
GABRIEL ALVIAL

Profesor de la Universidad de Chile

Leonardo y la Mecánica

Si se preguntase cuál es la posición de Leonardo de Vinci en la Mecánica, creemos aproximarnos a su pensamiento al plantear las tres proposiciones siguientes:

Leonardo es un precursor de la mecánica galileana.

Leonardo no es un empirista mecánico.

Leonardo es un geómetra, y como tal, toda su concepción mecánica del Universo está basada en la igualdad, la razón y la proporción.

La primera proposición implica, especialmente, un análisis de la posición histórica del pensamiento mecánico del genio italiano; la segunda, es una afirmación que corresponde a su actitud mental frente a la naturaleza; y la última corresponde a establecer cuáles son los esquemas con que juzga el mundo que lo rodea, o, en otras palabras, cuál es su criterio para medir el mundo mecánico.

Para comprender a Leonardo como precursor, es necesario revisar el pensamiento científico desde Aristóteles a Newton y analizar su posición en relación con los principios de la mecánica moderna.

Actualmente, la mecánica es un cuerpo matemático, un esquema teórico totalmente sistematizado y perfecto y que, partiendo de principios generales, explica en forma lógica, coherente y total los más diversos fenómenos del macrocosmos.

Dichos principios generales quedaron claramente enunciados sólo después de los tra-

bajos de Newton y con la contribución notable de los esfuerzos de Stevin y Galileo.

Podemos enunciarlos en forma elemental de la manera siguiente:

Primer principio.—Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, mientras una fuerza que actúe sobre él no lo obligue a cambiar de estado.

En otras palabras, un cuerpo que está sometido a un sistema de fuerzas de equilibrio o no está sometido a fuerza alguna, sólo tiene dos posibilidades dinámicas: o estar en reposo, o estar en movimiento uniforme y rectilíneo.

Segundo principio.—La variación del movimiento es proporcional a la acción de la fuerza motriz y se produce según la dirección de la recta en la que actúa la fuerza.

De otra manera, si se aplican sucesivamente fuerzas sobre un mismo cuerpo, las aceleraciones que adquiere este cuerpo son proporcionales a dichas fuerzas. A mayor aceleración corresponde mayor fuerza.

Tercer principio.—La acción es siempre igual a la reacción, o las acciones mutuas entre dos cuerpos son siempre iguales y de sentidos opuestos.

Partiendo de estos tres principios, se logra construir toda una sistemática que abarca la totalidad de los fenómenos del macrocosmos, o, como se dice en nuestros días, que explica en forma clásica los fenómenos mecánicos de la naturaleza.

Sin embargo, la enunciación sencilla de dichos postulados ha costado más de dos mil años de consideraciones sobre lo mecánico.

Al estudiar las fuentes originales de Leonardo, se encuentra en ellas los elementos de dichos principios, y en algunos casos, como sucede con el principio de acción y reacción y el de inercia, los principios mismos.

Decir, pues, que Leonardo es precursor de la mecánica, de esta ciencia llamada mecánica newtoniana, significa que su aporte a los principios enunciados es considerable y significativo. Desde este punto de vista, Leonardo es un precursor.

De Aristóteles a Galileo ha existido una unión, un paso entre estas concepciones totalmente opuestas, que está justamente representado por Leonardo de Vinci.

Más de mil quinientos años de discusiones aristotélicas, evidentemente influyeron sobre las concepciones vicianas. Por otro lado, la fuerte tendencia de Leonardo a geometrizar el universo mecánico lo conduce a una lucha inmensa entre lo aristotélico y lo galileano. Es precisamente esta incertidumbre la que se refleja en sus escritos. A veces plantea clara, lógica y coherentemente las cuestiones mecánicas. En otras, establece condiciones totalmente contradictorias y, sin embargo, sus aplicaciones y conclusiones son correctas; y en no pocas, como sucede con el segundo principio, establece su pensamiento mecánico correctamente desde el punto de vista de Galileo; pero, al generalizarlo o ratificarlo con nuevas proposiciones, cae simplemente en las ideas de Aristóteles.

¿Cuál es, entonces, la contribución de Leonardo?

Para comprenderla, permítaseme comparar brevemente las mecánicas aristotélica y galileana.

Para Aristóteles, los cuerpos que él llama corruptibles (sujetos a accidentes o cambios) tienden a perder el movimiento comenzado por ellos, en la misma forma en que tienden a perder el calor recibido, a menos que sobre ellos actúe una causa externa.

Al contrario, para Galileo, y tal como lo

hemos enunciado en el primer principio, los cuerpos tienden a conservar el movimiento recibido, y no pueden modificarlo ni en magnitud ni en dirección sin que sobre ellos intervenga una causa externa.

En la mecánica aristotélica, para mantener un cuerpo en movimiento se necesita la acción continua de una fuerza, mientras la mecánica galileana nos dice que un cuerpo se mantiene en movimiento por sí mismo y que cualquier acción que ejerza una fuerza externa sobre el cuerpo en movimiento hará variar al movimiento persistente.

¿Cómo explicaba entonces Aristóteles el movimiento de un cuerpo lanzado por el aire?

Puesto que, según él, dicho cuerpo no puede moverse por sí mismo (separación de la causa motriz del cuerpo, o, como lo enunciaba Leonardo *separazione del motore dal moto*), es necesario introducir una causa motriz que substituya a la causa primaria que movió al cuerpo. Y esta causa motriz es el aire, que cerrando el vacío dejado por dicho cuerpo, lo impulsa hacia adelante. En especial, en los cuerpos que caen, les comunica en cada instante un aumento de velocidad.

Para Galileo y para nosotros, en cambio, el aire obstaculiza la caída de los cuerpos en lugar de favorecerla.

Para Aristóteles, la velocidad con que caen los cuerpos es directamente proporcional al peso de ellos, mientras que para Galileo todos los cuerpos caen con la misma velocidad.

Un último punto fundamental, es que en la doctrina peripatética la velocidad de caída es directamente proporcional al espacio recorrido. Para Galileo y para nosotros, la velocidad de caída es directamente proporcional al tiempo transcurrido en caer.

Vemos, pues, que la concepción aristotélica de la mecánica es diametralmente opuesta a la concepción galileana. Entre esa y esta última, el paso natural, sin negar la contribución de los escolásticos, está representado por Leonardo de Vinci.

Siempre se dio una importancia fundamental a la ley que siguen los cuerpos al caer libremente. Hemos dicho ya que para Aristóteles caen más rápidamente los cuerpos más pesados.

Sólo la escuela atomística (Demócrito, Epicuro) afirmaba que los graves en el vacío caen todos con la misma velocidad independientemente de su peso, y un agudo comentarista de Aristóteles, Juan de Alejandría, conocido como Piloponos, opinaba que la gravedad es una cualidad intrínseca de los cuerpos, "existente en sí", a causa de la caída hacia abajo. La resistencia del medio retarda tal caída y a medida que el medio se rarifica, la resistencia se hace más pequeña, y la velocidad en el vacío, en lugar de llegar a ser infinita, como requería Aristóteles, tiende a un valor finito.

Aseguraba, además, que en el movimiento violento (esto es, en los lanzamientos verticales hacia arriba o inclinados) una cierta potencia incorpórea es cedida del motor al móvil. El aire ni sostiene ni conserva el movimiento; por el contrario, tiende a impedirlo. Este bosquejo es la primera contribución a la teoría del impulso y al primer principio de la dinámica.

La escuela parisiense, con Jean Buridan, Albert de Saxe, o Albertuccio de Pacioli, y Nicole Oresme, todos de mediados del siglo XIV, toma las ideas de los atomistas. Opinan que el motor imprime al móvil un cierto impulso que lo mueve en una dirección y con una determinada velocidad; el impulso es proporcional a la velocidad del motor y a la cantidad de materia a la que se le aplica. Este concepto de impulso de los maestros parisienses corresponde al moderno concepto de impulso.

Afirman además: un grave que cae adquiere un cierto impulso que se suma a la gravedad y por esto el movimiento se acelera. De este modo, los cuerpos celestes fueron inicialmente movidos por un impulso que conservaron al no encontrar resistencia, y su movimiento sigue uniforme y continuo.

En especial, Albert de Saxe introduce el

estudio del movimiento uniformemente variado.

Debemos detenernos también especialmente en Giordano Nemorario y recalcar su contribución fundamental al desarrollo de la mecánica.

Poco se sabe del origen de Nemorario; una hipótesis, tal vez la más plausible, es la que sustenta Boncompagni y que identifica a Giordano Nemorario con Giordano de Sajonia, general de los dominicanos en 1221 y muerto en 1236.

La contribución más notable de Nemorario es la solución del problema que él presentó con el nombre de *gravitas secundum situm*, esto es, "gravedad relativa" al sitio que ocupa un cuerpo.

Casi durante un milenio y medio se observó y se discutió el problema de la caída libre de un cuerpo. Un grave dejado libremente en el espacio cae según la vertical. Para Aristóteles, la velocidad con que caen los cuerpos es proporcional a su peso; para los atomistas y para la escuela parisiense, todos caen con la misma velocidad en el vacío; mientras para Albert de Saxe la velocidad final es proporcional al espacio recorrido, para Leonardo es proporcional al tiempo transcurrido, tal como lo aceptamos hoy día.

¿Cuál es, pues, el criterio que vendrá a conciliar y a resolver en definitiva todas las cuestiones propuestas sobre la caída libre?

Al respecto, reflexionemos sobre el siguiente hecho: un cuerpo que cae lo hace siguiendo la dirección vertical. Es, pues, elemental, para nuestra concepción científica, comparar dicha caída con la conducta de los cuerpos que caen siguiendo direcciones oblicuas, esto es, de aquellos que se deslizan por pendientes o planos inclinados.

Esta comparación encierra en sí misma un experimento en el espacio y en el tiempo. E implica un experimento espacio-temporal —tal como lo sabemos hoy día— porque las leyes que rigen la caída de los cuerpos libres son las mismas que rigen la caída de los cuerpos que siguen direcciones

oblicuas. Sólo existe una diferencia, el tiempo empleado por un cuerpo en recorrer un plano inclinado es mayor que el que emplea en caer libremente desde el mismo punto de partida del plano inclinado al plano en que se apoya dicha pendiente.

En otras palabras, los fenómenos de los cuerpos que recorren un plano inclinado son más lentos que las simples caídas libres.

Y la sola concepción de deslizamiento según direcciones oblicuas implica una concepción experimental, esto es, la repetición lenta o sensible al análisis, de los fenómenos que ocurren en la naturaleza. Y esta concepción la plantearon por primera vez tres insignes genios: Giordano Nemorario, Leonardo de Vinci y Galileo Galilei.

No es aventurado afirmar que la mecánica tenía necesariamente que pasar por el análisis del plano inclinado, antes de llegar a cualquier sistemática medianamente aceptable. Este paso definitivo queda sellado con Galileo Galilei.

Ni es aventurado afirmar que uno de los primeros conceptos geométricos inherentes a los hombres sea el de la dirección de su propia posición; y, uno de los primeros conceptos dinámicos, el de la caída de su propio cuerpo.

La desviación de la caída natural de su cuerpo, constituye el primer balbuceo de un lenguaje dinámico que ha costado varios siglos.

Por otro lado, el mérito de Giordano Nemorario es el haber establecido que un cuerpo se mueve más lentamente en los planos de menor pendiente que en aquellos que se acercan más a la vertical. O, como decimos hoy día, que los cuerpos son menos acelerados mientras menor es la pendiente por la que se desplazan. Además, el de haber asociado estas aceleraciones con la causa que las produce (esto es, las fuerzas) y suponer que dicha causa es la gravedad, que actúa con mayor o menor intensidad según sea mayor o menor la inclinación del plano que el cuerpo recorre. De aquí el concepto introducido por él de *gravitas secundum si-*

tum y totalmente desconocido por los griegos.

Al considerar las aceleraciones que adquiere un cuerpo al deslizarse sobre un plano inclinado —mayores o menores según la inclinación— y asociarla a las componentes del peso que provocan dichas aceleraciones, se comprende cuál es la contribución del plano inclinado al principio de proporcionalidad entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y las aceleraciones que producen.

Leonardo conoció el pensamiento de muchos de sus antecesores, en especial, de los nombrados aquí. En forma mucho más directa, de Aristóteles y de Giordano Nemorario, al cual cita innumerables veces en sus escritos.

Intuyó profundamente el valor del concepto *gravitas secundum situm* y su importancia en las ideas mecánicas.

Al lado de los maestros parisienses, que afirmaban la proporcionalidad entre la velocidad final y el espacio recorrido por el cuerpo que acelera, Leonardo afirma la proporcionalidad de la velocidad final con el tiempo durante el cual permanece acelerado dicho cuerpo. No otra cosa significan sus expresiones en sus escritos: de *Moto e Peso*; *la gravità che discende, in ogni grado di tempo acquista un grado di moto piú che'l grado del tempo passato; e similmente un grado di velocità piú che'l grado del moto passato*; y *la gravità che libera discende, in ogni grado di tempo acquista un grado di moto e in ogni grado di moto acquista un grado di velocità*.

Respecto al movimiento en un plano inclinado, en sus apuntes sobre *Natura de' pesi* se lee: *Se per due diverse obliquità, due pesi discenderanno, e sieno delle obliquità e de' pesi una medesima proporzione, allora, fia travata ne' pesi una medesima velocità nel discendere*. (Si por dos diversas inclinaciones, dos pesos descienden de tal modo que las inclinaciones están en la razón de dichos pesos, entonces los pesos descenderán con la misma velocidad).

A pesar de las condiciones erradas, la

conclusión es exacta y constituye aquel postulado sobre el que, en primera instancia, Galileo fundó su estupenda y completa teoría del movimiento de un grave sobre un plano inclinado.

Si hacemos un análisis sobre las siete proposiciones de Leonardo —ordenadas por él mismo de primera a séptima en sus apuntes de *Moto e Forza*— sobre el movimiento y la fuerza, concluiremos que la primera proposición corresponde exactamente a una proporcionalidad entre masa y fuerza, esto es, al segundo principio de la dinámica; en tanto que las otras, o son simples aproximaciones o contradicen totalmente la primera aceptando la ley aristotélica de la caída de los cuerpos.

¿Por qué esta contradicción?

¿Cuál es, entonces, la posición vinciana de la mecánica?

Una explicación, la histórica, es evidente: los siglos de pensamiento griego no le fueron fáciles de cambiar.

La otra es que en este último aspecto que se está considerando, el segundo principio implica el concepto de aceleración, que en el fondo es un concepto diferencial. En otras palabras, el concepto de aceleración implica un razonamiento de segundo orden, no-mediato y aprehensible sólo con el dominio de las ideas matemáticas de lo infinitamente pequeño, es decir, con el cálculo infinitesimal.

No es casual, entonces, que Newton, uno de los creadores del cálculo infinitesimal, haya sentado en todo su rigor científico este principio. Ni tampoco es casualidad que, generalizándolo, con ayuda de su poderoso saber y dominio de lo infinitamente pequeño, haya llegado a una concepción total, coherente, armoniosa y bella de lo infinitamente grande, esto es, de la gravitación universal.

Newton, con la plasticidad de sus infinitamente pequeños, captó los más agudos y sutiles rincones del mundo mecánico y, en una soberbia concepción, integró y coordinó

su pensamiento a la totalidad del universo mecánico.

Leonardo, con la belleza de esquemas integrales, con categorías geométricas del pensar, aprehendió directamente el mundo de su observación; y tenemos que insistir en su propia actitud de observación.

El inmenso esfuerzo de Leonardo para cubrir el área del saber mecánico con la igualdad, la razón y la proporción, no logra, naturalmente, llenar aquellas angulosidades que implican ideas de orden superior. Y estos huecos son justamente los que analiza y llena Newton con sus infinitamente pequeños y los integra en un esquema total y armonioso.

En otras palabras, Leonardo usó, para medir el universo mecánico, unidades captadas por sus observaciones sensoriales, proporcionales a la métrica sensorial; Newton, en cambio, metrizó tomando una unidad moldeable a todas las dificultades de la mecánica clásica, unidad que está más allá de la observación de los sentidos.

Newton midió el Universo con el Análisis.

Leonardo, con la Geometría.

De aquí que aquellas ideas mecánicas que se pueden aprehender directamente, Leonardo las exprese con nitidez; y muchas de ellas, con la exactitud que requiere la mecánica actual.

Tal sucede con el principio de acción y reacción, que señala como sigue: *In quanto al moto dell'acqua tanto fia a muovere il remo contro all'acqua immobile quanto a muovere l'acqua contra il remo immobile.* (En cuanto al movimiento del agua, tanto hace el remo contra el agua inmóvil, como mover el agua contra el remo inmóvil).

O bien, *Tanta forza si fa con la cosa in contra all'aria, quanto l'aria contro alla cosa. Vedi l'alie percosse contro all'aria far sostenere la pesante aquila nella suprema sottile aria vicina all'elemento fuoco. Ancora vedi la mossa aria sopra'l mare, ripercossa nelle gonfiate vele, far correre la carica e pesante nave; sicché per queste dimostrative*

e assegnate ragioni potrai conoscere l'omo con le sue congegnate e grandi alie, facendo forza contro alla resistente aria e, vincendo, poterla soggiogare e levarsi sopra di lei".

(Tanta fuerza opone la cosa al aire como el aire a la cosa. Observa cómo las alas que golpean contra el aire sostienen al águila pesada, en el sutil aire, en la región superior próxima al elemento fuego. Observa también el aire que se mueve sobre el mar que, golpeando en las hinchadas velas, hace correr la cargada y pesada nave; por estas determinadas y demostrativas razones, podrás imaginar al hombre con sus grandes y construidas alas, haciendo fuerza contra la resistencia del aire y venciendo, dominarla y elevarse por encima de ella).

Vemos, pues, que Leonardo buscaba las posibilidades de vuelo en el principio de acción y reacción. Jamás dudó que volar era posible. Y sus innumerables proyectos de pájaros mecánicos, paracaídas y hasta un helicóptero, representan sus intentos de encontrar un sistema mecánico en completa armonía y equilibrio con las reacciones mecánicas de la atmósfera.

Su seguridad en la posibilidad de volar se funda, en gran parte, en la convicción que tenía de la validez del principio de acción y reacción. Así, podemos leer en sus apuntes *Del moto dell'ucello*:

A parlare di tal maniera ti bisogna nel primo libro definire la natura della resistenza dell'aria; nel 2.º, la notomia dell'ucello e delle sue penne; nel 3.º, la operazione di tal penne per diversi moti da sé; nel 4.º, la vilitudine dell'alie e coda, senza battimento d'alie, con favor di vento, aversi a guidare per diversi moti. ("Del movimiento del pájaro": "Para hablar de esto debes en el primer libro definir la naturaleza de la resistencia del aire; en el 2.º, la anatomía del pájaro y de sus plumas; en el 3.º, las actitudes de tales plumas en distintos movimientos propios; en el 4.º, el uso de las alas y la cola para guiarse en distintos movimientos, sin batir las alas, gracias al viento").

Obsérvese que el punto 4.º es el que tie-

ne relación con su firme creencia en la acción y reacción.

Su concepción mecánica del principio de inercia es clara y está bien definida: *Ogni moto attente il suo mantenimento, ovvero ogni mosso sempre si move inmentre che la potenza del suo motore in lui si riserva.* ("Todo movimiento procura su mantenimiento, o sea, todo cuerpo móvil se mueve siempre mientras se mantenga la potencia de su motor").

O bien, como sigue: *Ogni moto seguirà tanto la via del suo corso per retta linea, quanto durerà in esso la natura della violenza del suo motore.* ("Todo movimiento mantendrá su recorrido en línea recta mientras dure en él la naturaleza del esfuerzo de su motor").

Hay que recalcar las nociones claras que Leonardo tenía del impulso, y su posición como el primero que se introduce en los estudios sobre el roce. Es interesante recalcar la definición de fuerza dada por Leonardo, definición de la que se han ocupado ilustres tratadistas como Olschki, Mach, Duhem, tanto por su contenido como por la belleza de su lenguaje: *Che cosa è la forza? Forza dico essere una virtù spirituale, una potenza invisibile, la quale per accidentale esterna violenza è causata del moto e collocata e infusa nei corpi, i quali sono dal naturale uso retratti e piegati dando a quelli vita attiva di maravigliosa potenza; costringe tutte le create cose e mutazione di forma e di sito, corre con furia alla sua desiderata morte e vassi diversificando mediante le cagioni. Tardità la fa grande e prestezza la fa devole; nasce per violenza e muore per libertà e quanto è maggiore più presto si consuma. Scaccia con furia ciò che si oppone a sua disgazione, desidera vincere, occidere la sua cagione, il suo contrasto e, vincendo, se stessa occide; fassi più potente dove trova maggior contrasto. Ogni cosa volentieri fugge la sua morte. Essendo costretta ogni cosa costringe. Nessuna cosa senza lei si muove.* ("¿Qué es la fuerza? Digo que es una virtud espiritual, una potencia invisible, y que

por una violencia accidental exterior está causada por el movimiento y colocada e infusa en los cuerpos que por su uso natural son retraídos y contraídos, otorgándoles una vida activa de maravilloso poder; obliga a todas las cosas creadas a cambiar de forma y lugar; corren con bríos hacia su deseada muerte y se va diversificando según sus motivos. La lentitud la hace grande y la celeridad la hace débil; nace por la violencia y muere por la libertad, y cuanto mayor es, más rápidamente se consume. Rechaza con furia lo que se opone a su destrucción; desea vencer, ultimar su motivo, su opuesto; al vencer, a sí misma se destruye; más poderosa se torno donde encuentra mayor contraste. Todo trata de evitar su propia muerte. Estando obligada, ella misma obliga. Nada sin ella se mueve”).

El hecho de haber desarrollado extensamente la estática, encontrándose en él por primera vez el concepto de momento estático, el cálculo del centro de gravedad del tetraedro, una anticipación del teorema que nosotros conocemos con el nombre de Varignon, una teoría casi coherente de las máquinas simples, etc., etc., es una prueba a favor de su concepción geométrico-mecánica.

Un último aspecto que trataré es el empirismo de Leonardo.

No se puede negar su gran intuición sobre el valor del experimento. En sus escritos de *Moto e Peso*, se refiere especialmente a la experiencia en los siguientes términos: “Si quieres probar cuánto más rápido cae un peso de una onza que un peso de dos onzas partiendo de una misma altura, lo harás así: toma dos pedazos de azúcar del mismo grosor y de doble largo, es decir, que aquel que pesa dos onzas tendrá una longitud doble a la del que pesa una onza, y lánzalas al mismo tiempo desde un campanario, y fíjate en el menor, que queda atrás, poniendo atención con tus ojos a las señales del muro o de las piedras por donde pasan, y cuando sientas la caída en tierra de las dos onzas, anota en qué piedra del campanario el peso de una onza se encuentra, y después

mede cuánto camino habría hecho una onza cuando dos onzas tocaron el suelo”.

Se ve inmediatamente que, no obstante las condiciones justas del experimento, las conclusiones son erradas. Además, nos recuerda los experimentos que realizará Galileo casi un siglo después. Si realmente Leonardo hubiese sido un empirista, la ejecución del sencillo experimento propuesto por él mismo lo habría conducido a muy diferentes conclusiones.

En estos mismos escritos, Leonardo recomienda en otro lugar repetir varias veces el experimento ya descrito *a ciò che qualche accidente non impedissi o falsassi tale prova che la sperienza fussi falsa e ch'ella ingannassi o no il suo sperimentatore* (“a fin de que cualquier accidente no impida o falsee la prueba y que la experiencia estuviese falseada y que engañase o no al experimentador”). En esta frase está implícito el moderno concepto de errores experimentales.

Por otro lado, es el iniciador de los estudios sobre el roce. Las máquinas ideadas para esto casi no difieren de las que usará el físico francés Coulomb tres siglos después.

Sin embargo, a pesar de haber intuido el valor del experimento; a pesar de haber proyectado y construido máquinas para probar sus enunciados, su tendencia geométrica prevalece aún sobre los resultados directos de sus incipientes experimentos.

Las mayores conquistas de Leonardo no derivan de sus experimentos, sino de su poder de observación de la naturaleza y de su espíritu de geometra.

Así por ejemplo, con un razonamiento elegante y sencillo, establece que los cuerpos al caer se desvían un poco de la vertical. La primera comprobación de este hecho sólo fue establecida casi dos siglos después por el padre Vincenzo Reineri, de Pisa.

Leonardo no usó la experimentación. Usó la observación.

Y esta situación dentro del empirismo no le resta méritos.

Los grandes principios que rigen actualmente la física moderna no son leyes deri-

vadas directamente de la experiencia. Entre el sistema que explica y la experiencia existe algo más que un simple salto proporcional; el intelecto, en un golpe de intuición científica, se aventura en la construcción de complejos esquemas matemáticos totalizadores.

Y Leonardo, con ayuda de su poderosa observación e intuición, salta también a una concepción geométrico-mecánica del mundo.

Tiene confianza en sus unidades de medida, proporcionales al tamaño del hombre.

Tiene fe en la resolución del problema que lo preocupó durante la mayor parte de su vida: el vuelo. Pero no como problema técnico sino, como ya lo hemos dicho, como ejemplo armonioso entre el hombre y la naturaleza.

Todos sus proyectos de pájaros mecánicos tienen un motor común: las fuerzas musculares de un hombre.

Y no es coincidencia su fe en las posibili-

dades de lo humano: "La fuerza del hombre, dice, tiene su origen en el movimiento del espíritu".

Permítasenos asociar a este hermoso pensamiento de Leonardo, en el nacimiento de la Mecánica, aquellas discusiones de los doctos boloñeses, en el nacimiento de la Electricidad, que hacían derivar la corriente eléctrica de la vida.

Leonardo y Galvani, en los albores de nuevas formas del pensar, creen en el espíritu y en la vida.

Símbolos de la mentalidad de un pueblo que, como las alas mecánicas de Leonardo, no pudiendo resolver el problema de la máquina y de la materia, cree con idealismo que *la forza dal moto spirituale ha origine*.

NOTA.—El autor de este artículo ha desarrollado la tesis aquí expuesta sobre la base de los escritos de Leonardo de Vinci comprendidos en *I libri di Meccanica. Nella ricostruzione ordinata di Arturo Uccelli*, por Arturo Uccelli. Ubrico Hoepli. Milano, 1940.