcripciones de obras disponibles en italiano.

En ese sentido, Leonardo nació en un momento afortunado. En 1452, Johannes Gutenberg comenzó a vender biblias salidas de su nueva imprenta, al mismo tiempo en que el reciclaje de trapos contribuía a aumentar la producción de papel. Cuando Leonardo entró de aprendiz en Florencia, la tecnología de Gutenberg había atravesado los Alpes y había llegado a Italia. Alberti expresó en 1466 su admiración por «el inventor alemán que, mediante la impresión de ciertos caracteres, permitió que en cien días se produjesen más de doscientos libros, escritos a partir de un original y con el trabajo de solo tres hombres». Un orfebre de una población cercana a la ciudad natal de Gutenberg, Maguncia, llamado Johannes de Spira (o Espira) se mudó a Venecia, donde fundó la primera gran editorial de Italia en 1469; imprimió muchos de los clásicos, comenzando con las cartas de Cicerón y la enciclopédica *Historia natural* de Plinio, que Leonardo compró. En 1471 ya había imprentas en Milán, Florencia, Nápoles, Bolonia, Ferrara, Padua y Génova. Venecia se convirtió en el centro de la industria editorial europea y, cuando Leonardo visitó la ciudad en 1500, había allí cerca de cien imprentas, de las que habían salido dos millones de volúmenes.³ Leonardo pudo así convertirse en el primer gran pensador europeo en adquirir conocimientos científicos en profundidad sin tener conocimientos formales de latín o de griego.

Sus cuadernos se encuentran llenos de listas de libros que adquirió y de pasajes que copió. A finales de la década de 1480, elabora una lista de los cinco libros que poseía: el de Plinio, ya mencionado, un manual de gramática latina, un texto sobre minerales y piedras preciosas, otro de aritmética y un poema épico burlesco, el *Morgante*, de Luigi Pulci, sobre las aventuras de un caballero y el gigante al que convirtió al cristianismo, que solía leerse y representarse en la corte de los Médicis. En 1492 Leonardo tenía ya cerca de cuarenta libros, que incluían, como prueba de su curiosidad universal, obras sobre maquinaria militar, agricultura, música, cirugía, salud, ciencia aristo-

télica, física árabe, quiromancia y las vidas de filósofos ilustres, así como la poesía de Ovidio y de Petrarca, las fábulas de Esopo, algunas antologías de versos obscenos o humorísticos y una opereta del siglo XIV de la que extrajo parte de su bestiario. En 1504 contaba con setenta libros más, incluidos cuarenta de ciencia, cerca de cincuenta de poesía y literatura, diez de arte y arquitectura, ocho de religión y tres de matemáticas.⁴

También anotó en varias ocasiones los libros que esperaba pedir prestados o adquirir. «El maestro Stefano Caponi, un médico, vive en la Piscina, y tiene un *Euclides*», anotó. «Los herederos del maestro Giovanni Ghiringallo tienen las obras de Pelacano.» «Vespucci me dará un libro de geometría.» Y, en una lista de tareas pendientes: «Un álgebra, propiedad de los Marliani, escrita por su padre [...]. Un libro, sobre Milán y sus iglesias, que puede adquirirse en el último librero que se encuentra yendo hacia Corduso». En cuanto descubrió la Universidad de Pavía, cerca de Milán, empezó a recurrir a ella: «Tratar de obtener el *Vitolone* que hay en la biblioteca de Pavía y versa sobre matemáticas». En la misma lista: «Un nieto de Gian Angelo, el pintor, tiene un libro sobre el agua que era de su padre [...]. Hacer que el fraile de Brera te enseñe el *De Ponderibus*». Su afán por absorber información de los libros era voraz y amplio.

Además, le gustaba consultar con la gente y por eso se dedicaba a acribillar a sus conocidos con el tipo de preguntas que todos deberíamos aprender a plantear más a menudo. «Pregunta Benedetto Portinari por qué medios corren sobre el hielo en Flandes», dice una entrada memorable y vívida en un listado de cosas por hacer. A lo largo de los años, hubo muchas más anotaciones parecidas: «Pregunta al maestro Antonio cómo se colocan los morteros en los bastiones de día o de noche [...]. Encuentra a un maestro de hidráulica y que te diga cómo se repara una acequia y cuánto cuesta la reparación de una esclusa, un canal y un molino a la lombarda. [...]. Pregunta a Giannino el bombardero cómo se hicieron las murallas de Ferrara sin aspilleras».⁵

Así, Leonardo se convirtió en discípulo tanto de la experiencia como del conocimiento transmitido. Más importante aún, llegó a ver que el progreso de la ciencia surgía de un diálogo entre ambas.

Eso, a su vez, lo ayudó a darse cuenta de que el saber también provenía de un diálogo relacionado: el que existe entre la teoría y la práctica.

LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA

La devoción de Leonardo hacia la experiencia directa iba más allá de la mera susceptibilidad ante su falta de cultura. También le llevó, al menos al principio, a minimizar el papel de la teoría. Como observador y experimentador por naturaleza, carecía de los conocimientos y de la preparación necesarios para enfrentarse a conceptos abstractos. Prefería la inducción a partir de los experimentos, en lugar de la deducción de principios teóricos. «[...] trato de consultar primero a la experiencia y, después, de mostrar con la razón por qué aquella se ve obligada a obrar de dicho modo», escribió. En otras palabras, intentaría mirar los hechos y, desde ellos, descubrir los patrones y las fuerzas naturales que hicieron que las cosas sucedieran. «Aunque la naturaleza empieza con la causa y termina en la experiencia, nosotros debemos seguir el curso opuesto, es decir, debemos empezar por la experiencia y, por medio de ella, investigar la causa.»⁶

Como en tantos otros asuntos, este enfoque empírico lo convirtió en un adelantado a su época. Los teólogos escolásticos de la Edad Media habían fusionado la ciencia aristotélica con el cristianismo para forjar un credo autorizado que apenas dejaba margen a la investigación escéptica o a la experimentación. Incluso los humanistas de principios del Renacimiento preferían repetir los conocimientos de los textos clásicos en lugar de ponerlos a prueba.

Leonardo rompió con esta tradición al basar su ciencia, sobre todo, en observaciones, en las que pretendía descubrir pautas, con el fin de comprobar después su validez mediante nuevas observaciones y experimentos. Escribió decenas de veces en sus cuadernos variaciones de la misma frase: «Esto puede probarse mediante un experimento», tras la que describía una demostración real de su idea. Anunciando lo que se convertiría en el método científico, llegó a afirmar que los experimentos deben repetirse y variarse para corroborar su vali-

dez: «Antes de basar una ley en un caso, se debe repetir la prueba dos o tres veces para comprobar si todas las pruebas producen los mismos efectos». ⁷

Contaba con la ayuda de su ingenio, que le permitió idear todo tipo de artilugios y de hábiles métodos para explorar los fenómenos. Por ejemplo, cuando, alrededor de 1510, estudiaba el corazón humano, se le ocurrió la hipótesis de que la sangre giraba en remolinos al ser bombeada por el corazón hacia la aorta y eso provocaba que las válvulas se cerraran de forma adecuada; luego ideó un dispositivo de vidrio que podía usar para confirmar su teoría con un experimento (véase el capítulo 27). La visualización y el dibujo se convirtieron en un componente importante de este proceso. No se sentía cómodo enfrentándose a la teoría, prefería lidiar con conocimientos que pudiera observar y dibujar.

Sin embargo, Leonardo no era solo discípulo de la experiencia. Sus cuadernos muestran una evolución. Cuando, en la década de 1490, comenzó a absorber conocimientos de los libros, se dio cuenta de la importancia de guiarse no solo por los datos empíricos, sino también por los marcos teóricos. Más importante aún, llegó a entender que los dos enfoques resultaban complementarios e iban de la mano. «Podemos ver en Leonardo un radical intento de evaluar de un modo adecuado la relación existente entre la teoría y la práctica experimental», escribió el físico del siglo xx Leopold Infeld. ⁸

Sus propuestas para el cimborrio de la catedral de Milán demuestran esta evolución. Para entender cómo enfrentarse a una catedral envejecida con defectos estructurales, los arquitectos tenían que comprender «la naturaleza del peso y el potencial de la fuerza», escribió Leonardo. En otras palabras, necesitan comprender las teorías de la física, pero también probar principios teóricos contra lo que realmente funciona en la práctica. «Me esforzaré —prometió a los administradores de la catedral—, en satisfacerlos en parte con la teoría y en parte con la práctica, a veces señalando efectos a partir de causas, a veces afirmando principios mediante experimentos.» Asimismo se comprometió, a pesar de su inicial aversión hacia el saber heredado, a «recurrir, si se terciara, a la autoridad de los arquitectos de la Antigüedad». En otras palabras, defendía nuestro método de combinar la

teoría, la experimentación y el conocimiento transmitido, de poner estos a prueba y de confrontarlos siempre. ⁹

Su estudio de la perspectiva a su vez le enseñó la importancia de combinar la experiencia con la teoría. Observó la forma en que los objetos se ven más pequeños a medida que se alejan. Sin embargo, también usó la geometría para desarrollar reglas con el fin de determinar la relación entre el tamaño y la distancia. Al describir en sus cuadernos las leyes de la perspectiva, señala que lo hace «ora deduciendo los efectos de las causas, ora razonando las causas a partir de los efectos». ¹⁰

Incluso mostró cierto desdén hacia los empíricos que confiaban en la práctica sin poseer conocimientos de las teorías subyacentes. «Los que, enamorados de la práctica, prescinden de la teoría son como el piloto que sube al barco sin timón, ni brújula, que nunca puede estar seguro de adónde se dirige», escribió en 1510. «La práctica debe basarse siempre en una sólida teoría.» ¹¹

Por todo lo expuesto, Leonardo se convirtió en uno de los principales pensadores europeos, más de un siglo antes de Galileo, en buscar de manera constante el diálogo entre el experimento y la teoría que conduciría a la revolución científica. Aristóteles, en la antigua Grecia, había sentado las bases del método que combinaba la inducción con la deducción: recurrir a observaciones para formular principios generales y, después, utilizar estos para predecir resultados. Mientras Europa permaneció sumida en la oscuridad y la superstición medievales durante siglos, la combinación de teoría y experimentación se desarrolló sobre todo en el mundo islámico. Los científicos árabes solían trabajar también como fabricantes de instrumentos científicos, lo que los convertía en expertos en mediciones y en la aplicación de teorías. El físico Ibn al-Haytam, conocido como Alhacén, escribió un texto fundamental sobre óptica en 1021 que combinaba observaciones y experimentos para desarrollar una teoría del funcionamiento de la vista humana, y más adelante añadió otros experimentos para probarla. Sus ideas y métodos se convirtieron en la base de los trabajos de Alberti y Leonardo cuatro siglos después. Mientras tanto, eruditos como Robert Grosseteste y Roger Bacon revivieron la ciencia aristotélica en Europa durante el siglo XIII. El método em-

pírico utilizado por Bacon subrayaba la importancia de seguir un ciclo: las observaciones tenían que conducir a hipótesis, que luego debían probarse mediante experimentos precisos, que a su vez servirían para perfeccionar la hipótesis original. Bacon también anotó sus experimentos e informó de estos con toda exactitud para que otros pudieran reproducirlos y verificarlos de manera independiente.

Leonardo tenía el ojo, el temperamento y la curiosidad para convertirse en un ejemplo de este método científico. «Se suele considerar a Galileo, nacido ciento doce años después de Leonardo, el primero en desarrollar este tipo de empirismo riguroso y, a menudo, es aclamado como el padre de la ciencia moderna —escribió el historiador Fritjof Capra—. No cabe ninguna duda de que tal honor habría correspondido a Leonardo da Vinci si este hubiera publicado sus escritos científicos en vida o si sus cuadernos hubieran sido ampliamente divulgados poco después de su muerte.»¹²

Creo que eso es ir demasiado lejos. Leonardo no inventó el método científico, ni tampoco Aristóteles, ni Alhacén, ni Galileo ni Roger (o Francis) Bacon. Sin embargo, sus asombrosas habilidades para entablar un diálogo entre la experiencia y la teoría lo convirtieron en un excelente ejemplo de cómo las observaciones agudas, la curiosidad obsesiva, la experimentación, el afán de cuestionar los dogmas y la capacidad de discernir patrones en distintas disciplinas pueden conseguir que el conocimiento humano pueda dar grandes saltos.

PATRONES Y ANALOGÍAS

En lugar de poseer herramientas matemáticas abstractas para deducir leyes teóricas de la naturaleza, como más tarde harían Copérnico y Galileo y Newton, Leonardo se basó en un método más rudimentario: veía pautas o patrones en la naturaleza y teorizaba estableciendo analogías. Gracias a sus agudas dotes de observador en múltiples disciplinas, podía ver las recurrencias. Como señaló el filósofo Michel Foucault, la «protociencia» de la época de Leonardo se basaba en la similitud y en la analogía.¹³

Debido a su intuición de la unidad de la naturaleza, su mente, su ojo y su pluma se lanzaron a detectar relaciones saltando de una disciplina a otra. «Esta búsqueda constante de formas básicas, recurrentes y orgánicas suponía que, cuando miraba un corazón como un fruto rodeado de una red de venas, veía, y dibujaba a su lado, los brotes que germinan de una semilla —escribió Adam Gopnik—. Al estudiar los rizos de la cabeza de una bella mujer, pensaba en el movimiento circular de un remolino de agua.»¹⁴ Su dibujo de un feto en el útero pone de manifiesto su parecido con una semilla dentro de la cáscara.

Al inventar instrumentos musicales, Leonardo estableció una comparación entre el funcionamiento de la laringe y el *glissando* de una flauta. Al participar en el concurso de proyectos para el *tiburio* de la catedral de Milán, fijó una correspondencia entre arquitectos y médicos que reflejaba la analogía fundamental de su arte y su ciencia: la que existe entre el mundo físico y la anatomía humana. Al diseccionar una extremidad y dibujar sus músculos y tendones, trazaba asimismo cuerdas y palancas.

Vimos un ejemplo de este análisis basado en pautas y patrones en la «hoja temática», en la que se disponía una relación de semejanza entre las ramas de un árbol y las arterias de un ser humano, que Leonardo también aplicaba a los ríos y sus afluentes. «La suma de todas las ramas de un árbol en cada una de sus distintas alturas resulta igual al grosor del tronco principal —escribió en otro lugar—. La suma de las ramificaciones de un curso de agua en cada uno de sus puntos, si fluyen con la misma rapidez, es igual al caudal de la corriente principal.»¹⁵ Esta conclusión todavía se conoce como «regla de Da Vinci» y se ha demostrado cierta siempre que las ramas no sean muy grandes: la suma de las áreas transversales de todas las ramas en un determinado punto de ramificación equivale al área transversal del tronco o de la rama madre.¹⁶

Otra analogía que hizo fue comparar la forma en que la luz, el sonido, el magnetismo y las reverberaciones causadas por un golpe de martillo se propagan siguiendo un patrón concéntrico, en general en forma de ondas. En uno de sus cuadernos realizó una serie de pequeños dibujos puestos en columna para indicar cómo se expande cada campo de fuerza. Incluso ilustró lo que sucedía cuando cada tipo de

onda chocaba con un orificio en la pared; prefigurando los estudios que realizaría el físico neerlandés Christiaan Huygens al cabo de casi dos siglos, representó la difracción que se produce cuando las ondas atraviesan la abertura.¹⁷ La mecánica de ondas constituyó para Leonardo una simple curiosidad pasajera, pero incluso en ella su genio parece asombroso.

Las correlaciones que Leonardo establecía entre distintas disciplinas le servían para orientar sus investigaciones. La comparación entre los remolinos de agua y las turbulencias del aire, por ejemplo, le proporcionó el marco para estudiar el vuelo de las aves. «Con el fin de exponer la verdadera ciencia del vuelo de las aves en el aire —escribió—, tenemos que tratar primero de la ciencia de los vientos, que probaremos por el movimiento de las aguas.»¹⁸ Aun así, los patrones que discernía eran más que simples guías útiles para el estudio. Los consideraba revelaciones de verdades esenciales, manifestaciones de la hermosa unidad de la naturaleza.

CURIOSIDAD Y OBSERVACIÓN

Además de su instinto a la hora de discernir patrones combinando toda clase de disciplinas, Leonardo aguzó otras dos características de su personalidad que le fueron útiles en sus actividades científicas: una omnívora curiosidad, que rayaba en el fanatismo, y unas agudas dotes de observación, de una intensidad pasmosa. Como suele pasar con Leonardo, ambas se encontraban relacionadas. Cualquier persona que incluya «Describe la lengua del pájaro carpintero» en su lista de tareas pendientes abunda mucho en la combinación de curiosidad y agudeza.

Su curiosidad, como la de Einstein, a menudo se refería a fenómenos que la mayoría de individuos de más de diez años ya ni se plantean: ¿por qué el cielo es azul? ¿Cómo se forman las nubes? ¿Por qué nuestros ojos solo ven en línea recta? ¿Qué es bostezar? Einstein afirmó que le asombraban cuestiones que a los demás les parecían triviales porque de niño tardó en aprender a hablar. En el caso de Leonardo, su talento quizá estuviera relacionado con una infancia en

la que pudo cultivar el amor a la naturaleza sin excesivas intromisiones de las enseñanzas formales.

Otros temas que despertaron su curiosidad y que anotó en sus cuadernos resultan más ambiciosos y exigen tener instinto para la investigación empírica. «¿Qué nervio hace que los ojos se muevan de tal forma que el movimiento de uno se transmita al otro?» «Describe el principio del ser humano cuando está en el útero.»¹⁹ Y, además del pájaro carpintero, menciona «la mandíbula del cocodrilo» y «la placenta del ternero» como cosas que quiere describir. Estas investigaciones suponen mucho trabajo.²⁰

Su curiosidad contaba con la ayuda de una mirada agudísima, que se fijaba en cosas que los demás pasamos por alto. Una noche vio relámpagos detrás de unos edificios, que en ese preciso instante le dieron la impresión de ser más pequeños, por lo que llevó a cabo una serie de experimentos y de observaciones controladas para verificar que los objetos parecían más pequeños cuando se hallaban rodeados de luz y más grandes cuando los envolvía la niebla o la oscuridad.²¹ Al mirar objetos con un ojo cerrado, se dio cuenta de que parecían menos redondos que cuando los contemplaba con ambos ojos, de modo que se puso a investigar el porqué.²²

Kenneth Clark se refirió al «ojo de agudeza inhumana» de Leonardo. Constituye una expresión atractiva pero engañosa. Leonardo era humano. La agudeza de sus dotes de observación no se apoyaba en un superpoder, sino que respondía al fruto de su esfuerzo. Eso resulta importante, porque significa que, si queremos, podemos no solo asombrarnos con Leonardo, sino también tratar de aprender de él esforzándonos por mirar todo poniendo más curiosidad y atención.

En un cuaderno, Leonardo describió su método —como una especie de truco— para observar de cerca una escena u objeto: examinar cada detalle detenida y separadamente. Lo comparó con mirar la página de un libro, que, vista en su conjunto, carece de sentido, por lo que es preciso ir leyendo palabra por palabra. La observación atenta debe hacerse por etapas: «Si desean conocer las formas de las cosas, empiecen por sus detalles y no pasen al segundo hasta que hayan fijado el primero en la memoria».²³

Otro truco que recomendó para «ejercitar el ojo» en la observa-

ción consistía en jugar con los amigos a lo siguiente: uno dibuja una línea en una pared y los demás se colocan a cierta distancia e intentan cortar una paja de la longitud exacta de la línea: «Gana el que se haya acercado más a la medida del dibujo original».²⁴

El ojo de Leonardo era muy agudo cuando trataba de observar el movimiento. «La libélula vuela con cuatro alas, y, cuando se elevan las dos de delante, bajan las de detrás», descubrió. Imagine el lector el esfuerzo que tuvo que hacer para contemplar una libélula con la suficiente atención como para darse cuenta de eso. En su cuaderno anotó que el mejor lugar para observar libélulas era junto al foso que rodeaba el Castello Sforzesco.²⁵ Parémonos por un momento a mirar asombrados a Leonardo, que sale al atardecer, vestido, sin duda, con impecable elegancia, para detenerse junto a un foso a examinar con suma atención el movimiento de cada una de las cuatro alas de una libélula.

Su entusiasmo por observar el movimiento lo ayudó a superar la dificultad de plasmarlo en la pintura. Existe una paradoja, que se remonta a Zenón de Elea (siglo v a. C.), que señala la aparente contradicción entre el hecho de que un objeto se mueva y que, al mismo tiempo, se encuentre en un lugar preciso en un momento dado. Leonardo se enfrentó al reto de representar un momento suspendido que contuviera el pasado y el futuro de aquel.

Comparó un instante de movimiento detenido con el concepto geométrico de punto. Este último carece de longitud y anchura. Sin embargo, al desplazarse, genera una línea. «El punto no posee dimensiones; la línea es la longitud generada por el movimiento del punto.» Usando su método de teorizar mediante la analogía, escribió: «En el instante no hay tiempo; el tiempo es el movimiento generado por el instante».²⁶

Guiado por esta analogía, Leonardo buscó congelar en su arte la acción a la vez que reproducir el movimiento. «El agua que tocas del río es la última que ha pasado y la primera que viene —observó—. Sucede lo mismo con el presente.» Volvió a este tema de forma continuada en sus cuadernos. «Observa la luz —instruyó—. Abre el ojo

y vuelve a mirar. Lo que ves no estaba antes, y lo que estaba antes ya no existe.»²⁷

La habilidad de Leonardo para examinar el movimiento quedó plasmada en su arte gracias al trazo de su pincel. Además, mientras trabajaba en la corte de los Sforza, comenzó a canalizar su fascinación por el movimiento hacia los estudios científicos y de ingeniería, en especial sus investigaciones sobre el vuelo de las aves y sobre las máquinas que permitiesen al hombre volar.

cido por ellos debido a su papel de sustitutos del padre varonil, a menudo ausente, de su infancia. Una explicación más simple sería que Leonardo, recién cumplidos los cincuenta años, había soñado durante más de dos décadas con ser ingeniero militar. Como decía el agente de Isabel de Este, estaba harto de pintar. César Borgia acababa de cumplir veintiséis años y combinaba la valentía con la elegancia. «Este señor resulta en verdad espléndido y magnífico, y no existe en la guerra empresa tan grande que a él no le parezca pequeña», escribió Maquiavelo después de conocerlo.²³ Indiferente a la cambiante política italiana, pero cautivado por la ingeniería militar y por los hombres fuertes, Leonardo tuvo la oportunidad de vivir sus fantasías militares, y así lo hizo hasta que se dio cuenta de que podrían convertirse en pesadillas.

Ingeniero hidráulico

LA DESVIACIÓN DEL CURSO DEL ARNO

En su solicitud de empleo a Ludovico Sforza, Leonardo se había jactado de su talento para «la conducción del agua de un sitio a otro». Eso constituía, en el mejor de los casos, una exageración. Cuando llegó por primera vez a Milán, en 1482, no había realizado ninguna obra de ingeniería hidráulica; pero, al igual que muchas de sus imaginarias aspiraciones, se empeñó en que esta se hiciera realidad. Durante sus años en Milán, estudió con esmero el sistema de canales de la ciudad y anotó en sus cuadernos los detalles de los mecanismos de las esclusas y otros elementos relevantes de la ingeniería hidráulica. Sentía una particular fascinación por los canales artificiales de la ciudad, incluido el Naviglio Grande, cuya construcción había comenzado en el siglo XII, y el Naviglio Martesana, que aún se encontraba inacabado durante la estancia de Leonardo.¹

Durante siglos, incluso antes de que los romanos construyeran sus famosos acueductos en el valle del Po alrededor del año 200 a. C., se habían realizado obras hidráulicas en Milán. Las aguas procedentes del deshielo primaveral de la nieve de los Alpes se gestionaban con cuidado siguiendo métodos ideados por las antiguas tribus para inundar de forma regulada los campos de cereales. Se crearon redes de regadío y se establecieron canales para encauzar el agua y para facilitar el transporte mediante barcazas. Cuando Leonardo se instaló en Milán, el sistema de grandes canales ya tenía tres siglos de antigüedad y gran parte de los ingresos del ducado procedían de la

asignación de cuotas de agua. El propio Leonardo fue compensado en un momento con una de ellas y su proyecto de una ciudad ideal situada cerca de Milán se basaba en el uso de canales y acequias artificiales.²

En Florencia, por el contrario, no se habían realizado grandes obras hidráulicas desde la Antigüedad. La ciudad tenía pocos canales, proyectos de drenaje, sistemas de riego o desvíos de ríos. Leonardo, con los conocimientos que había adquirido en Milán, sumados a su fascinación por los cursos de agua, se dispuso a cambiar esa situación. En sus cuadernos, comenzó a esbozar sistemas con los que Florencia pudiera imitar a Milán.

Florencia había dominado la ciudad de Pisa, situada a unos setenta kilómetros siguiendo el curso del río Arno hacia el Mediterráneo, durante gran parte del siglo xv. Poseía una enorme importancia para Florencia, que carecía de otra salida al mar. Sin embargo, en 1494, Pisa logró escabullirse y se convirtió en una república libre. El mediocre ejército de Florencia era incapaz tanto de romper las defensas de Pisa como de bloquear con éxito la ciudad, porque el Arno permitía a esta última aprovisionarse por vía marítima.

Justo antes de que Pisa se emancipara, un importante acontecimiento mundial hizo que Florencia ansiara aún más disponer de una salida al mar. En marzo de 1493, Cristóbal Colón regresó sano y salvo de su primera travesía del Atlántico y la noticia de sus descubrimientos circuló con rapidez por toda Europa. Se desencadenó entonces un torrente de relatos de increíbles exploraciones. Américo Vesputio, cuyo primo Agostino trabajaba con Maquiavelo en la cancillería florentina, ayudó a abastecer las naves del tercer viaje de Colón en 1498 y, al año siguiente, realizó su propia travesía del Atlántico y desembarcó en el actual Brasil. A diferencia de Colón, que creía que había encontrado una nueva ruta a la India, Vesputio informó correctamente a sus clientes florentinos de que había «llegado a una nueva tierra que, por muchas razones [...], constatamos que era un continente». Su acertada deducción llevó a que el continente pasara a llamarse América en su honor. El entusiasmo por lo que se anunciaba

como una nueva era de exploraciones hizo que el deseo de Florencia de recuperar Pisa resultara aún más apremiante.³

En julio de 1503, pocos meses después de dejar de estar al servicio de César Borgia, Leonardo fue enviado, para que se incorporara a él, al ejército de Florencia en la fortaleza de Verruca, una fortificación de planta cuadrada que se encontraba en lo alto de una peña (*verruca*, «verruga» en italiano) y que dominaba el Arno, a diez kilómetros al este de Pisa.⁴ «Leonardo da Vinci vino en persona con sus compañeros y se lo mostramos todo, y creemos que le gusta mucho La Verruca —informó un mariscal de campo a las autoridades florentinas, que añadió—: Dijo que estaba pensando en hacer que fuera inexpugnable.»⁵ Una entrada en un libro de contabilidad de Florencia del mismo mes enumera una serie de gastos y, después, agrega: «Gastados en seis carruajes de caballos y vituallas para ir con Leonardo da Vinci a territorio de Pisa a desviar el Arno y apartarlo de su cauce».⁶

¿Desviar el Arno y apartarlo de su cauce? Se trataba de una forma audaz de reconquistar la ciudad sin asaltar sus muros, ni empuñar las armas. Si se pudiera desviar el río, Pisa perdería su acceso al mar y su fuente de abastecimiento. Entre los principales defensores de la idea se encontraban dos astutos amigos que habían pasado el invierno anterior juntos, encerrados en Imola: Leonardo da Vinci y Nicolás Maquiavelo.

«Al río que se va a desviar de un cauce a otro hay que mimarlo y no tratarlo con brusquedad ni violencia», escribió Leonardo en su cuaderno. Su plan consistía en excavar un canal enorme, de diez metros de profundidad, río arriba de Pisa, y desviar el agua del río hacia dicho canal mediante presas. «Para ello, hay que construir una especie de presa en el río, después otra río abajo que sobresalga, y luego, del mismo tenor, una tercera, una cuarta y una quinta presas, de modo que las aguas del río vayan a parar al canal construido con este fin.»⁷

Eso suponía desplazar un millón de toneladas de tierra y Leonardo calculó las horas por hombre necesarias con un detallado estudio de tiempos y de movimientos, uno de los primeros en la historia. Lo calculó todo, desde el peso de una palada de tierra (doce kilos) hasta la cantidad de paladas que llenarían una carretilla (veinte). El resultado fue que harían falta, aproximadamente, 1,3 millones de horas por

hombre, o sea, quinientos cuarenta hombres trabajando cien días para excavar el canal de desvío del Arno.

Al principio Leonardo analizó varias formas de usar carretillas con ruedas para retirar la tierra y explicó por qué las de tres ruedas rendían más que las de cuatro. Sin embargo, se dio cuenta de que resultaría muy difícil subir por la pendiente de la zanja con las carretillas, así que diseñó una de sus ingeniosas máquinas (figura 92), con dos brazos a modo de grúa capaces de arrastrar veinticuatro cubos puestos en fila. Cuando uno de estos depositara la tierra en lo alto de la zanja, un operario se metería dentro y bajaría hasta el fondo de la acequia para mantener el contrapeso. Leonardo también diseñó una grúa de rueda para aprovechar la fuerza del hombre para mover las grúas.⁸

Cuando comenzó la excavación del canal de desvío, en agosto de 1504, la supervisó un nuevo ingeniero de obras hidráulicas, que revisó los planes de Leonardo y que decidió no construir la máquina para remover la tierra. En lugar de una sola acequia, o canal, de gran profundidad, como la que había diseñado Leonardo, el nuevo ingeniero se decantó por excavar dos y hacerlas menos profundas que el lecho del Arno, algo que Leonardo sabía que no funcionaría. De hecho, al final, las acequias solo llegaron a tener poco más de cuatro metros de profundidad, en lugar de los diez que Leonardo había especificado. Después de consultar a Leonardo en Florencia, Maquiavelo escribió una advertencia contundente al ingeniero: «Tememos que la base de la acequia sea menos profunda que el lecho del Arno, lo que tendría efectos perjudiciales y, en nuestra opinión, no encauzaría el proyecto hacia el fin deseado».

Hicieron caso omiso de la advertencia, que resultó fundada. Cuando se abrió el canal del Arno, el ayudante de Maquiavelo que presencié la escena escribió: «Las aguas no entraban en las acequias, salvo cuando el río venía crecido, y, en cuanto disminuía el caudal, el agua pasaba de las acequias al río». Al cabo de unas semanas, a principios de octubre, un violento temporal hundió los muros de las acequias y provocó la inundación de las granjas vecinas, pero sin desviar el Arno de su curso. El proyecto fue abandonado.⁹

Aunque fracasara, el proyecto de desvío del Arno reavivó el interés de Leonardo por un plan más ambicioso: la construcción de un

canal navegable entre Florencia y el Mediterráneo. Cerca de Florencia, el Arno solía estar casi colmatado y, además, formaba una serie de cascadas y rápidos que impedían el paso de los barcos. La solución de Leonardo consistía en evitar esa parte del río con un canal. «Las esclusas deben hacerse en el valle de Chiana en Arezzo, de modo que, en verano, cuando al Arno le falte agua, el canal no se quede seco —escribió, y precisó—: Que este canal tenga veinte brazas [doce metros] de ancho.» El plan impulsaría la industria y la agricultura de la región circundante, según Leonardo, por lo que parecía probable que otras ciudades contribuyeran a su financiación.¹⁰

Leonardo dibujó una serie de planos en 1504 que indican cómo funcionaría el canal. Uno de ellos, hecho con pincel y tinta, está punzonado, lo que revela que hizo copias.¹¹ Otro, pintado con colores delicados con detalles fascinantes de pueblos y de fortificaciones, muestra su proyecto de convertir las marismas del valle de Chiana en un embalse (figura 93).¹² El desastre del proyecto de desvío del Arno debió de disuadir a los dirigentes florentinos, siempre escasos de recursos, de intentar algo aún más ambicioso, por lo que las propuestas de canales de Leonardo quedaron aparcadas.

EL DRENAJE DE LAS MARISMAS DE PIOMBINO

El fracaso de estos proyectos no consiguió que Leonardo abandonara de forma inmediata la ingeniería hidráulica, algo que tampoco pretendían sus patronos. A finales de octubre de 1504, pocas semanas después de que se dejara de lado el desvío del Arno, las autoridades florentinas lo enviaron, a petición de Maquiavelo, a asesorar técnicamente al gobernante de Piombino, una ciudad portuaria situada a unos cien kilómetros al sur de Pisa cuya alianza Florencia buscaba. Leonardo había estado en Piombino dos años antes, mientras se hallaba al servicio de César Borgia, y había estudiado las fortificaciones y había buscado la forma de drenar las marismas que la rodeaban. En su segunda visita, pasó dos meses proyectando una serie de fortificaciones, fosos y pasadizos secretos que podían usarse si el gobernante era traicionado, «como sucedió en Fossombrone»,

en referencia al asedio mediante engaño de la ciudad por parte de César Borgia.

El elemento clave del diseño de Leonardo se traducía en una fortaleza circular. En su interior había tres anillos de murallas, con espacios entre ellos que podían inundarse y convertirse en fosos en caso de ataque. Leonardo había estudiado la fuerza ejercida por los objetos al golpear un muro en ángulos distintos y sabía que la potencia del ataque disminuía a medida que el ángulo se hacía más oblicuo. Los muros redondeados, y no rectos, parecían más adecuados para neutralizar el impacto de las balas de cañón. «Fue la concepción más extraordinaria de Leonardo en el campo de la ingeniería militar y representó un replanteamiento total de los principios de la fortificación —escribió Martin Kemp—. En ninguna parte se combinan de forma más brillante los principios teóricos de Leonardo, su sentido de la forma y su aguda observación que en los diseños de fortalezas circulares.»¹³

El desafío hidráulico de Leonardo en Piombino pasaba por el drenaje de las marismas que rodeaban el castillo. Su primera idea fue desviar un poco del agua cenagosa del río hacia el pantano, para que, al depositarse el limo, la tierra y los guijarros se acabaran colmatando, de manera parecida a lo que hoy se intenta hacer con los pantanos del sur de Luisiana. Las aguas superficiales, libres de sedimentos, se drenarían mediante canales poco profundos, lo que facilitaría la entrada de más agua fangosa.

Después se le ocurrió otro método mucho más ambicioso. A primera vista, su plan puede resultar irrealizable, pero, como muchas de sus fantasías, la concepción básica, aunque se anticipara a su época, era buena. Basándose en su amor por los torbellinos y los remolinos de agua, esbozó un proyecto de «bomba centrífuga» ubicada en el mar en las inmediaciones del pantano. La idea consistía en agitar el agua marina con un movimiento circular, con el fin de generar un remolino artificial. A continuación, mediante un sistema de tuberías, se extraería el agua de las marismas aprovechando la succión del remolino artificial —cuyo vórtice se encontraría por debajo del nivel del pantano— para conseguir un efecto sifón. En dos cuadernos separados, Leonardo describió y dibujó un «método para secar los pantanos

que se encuentran junto al mar». El remolino artificial en el mar se crearía mediante una «tabla que se hace girar por medio de un eje» y «el sifón expulsaría el agua en la parte trasera de la tabla giratoria». Sus dibujos son extremadamente detallados y hasta incluyen la anchura y la velocidad necesarias para generar el remolino artificial.¹⁴ Aunque no pudiera llevarse a la práctica, la teoría parecía correcta.

Tal como acostumbraba, Leonardo también anotó algunos comentarios sobre el color y la pintura mientras se encontraba en Piombino observando con atención el modo en que la luz del sol y la reflejada por el mar coloreaban el casco de un barco: «Vi las sombras verdosas proyectadas por las jarcias, el mástil y los palos en una pared blanca al iluminarla el sol. La superficie de la pared donde no daba el sol se tiñó del color del mar».¹⁵

Los proyectos del Arno, de la fortaleza circular y del drenaje de las marismas de Piombino tenían un elemento en común con muchos de los diseños más imponentes de Leonardo, e incluso con algunos de los que lo eran menos: nunca llegaron a buen término. En ellos reconocemos al Leonardo más fantasioso, al que traza planes que rozan, tanto por dentro como por fuera, los límites de lo posible. Al igual que la realización de sus máquinas voladoras, resultaban demasiado quiméricos para poder ser llevados a la práctica.

En general, esta incapacidad para anclar sus fantasías en la realidad ha sido considerada como una de las principales deficiencias de Leonardo. Sin embargo, para convertirse en un auténtico visionario, uno debe estar dispuesto a ir más allá y fracasar. La innovación requiere un margen de distorsión de la realidad. Lo que Leonardo imaginó para el futuro acabó ocurriendo en muchos casos, aunque para ello tuvieran que pasar siglos. Los trajes de buceo, las máquinas voladoras y los helicópteros existen hoy y drenamos los pantanos con bombas de succión. Siguiendo la ruta del canal que Leonardo proyectó, ahora discurre una autovía. A veces las fantasías son caminos que conducen a la realidad.