

LA MECÁNICA DE FLUIDOS Y LA INGENIERÍA MECÁNICA

GUILLERMO ARTANA¹

Resumen

Esta es una versión de la charla presentada en la Academia Nacional de Ciencias de la Ciudad de Buenos Aires con motivo de la entrega del Premio Consagración Académico Ing Vicien 2017. En ella se intenta destacar la importancia de la visualización y la representación gráfica en el análisis de fenómenos físicos complejos así como también en el diseño en mecánica de fluidos y las ciencias de la ingeniería.

Abstract

This is a written version of the oral exposition that followed the 2017 Eng. Vicien Prize-giving ceremony at the National Academy of Sciences of Buenos Aires. The importance of visualizations and graphical representations is emphasized in the process of analysis of complex phenomena and design in fluid mechanics and mechanical engineering science.

Contexto

Esta charla sucede unos pocos días después del 24 de marzo de 2017, día en el que se desarrolla la jornada de la Memoria por la Verdad y la Justicia en Argentina. En esta fecha, de manera masiva en las calles, solemos recordar las consecuencias de la ruptura del régimen democrático y conmemorar a las víctimas del terrorismo de estado.

Es por ello que me parece adecuado comenzar esta exposición haciendo referencia a una situación que data de más de 20 siglos que ocurrió en la cuna de la democracia. Me refiero a la circunstancia en que Pericles brinda el discurso que rinde homenaje a los muertos de Atenas en la guerra del Peloponeso. A dicho discurso tenemos acceso gracias al historiador Tucídides [1].

¹ Dr. Ing., Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Fluidodinámica, Universidad de Buenos Aires, CONICET gartana@fi.uba.ar

En esa ocasión, Pericles se encuentra frente a un auditorio diverso. El dilema que se le presenta es entre evocar aspectos que les sean familiares a sólo algunos de los presentes dando lugar a “*que se piense en exageraciones del orador*” o dirigirse a un sector más amplio del auditorio, haciendo referencia a cuestiones demasiado conocidas y pronunciando así una exposición “*que se quede corta respecto a lo que el más lego espera escuchar*”. Pericles zanja esta situación buscando un justo balance intentando satisfacer lo más posible “*el deseo y la expectación de cada uno de los presentes*”.

Para ello, se apoya en los antepasados y en el elogio de las construcciones de la ciudad que de alguna manera simbolizaban el espíritu de Atenas y podían ser consideradas como íconos del sistema democrático que imperaba en Grecia en ese momento.

En esta charla quisiera buscar también un justo balance y dirigir su atención hacia algunos de los antepasados científicos así como hacia las construcciones que la ciencia realiza y especialmente las ciencias de la ingeniería. Quisiera acercarles también algunos elementos de análisis que tienen que ver con lo visual. Espero que su observación les provoque un poco de la admiración que yo tengo especialmente por aquello que concierne a la mecánica de fluidos y su relación con la ingeniería.

Algunas preguntas básicas actuales de la mecánica de fluidos

El título de esta charla lo propuse hace un tiempo y cuando lo hice pensaba enfocarla en realidad de otra forma. Sin embargo, hace poco tuve la suerte de estar en Japón con un profesor que es argentino e Ingeniero recibido en la UBA también. Se llama Gustavo Gioia y trabaja en el OIST (Okinawa Institute of Science and Technology). Este profesor es un brillante investigador en nuestra área y ha logrado recientemente vincular aspectos teóricos de la escuela rusa de la mecánica de fluidos del siglo pasado con resultados experimentales de lo que podríamos llamar la escuela alemana. Además de ello, es un gran anfitrión. En uno de los días libres que teníamos, me llevó a conocer uno de los acantilados de esa isla en la costa de Zampa, donde hay un faro al que se puede

acceder y subir hasta su punto más alto. Después de estar en él, visitamos el museo que se encuentra al pie del faro, donde se muestran diversos aspectos de los faros y cómo evolucionaron a través del tiempo en Japón.

Uno de los posters que allí figuraban, nos llamó la atención porque ilustraba como hacer un haz paralelo de luz con una lente que estaba tallada de manera inhabitual. En esa situación, recuerdo que el profesor Gioia sacó su libreta y se puso a copiar el esquema que estaba en el poster del museo. Yo para ser más expeditivo le saqué una foto y propuse enviársela, lo cual quizás le evitaba seguir copiándola. Me contestó que prefería dibujar a tomar la foto porque al hacerlo así, aprendía. Creo que este comentario de Gustavo Gioia fue lo que finalmente me hizo cambiar un poco lo que quería contarles en esta charla.

En realidad, esa reflexión me trajo a la memoria comentarios similares que solía hacerme el director de mi primera beca de iniciación a la investigación cuando era estudiante. Mi director se llamaba Luis Bassani y era también otro ingeniero de la UBA. Debería hoy decir que fue él quien primero me hizo abrir los ojos para iniciarme en el camino de la ciencias de la ingeniería y fue él finalmente con quien aprendí a trabajar en ellas.

A Luis Bassani le gustaba también mucho la historia de la ciencia y le interesaba particularmente la visita de Albert Einstein a la Argentina. Así, fue Bassani quien me comentó por primera vez que Einstein había publicado un artículo en el diario La Prensa en esa época. Un tiempo atrás cuando iba a dar una charla de divulgación fui a buscar una copia a la sede de ese diario donde me facilitaron ese material. Ese artículo trata un tema de mecánica de fluidos que se conoce como “efecto Magnus”. Es un fenómeno que llamaba mucho la atención en el momento en que Einstein visitaba la Argentina porque un ingeniero alemán llamado A. Flettner estaba desarrollando un barco que se propulsaba con un sistema inspirado en este

efecto. De ese artículo lo que más me sorprendió no fue la explicación de ese efecto, sino la forma en que comienza. Dice²:

“La historia de las invenciones científicas y técnicas nos indica que los hombres somos pobres en ideas propias y fantasías creadoras.”

Luego, el artículo continúa haciendo referencia hacia una suerte de pereza del pensamiento que sólo se activa en cuestiones que lo confrontan.

Sin embargo, la primera frase es bastante desalentadora y no se condice con algunas historias contadas acerca de diálogos que ocurrían en los congresos Solvay donde solían ir los físicos más célebres de la época y, entre ellos, Einstein. Allí se discutían nuevas ideas y era una constante la ruptura de paradigmas previos. Una de las anécdotas más comentada que quizás ilustra el fervor existente se refiere a una discusión entre A. Einstein y Niels Bohr acerca del “principio de incertidumbre” que había propuesto Heisenberg. La historia cuenta que Einstein dirigiéndose a Bohr lo interpela diciendo : *«Usted cree en un Dios que juega a los dados»* y Bohr contesta : *«Einstein, deje de decirle a Dios lo que debe hacer con sus dados»*.

Estos congresos tuvieron lugar en las primeras décadas del siglo pasado.

Me gustaría mostrarles ahora una línea de tiempo para situar dónde es que aparecen los distintos actores más destacados que realizan contribuciones en la mecánica de fluidos.

Bueno, esta imagen (ver figura) muestra que en el siglo III a.c. con Arquímedes ya empieza a haber contribuciones en la mecánica de fluidos.

² A. Einstein , El buque de Flettner, La Prensa, 13 Abril 1925

| | |
|--|--|
| • Siglo III A.C. , Archimedes | |
| : | |
| : | |
| • Siglo XV, L. de Vinci | |
| <hr/> | |
| • Siglo XVII, Newton | Leyes Fundamentales de la Mecánica de Fluidos |
| • Siglo XVIII, D. Bernoulli, L. Euler, J. D'Alambert | |
| • Siglo XIX, C. Navier, S. Poisson, G. Stokes | |
| <hr/> | |
| SigloXX , A. Kolmogorov, L Prandtl, T. Von Karman G. I Taylor | Desarrollo de Métodos Experimentales y Métodos de Simulación Numérica |

Ultra Breve Historial de la Mecánica de Fluidos

Hay un período, mucho más tardío, donde se establecen las leyes que gobiernan la mecánica de fluidos y más recientemente, en el siglo pasado un período donde se desarrollan avances en métodos de medida y métodos numéricos que permiten simular el comportamiento dinámico de los fluidos. Claramente, en una disciplina tan vieja, podría pensarse que tenía escasas preguntas básicas todavía sin resolver en la época agitada de los congresos Solvay. Bueno, no es tan así y aún hoy persisten algunas cuestiones sin respuesta.

Así, me gustaría comentarles primero un problema vigente que, quizás, hayan escuchado en algún momento. Conciérne a aspectos puramente matemáticos de la mecánica de fluidos y fue divulgado en el año 2000. Este problema forma parte de uno de los problemas que se llama del “Milenio”. Está explicado por uno de los matemáticos argentinos más notables que tenemos: Luis Caffarelli³. La solución de este problema desvela a muchos

³ www.claymath.org

hoy en día. Se relaciona con si el sistema de ecuaciones que gobierna el movimiento de los fluidos, tiene un problema intrínseco o no. Esto matemáticamente concierne a si el problema está bien planteado o no. Formalmente, eso lo expresamos preguntándonos si se puede demostrar la existencia y la unicidad de la solución. Qué quiere decir esto? Las leyes de la trayectoria de una pelota impulsada desde un lugar están bien establecidas y conocemos el conjunto de ecuaciones que la describe. Supongamos ahora que estamos en un partido de fútbol y hay un jugador que está por patear un tiro libre y delante, tiene la barrera en la que se disponen los jugadores contrarios. Nosotros queremos que el jugador haga el gol. Si nos ponemos muy exigentes y pretendemos que sea un gol para la historia y empezamos a pedir características tales como que la pelota entre en el ángulo izquierdo del arco, a una velocidad tal que deje al arquero parado e inmóvil, sin reacción, que pase al lado del último hombre de la barrera, entonces quizás para las condiciones desde donde se patea ese tiro libre no haya forma posible de hacer el gol. En ese caso, por pedir demasiado no existe solución, porque no hay trayectoria posible que reúna todas esas condiciones.

Ahora, supongamos que lo único que nos importa es que la pelota entre en el arco y sólo eso. Bueno, quizás desde esa posición, haya muchas formas de hacer el gol. Es decir, no hay una solución única. Si no hay una solución única a un problema matemático el problema está mal planteado.

En la mecánica de fluidos lo que se procura demostrar entonces es la existencia y unicidad de la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes, que son las que ecuaciones que gobiernan el movimiento de los fluidos. Esto puede parecer una curiosidad matemática pero no es tan así. Si el sistema de ecuaciones al que llegamos, luego de hacer un modelo, tiene un problema intrínseco, las soluciones que encontremos por ejemplo con el

uso de computadoras pueden tener poco que ver con la realidad. No es en sí, que el modelo está mal. Es un problema de cómo nos quedan las ecuaciones que describen el comportamiento de ese modelo. Si dada una cierta condición, hay muchas soluciones al problema matemático, cuál de ellas es la que adopta la naturaleza en ese caso? Si para las condiciones que me interesa analizar me la paso buscando la solución pero no existe, qué sentido tiene esto? Bueno, resolver este problema de la mecánica de fluidos tiene como premio un millón de dólares que entregaría el Clay Institut. Lo ganaría quien demuestre la existencia y unicidad para todos los casos posibles o quien demuestre que no hay existencia y unicidad con un contraejemplo. Desgraciadamente, parece ser que la situación de haber ofrecido un premio monetario en el 2000 a quien resuelva este problema complicó las cosas. El desvelo de algunos no es más por el bronce como antes del premio y la comunidad que podría resolver esto ha aparentemente dejado de colaborar entre sí por temor a dar pistas a otro investigador de por dónde podría estar la solución.

Recién he evocado a Heisenberg y hablando de frases célebres él también tiene una que se refiere a la intervención de Dios pero que concierne a la mecánica de fluidos. A él se le atribuye la frase que dice: *“Cuando me encuentre con Dios, tengo dos preguntas para hacerle: por qué la relatividad y por qué la turbulencia. Creo que sólo voy a tener respuesta para la primera.”*

Aquí, Heisenberg señala entonces otro problema clásico de la mecánica de fluidos que está sin resolver. Todavía no podemos predecir, en un horizonte de tiempo no muy corto, cómo va a ser el movimiento de las distintas partes de un fluido cuando un flujo es turbulento. Sólo podemos predecir con un cierto error cuestiones estadísticas. Es un problema similar a cuando alguien pateo un globo. La trayectoria inicial puede calcularla

más o menos bien, pero después no puede predecir con exactitud adónde va a ir a parar el globo.

Una de las aproximaciones teóricas de la turbulencia se hace en términos de cascadas de energía. Quien propuso inicialmente esta teoría en el siglo pasado fue alguien de la escuela rusa que mencioné antes y se llama Kolmogorov.

Esta imagen de Leonardo (ver figura) muestra un flujo turbulento. En él, vemos que hay vórtices o remolinos de distinto tamaño.



Boceto de L. Da Vinci

Kolmogorov entonces propone que estos vórtices, mientras viven, se la pasan interactuando todo el tiempo entre sí transfiriéndose energía unos a otros. El proceso se denomina en cascada porque los más grandes la transfieren a los más pequeños de todos, en forma indirecta. Es decir, vórtices de un cierto tamaño pasan energía sólo a los que tienen un tamaño inmediatamente próximo pero inferior y así sucesivamente. A mí, la comparación que se me ocurre para ilustrar esto es la de una escalera por la que cae agua. El agua (representaría la energía) pasa del escalón más alto (el remolino de mayor tamaño) al escalón que está inmediatamente más abajo (el

remolino de menor tamaño más próximo), y así sucesivamente hasta llegar abajo.

La teoría de Kolmogorov es muy criticada pero da algunos buenos resultados. La turbulencia es un fenómeno muy complejo y cuando eso ocurre lo que hacemos para interpretarlo es tratar de simplificarlo. Una de las opciones es reducir una de las dimensiones del problema. Es decir, en vez de estudiar la turbulencia de un flujo en el espacio 3D la estudiamos en un espacio de 2 dimensiones forzándola a existir allí. Gráficamente, es lo que se ve con estos reptiles de Escher (ver figura).



Reptiles, M.C. Escher 1943.

La realidad es que los reptiles se mueven en un mundo 3D pero para entenderlos mejor los podemos aplastar un poco y los hacemos vivir en un mundo plano. Si uno hace eso, hay veces tiene chances de entender mejor parte de las cosas. Bueno con G. Gioia nos habíamos reunido para discutir un poco acerca de turbulencia bidimensional. Eso se puede estudiar experimentalmente con un dispositivo que se llama “Túnel de Jabón”. Es una solución jabonosa que cae por gravedad estirada entre dos hilos y forma un film muy fino. Si uno interpone en el

flujo un peine y utiliza un sistema de iluminación adecuado se forman patrones de turbulencia como los que se ven en esta figura.

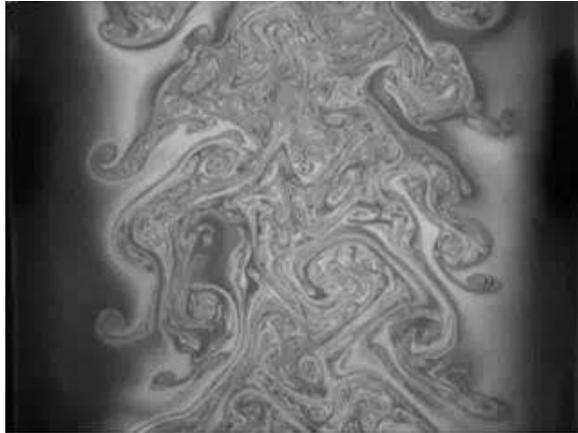


Imagen de Turbulencia Bidimensional en un Túnel de Jabón (Extraída de Auliel et al Exp in Fluids 58(5),38, 2017)

Una de las discusiones que teníamos con este profesor está relacionada con la teoría de Kolmogorov. En realidad el problema se suscita porque Kolmogorov hace una simplificación. La teoría no habla de vórtices sino de “modos de una descomposición”. Los modos de una descomposición se pueden pensar con una analogía simple de la pintura. Es el caso cuando uno quiere lograr un color particular a partir de usar distintas cantidades de otros colores que dispone. Bueno los modos son la gama de colores con que cuenta en la paleta para alcanzar el color deseado y la intensidad de los modos es cuanto pusimos de cada uno de ellos.

En el marco de esta teoría de la turbulencia, ocurre que no es lo mismo hablar en términos de modos que de remolinos. Eso es, más o menos, lo que nos preocupaba con Gioia.

Acá quizás sea pertinente también mencionar que esto no ocurre sólo en la mecánica de fluidos. Un comentario de Heisenberg puede ser útil para ilustrar los problemas de una sobresimplificación⁴:

“ La mecánica cuántica tiene que liberarse a sí misma de todas estas representaciones intuitivas...La nueva teoría debería abandonar sobre todo este tipo de visualizaciones.”

Quisiera, entonces, resaltar particularmente más adelante en esta charla la importancia que entiendo se le debería dar a las visualizaciones para intentar erigir una teoría.

Me gustaría ahora, para completar un marco de referencia, hablar de una figura emblemática de la escuela alemana que mencioné antes: Ludwig Prandtl. Este es un ingeniero de “pura cepa”. Sin embargo, a mí me cuesta un poco elogiarlo porque tiene claroscuros. Es el equivalente de Heidegger en la mecánica de fluidos. Sus hallazgos marcan a esta parte de la ciencia en el siglo pasado (como lo hizo Heidegger con la filosofía) y si bien ha defendido de las persecuciones a Heisenberg durante el gobierno de Hitler, ha sido un simpatizante confeso del régimen nazi [2].

Prandtl es muy reconocido porque logra resolver lo que se conoce como la “Paradoja de D’Alambert”. D’Alambert mostraba que los modelos del comportamiento de fluidos utilizados en su época chocaban con la realidad en un aspecto central. Había un error en cómo se predecían las fuerzas que ejerce un fluido sobre un cuerpo. Así, por ejemplo, si había un tronco sumergido en una corriente de un río, la teoría usual indicaba que ese tronco no iba a ser transportado por la corriente y se debía

⁴ *The Cambridge History of Science Volume 5: The Modern Physical and Mathematical Science*, pp 209, Cambridge Univ Press, NY, 2003

quedar en el mismo lugar. Ese tipo de error llevaba a que los experimentalistas se burlasen de los teóricos acusándolos de estudiar el flujo de “agua seca”.

Bueno, Prandtl resuelve esta paradoja que databa de al menos dos siglos. Lo curioso es que da la solución y la corrección al modelo existente en un trabajo de sólo ocho paginas que presenta en un congreso de matemática⁵ de menor renombre, comparado con los Congresos Solvay. Quizás Prandtl no era invitado a participar en esos congresos y por eso eligió este otro. En todo caso, el trabajo fue publicado en los anales del congreso menos prestigioso y quedó como una bella durmiente durante un tiempo importante. Sólo tomó notoriedad al menos unos quince años despues. En un momento, le hicieron la pregunta a Prandtl de por qué había dedicado tan pocas páginas para explicar algo tan revolucionario. La respuesta fue que en ese congreso le habían dado sólo diez minutos para hablar. Las dificultades para hacerse un lugar a las ciencias de la ingeniería frente a otras disciplinas parece haber estado presente a lo largo del tiempo.

Un poco a Prandtl lo define esta frase que pronunciara⁶

“Soy un ingeniero. Si se quiere un teórico de la ingeniería. He usado matemáticas en diferente tipo de problemas que he atacado. Pero en realidad nunca he hecho avanzar la ciencia de la matemática a través de alguna de mis contribuciones.”

Th. Von Karman, quien había trabajado junto con Prandtl y luego emigrado a Estados Unidos, es también una figura saliente en la mecánica de fluidos y diría de él⁷:

⁵ III Internationalen-Mathematiker-Kongresses- Heidelberg 1904.

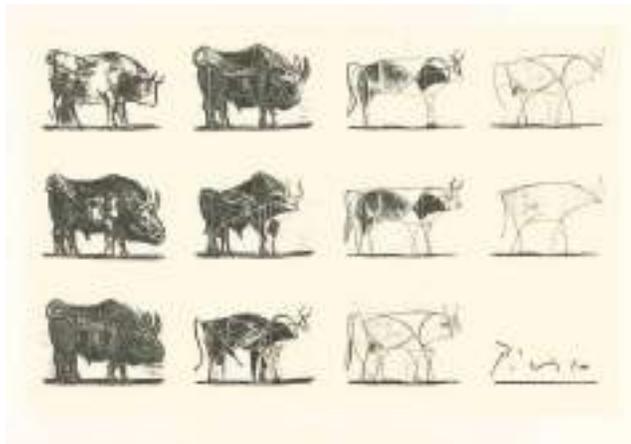
⁶ J. Vogel-Prandtl, *Ludwig Prandtl: A biographical Sketch*, ITCP ,Trieste, 2004

”Prandtl, era un ingeniero con una rara visión para la comprensión de los fenómenos físicos y una inusual habilidad para expresarlos de manera simple en forma matemática...Su habilidad para establecer sistema de ecuaciones simplificados que expresaban lo esencial y dejaban de lado lo accesorio era única...”

Quizás, sea bueno aquí precisar un poco qué tipo de problemas les tocan a los ingenieros. Podemos citar para ello a Koen⁸ .

“...si una situación es compleja y poco comprendida y si la solución está limitada por recursos (incluido el conocimiento)...entonces se está en presencia de un problema de ingeniería...”

Luego, los que hacemos ciencias de la ingeniería transitamos diferentes caminos que podemos imaginarnos con esta serie de figuras (ver figura).



“El Toro”, Picasso, 1946.

⁷ J. Anderson, *Ludwig's Prandtl Boundary Layer*, Physics Today, 2005.

⁸ B. Vaughn Koen , *Discussion of the Method: Conducting the Engineer's Approach to Problem Solving*, Oxford University Press, 2003.

A veces, vamos de la realidad a la cuestión esencial, esto sería la formulación de modelos, como lo hacen por ejemplo los físicos, lo que sería recorrer un camino de izquierda a derecha. Otras veces, desde este modelo y agregando complejidades, tenemos que llegar hasta la realidad concreta a las aplicaciones o los desarrollos tecnológicos, lo que sería recorrer el camino de derecha a izquierda. A menudo, los que hacemos ciencia de la ingeniería recorremos los dos caminos. Podemos trabajar en un sentido o en el otro pero a veces no llegamos hasta la etapa final de concreción. Esta etapa puede quedar incluso para los que trabajan como ingenieros en la industria.

Lo que me gustaría comentar a continuación es cómo puede intervenir en ese proceso la representación gráfica.

Visualizar e interpretar

Esta imagen del avión volando es un ejemplo de concreción que mencioné antes.



Aquí, curiosamente, se logra ver también que en el pasaje del avión entre las nubes se producen detrás dos remolinos. Esta imagen me parece que tiene una cierta estética y esta impresión me parece que es compartida por aquellos a los que nos gusta la mecánica de fluidos. Pero pienso que esto nos ocurre no sólo a

nosotros. La idea de la estética de los remolinos también aparece en este cuadro de Van Gogh (“La noche estrellada”).



La noche estrellada, J.M.W. Turner, 1889

Puede parecer raro que Van Gogh haya visto en el firmamento remolinos, sin embargo, no es tan excepcional. El origen de la Vía Láctea en la mitología griega tenía que ver ya con los fluidos. La historia, que es muy simpática, cuenta que fue creada por un chorro de leche saliendo de un seno materno que al romperse en gotas formaba las estrellas.



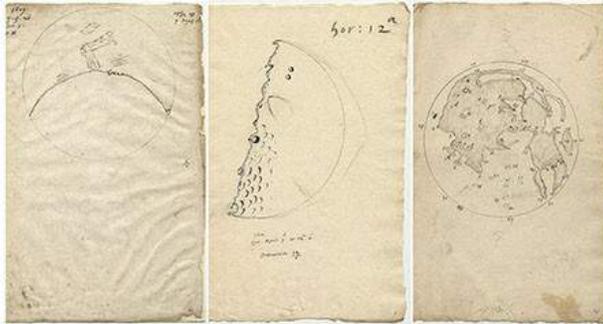
El nacimiento de la Vía Láctea, P. Rubens, 1636.

Esta representación de estrellas vinculada a fluidos, no es tan alejada de la realidad como uno podría pensar. Las estrellas vistas desde una cierta escala se comportan como si fuesen partículas de fluido. Esta imagen de la Vía Láctea creo que ilustra suficientemente la cuestión (ver figura).

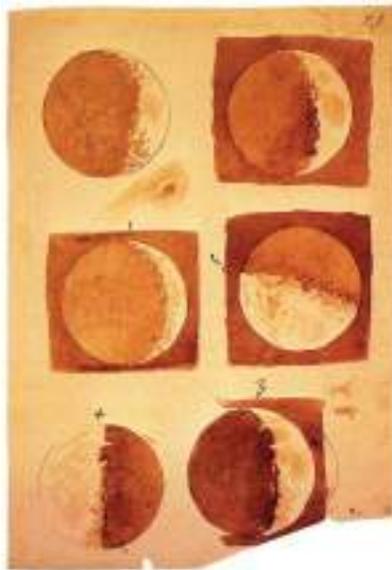


Imágen de la Vía Láctea

Bueno, quisiera referirme ahora a la observación visual y particularmente a la observación del firmamento. Más precisamente, a las primeras observaciones con telescopio de la Luna en 1609. El telescopio acababa de ser relativamente perfeccionado en 1608 en los Países Bajos y hay registro de dos personas que comienzan inmediatamente a mirar la Luna de manera sistemática para su caracterización. Uno, es Thomas Harriot en el Reino Unido y unos meses más tarde, Galileo Galilei en Italia. Acá estan dos bocetos de lo que ellos observaron (ver figuras).



Croquis de la Luna de T. Harriot (1609)



Croquis de la Luna de G. Galilei (1609)

Ambos hacen lo mismo y de la misma manera pero mientras Harriot reporta que observa manchas en la Luna, Galileo dice que observa que hay valles y montañas. Una pregunta que uno puede hacerse es por qué dos personas que están mirando lo mismo, ven sombras iguales, terminan interpretando cosas tan distintas? Obviamente, aquí intervienen cuestiones

psicológicas, pero vale la pena preguntarse si no puede haber otros elementos.

Esta pintura de Rembrandt de 1632 se llama “La lección de Anatomía del Dr Tulp” y es interesante reparar en algunos aspectos de ella. Esta obra es tremenda por el rechazo que puede provocar la ilustración de la vejación de un cadaver. Creo, sin embargo, que también es llamativa por otro aspecto. Fíjense que las miradas de los alumnos no se dirigen al cuerpo en cuestión. Ninguno de ellos lo está mirando. Están dirigidas hacia el libro que les dice lo que tienen que ver. Es llamativo que teniendo la posibilidad de observar la realidad con los propios ojos los alumnos se concentren en lo que dice el libro que hay que ver.



La lección de Anatomía del Dr Tulp, Rembrandt 1632.

Qué relación tiene esto con Harriot y Galileo? Sabemos que desde Aristóteles, se creía que la Luna era una perfecta esfera y constituía el símbolo del universo incorruptible que existía más allá de la Tierra. Así el cristianismo termina asociando esta imagen de pureza con la Inmaculada Concepción de la virgen María, como ilustran algunas pinturas de la época.



Inmaculada Concepción (La Colosal), Murillo, 1650

Así, afirmar en la época de Galileo que en la Luna había valles y montañas era ir en contra de lo preestablecido. Era desafiar a la Iglesia, que obviamente era un poder de peso de la época.

Es cierto que quizás Galileo haya sido mejor experimentador y haya observado con más detalle. Que haya visto que las sombras podían cambiar ligeramente su forma. O que en ellas a veces aparecían también puntos brillantes. Sin embargo parecería que tuvo una convicción muy fuerte en su búsqueda. Por qué no pensó por ejemplo que el instrumento óptico estaba distorsionando la realidad?

Bueno, no es fácil concluir y seguramente la influencia de Kepler puede estar presente, pero hace poco leí que el historiador Holton [3] propone que una pista quizás esté en las características del primer trabajo que consiguió Galileo. Fue en l' Accademia delle arti del Disegno de Florencia. Allí enseñaba geometría a los arquitectos y perspectiva a los pintores. Cuál sería la relación entonces?

Holton argumenta que en esa Academia se familiarizó seguramente con lo que era el libro de texto de la época: "*Perspectiva Corporum Regularium*" – (Wenzel Jamnitzer

1568). Les muestro aquí alguna de las figuras que están en ese libro. Son esferas con protuberancias y oquedades. No es muy descabellado pensar entonces que haya sido influenciado en su observación por su actividad como docente. Probablemente estuviera muy familiarizado con las sombras que tienen asociadas estos accidentes en esferas.

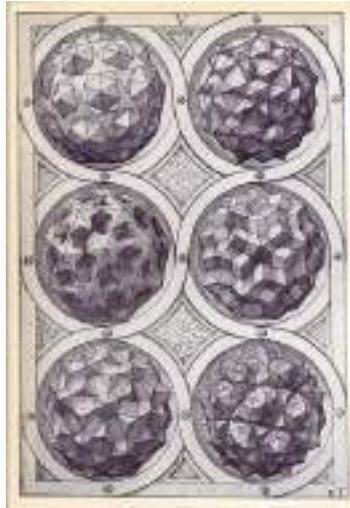


Imagen extraída de “*Perspectiva Corporum Regularium*”

A mí, esta historia me llevó a preguntarme si pudo el pobre Harriot tener alguna otra razón adicional para no haber interpretado las sombras de la Luna correctamente. Uno podría pensar inicialmente que si era profundamente religioso debía haber estado necesariamente muy condicionado para la observación y con eso alcanzaba. Quizás fuese el caso. Pero, existe también la posibilidad que no haya podido ir en contra de la Iglesia por otros motivos. De manera previa ya pesaba sobre él una sospecha de ateísmo por parte de la Iglesia por haber trabajado íntimamente con el influyente Sir W. Raleigh. Raleigh lideraba una asociación de intelectuales llamada “The School of Night”. En 1592, fue señalada en Inglaterra sin embargo como “The School of Atheism”. Deberíamos agregar a

esto también, que en 1609 Harriot acababa de ser liberado de la cárcel luego de haber sido acusado de participar en una conspiración para matar al rey Jacobo I. Así que quizás “*el horno no estaba para bollos*” para Harriot en el momento que miraba la Luna.

Me gustaría cerrar estos comentarios volviendo sobre la imagen de la obra de Rembrandt y lo que acabo de comentarles en cuanto a las miradas allí presentes. El cuadro me hace recordar un poco a otro consejo que me daba Bassani en mis inicios de carrera acerca de cómo se debía trabajar. El comentaba que, para atacar un problema nuevo, no había que intentar conocer toda la literatura previa sobre ese tema. Aducía que finalmente uno terminaba quizás pensando como los otros y eso era un obstáculo para proponer algo novedoso. Este consejo no lo escuché por otros investigadores de experiencia y parece ir en contra de la forma de trabajar de la mayoría de los científicos de hoy en día. Sin embargo, hace poco me topé con otra frase parecida que entiendo va en el mismo sentido. Es de Peter Medawar y dice :

”Es inútil buscar la novedad a partir de los artículos científicos. La mayoría mal representa el razonamiento que acompaña el trabajo que describen.”

Me pregunto si Medawar, que fue Premio Nobel Medicina 1960, reparó en lo que les comentaba anteriormente de la Lección de Anatomía

Representar, interpretar, diseñar.

Una pregunta que flota a partir de lo que comenté antes de la observación de la Luna, es cuándo fue que Galileo interpretó de manera diferente el por qué de las manchas? Fue

durante la observación con su telescopio o fue al realizar sus croquis?

Esto es obviamente más complicado de responder. Pero me interesa remarcar aquí el vínculo que puede existir entre representación gráfica y análisis.

Me gustaría señalar también que la representación gráfica está muy presente en la formación de ingenieros y sobre todo en los de ingeniería mecánica. Sin la habilidad de representar a partir del dibujo, es casi imposible para un ingeniero concebir las piezas que se desea construir. La observación de los planos nos hace imaginar y corregir de manera previa a la construcción.

Una de las figuras más salientes de la representación gráfica y la observación fue sin dudas Leonardo Da Vinci que, como sabemos, precede en el tiempo a Galileo y a quien indicamos en el grafico de línea de tiempo realizando contribuciones en la mecánica de fluidos. Bueno, sabemos que Leonardo se interesaba en la proporción humana y la anatomía, como también ocurría en la época de Rembrandt (ver figura). Sin embargo, no se limita a ello y es uno de los primeros en representar visualizaciones del movimiento de fluidos.



Bocetos de L. Da Vinci

Ya les presenté previamente un boceto de Da Vinci que se usa mucho en los cursos de turbulencia. Hay otros bocetos que también son muy conocidos y los que trabajamos en mecánica de fluidos los hemos visto a menudo.



Boceto de L da Vinci: visualizaciones de fluidos en movimiento detrás de un obstáculo

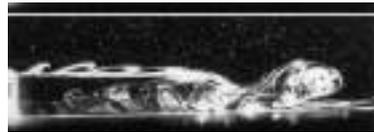
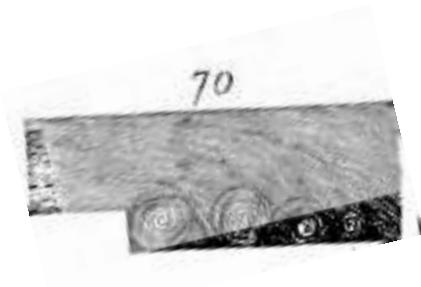
Menos conocidas son, quizás, las ilustraciones del libro al que se le atribuye la autoría a Leonardo y que se llama “*Del Moto e Misura dell’acqua*”.



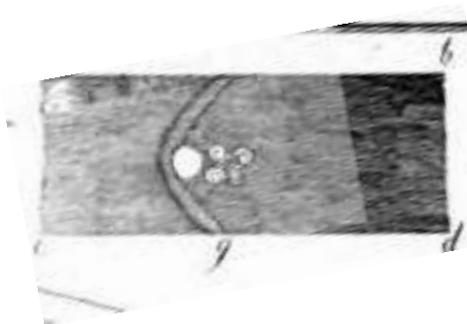
Tapa del Libro de L. Da Vinci

Este libro es póstumo y aparentemente se basa en manuscritos de Leonardo que estaban en poder de un italiano que trabajaba en mecánica de fluidos y que se llamaba Venturi. El editor dice

que Venturi en 1797 se los pasó y que él terminó publicándolos. Independientemente si la historia es cierta, en este libro aparecen algunas figuras que son notables. La posibilidad de observar en esa época era muy difícil. No había forma de congelar imágenes como hacemos hoy con la fotografía. Aun así, la correspondencia en algunas de ellas con lo que solemos ver hoy con métodos avanzados, es notable (ver figuras).



Visualizaciones de flujos en la geometría conocida como escalón descendente: A la izquierda imagen extraída de *Motto e la Misura dell'acqua* a la derecha experiencia de laboratorio.



Visualizaciones de estelas, a la izquierda imagen extraída de *Motto e la Misura dell'acqua* a la derecha imagen satelital de nubes que muestran la estela que se forma en el aire a partir de un promontorio en una isla.

Cómo pudo lograr ello Leonardo? Quizás, la frase que aparece en su libro intitulado Aforismos⁹ lo explique.

“El pintor que retrata por práctica y a ojo, sin razonar lo que hace, es como un espejo que reproduce las cosas que se le ponen delante, sin comprenderlas.”

La anécdota inicial que les conté del colega Gioia copiando la imagen del poster quizás se entienda un poco mejor a la luz de esta frase.

A mi entender, este proceso de síntesis en el papel de la realidad, tiene como correlato un sentido de descenso en complejidad como en el “El Toro” de Picasso (sentido de derecha a izquierda en esa obra).

Vale la pena preguntarse si Leonardo, a diferencia de Galileo pudo ir en el otro sentido también; es decir, en el del diseño y la concreción (derecha a izquierda según “El Toro”). Alguno de los gráficos que les muestro a continuación sobre máquinas y mecanismos ilustran que en gran medida lo logró¹⁰.



Algunos Bocetos de Máquinas de Leonardo da Vinci

⁹ Leonardo Da Vinci, *Aforismos*, Espasa-Calpe Argentina, Buenos Aires, 2004.

¹⁰ Para más ejemplos consultar por ejemplo: Domenico Laurenza, *Leonardo's Machines: Da Vinci's Invention related*, Giunti Editore, Florence-Milan, 2005.



Algunos Bocetos de mecanismos de Leonardo da Vinci

No lo hizo siempre hasta alcanzar la etapa de concreción pero sí en la etapa de concepción con el consabido aumento de complejidad que se le asocia. Es Leonardo, entonces, seguramente un buen ejemplo de alguien que pensaba con la óptica de las ciencias de la ingeniería. Su notoriedad como científico ha sido sin embargo poco apreciada a lo largo del tiempo. Nombrarlo como científico teniendo en cuenta que precede a Galileo y sus estudios de astrofísica puede parecer extraño. Sin embargo, algunos autores empiezan a señalarlo actualmente como el primer científico de la era moderna¹¹.

Los atrevidos deliberativos

Me gustaría volver ahora hacia el final de esta charla un poco sobre mis primeros comentarios. Aquí muestro una vieja moneda griega que tiene un búho, que era el ícono de Atenas.

¹¹ Michael White, *Leonardo da Vinci: The First Scientist*, Abacus, 2001.



Antigua Moneda Griega 395-338 ac

Los griegos acuñaron la frase para referirse a algo muy banal “*es como traer búhos a Atenas*”. Existían tantos allí que llevar búhos era algo que no iba a ser particularmente apreciado por nadie del lugar.

Los búhos terminaron así siendo asociados con Atenas y en gran medida con la sabiduría griega. Me preguntaba al preparar la charla si ello se debía, solamente, a su abundancia en el lugar o si no existe la posibilidad de que sea también por sus enormes ojos y su capacidad de observación.

Quisiera recuperar ahora la frase de Pericles del discurso que mencioné antes donde se refiere a cómo son los atenienses.

“Pues también poseemos ventajosamente esto: el ser atrevidos y deliberar especialmente sobre lo que vamos a emprender”

Bueno, me preguntaría si esto no es aplicable a los ingenieros también. Como respuesta a ello vale quizás analizar esta imagen que sigue (ver figura).



Imagen de la NASA de la misión Apolo 11

Qué mejor paradigma de atrevimiento!!!. El hombre que ha mirado la Luna desde sus comienzos a la distancia a ojo desnudo y luego sus valles y crestas con telescopios, gracias a la tarea de ingenieros en gran medida ha dado un paso mayor. Ha querido y podido ver lo que mostraban esos telescopios sin la virtud de instrumento alguno sino por sus propios ojos en el lugar mismo.

La imagen que acabo de mostrar ilustra también a mi entender cómo es la tarea de los ingenieros.

Quién puede imaginar éste logro sin largas discusiones (deliberaciones) técnicas de ingenieros trabajando conjuntamente en equipo? Hay otro medio de alcanzar posibles soluciones a los problemas complejos que se presentaban en este proyecto?

Finalmente entonces me gustaría a partir de lo que mencioné, que se comprenda por qué esta distinción que se me otorga no debe considerarse como un premio individual. Es, a mi entender, el reconocimiento a un esfuerzo colectivo en el que tuve la suerte de haber participado a lo largo de años.

Le estoy así profundamente agradecido al conjunto de colegas y estudiantes con los que he tenido la oportunidad de compartir este camino,

Bibliografía

- 1-Tucídides, *Historia de la Guerra del Peloponeso*, Madrid, Ediciones AKAL, 1989.
- 2-M. Eckert, *The Dawn of Fluid Dynamics: A discipline between Science and Technology*, p192, Wiley Vch, Berlin, 2006.
- 3-G. Holton, *Einstein, History and other passions*, Addison-Wesley Pub, 1996.