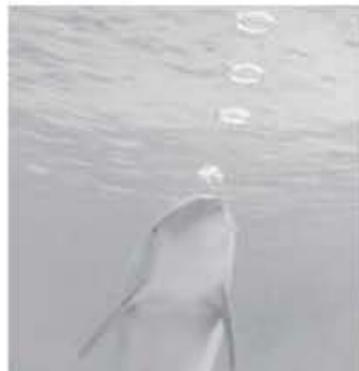


Los anillos de vórtice y la teoría atómica



Los delfines forman anillos de vórtice para su diversión. Para crear las donas sacan burbujas por su espiráculo y soplan aire a través, o nadan en círculos repetidamente y luego expulsan aire en el vórtice.

<http://uk.news.yahoo.com/dolphins-show-their-impressive-talents-blowing-ring-shaped-bubbles-in-italy-162205514.html#1pXpM7N>

Denise Estrada Wiese y Sergio Cuevas García

Instituto de Energías Renovables, UNAM

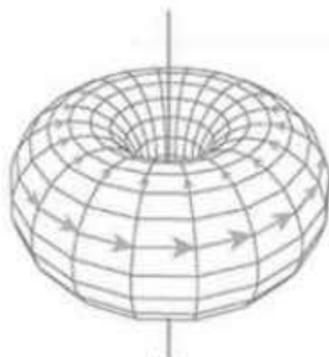
Estudiante del Posgrado en Ciencias Físicas, UNAM

Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Los delfines, los humanos y los volcanes tenemos algo en común: la capacidad de crear anillos de vórtice. Seguramente hemos visto algún fumador hacer donitas con el humo de su cigarro. Los delfines soplan anillos en el agua ¡y juegan con ellos! (ver figura 1). Pero los anillos más grandes son generados por los volcanes: algunas veces emiten enormes nubes de gas en forma de dona con un diámetro de hasta 200 m [1,2]. Estas estructuras se conocen como anillos de vórtice. De una manera no muy precisa, podemos decir que un vórtice es una región de fluido, ya sea de líquido o de gas, en donde existe un flujo alrededor de un eje imaginario que puede ser recto o curvo.

En ocasiones, a cierto tipo de vórtices como los ciclones, los tornados o los que se forman en el desagüe de un lavabo, les llamamos remolinos. Por su parte, un anillo de vórtice es una región donde el fluido gira siguiendo caminos aproximadamente circulares alrededor de un eje imaginario (núcleo) que forma una curva cerrada, por ejemplo un círculo o un óvalo, dando lugar a una forma de dona o un toroide, como se le denomina matemáticamente (ver figura 2). Mientras el fluido se mueva rápidamente, el anillo es estable y mantiene su forma. Conforme disminuye su rapidez, la dona se vuelve inestable y se rompe. Los anillos de vórtice o vórtices toroidales se pueden formar de dos maneras distintas.

La primera es inyectando una masa compacta de fluido en movimiento



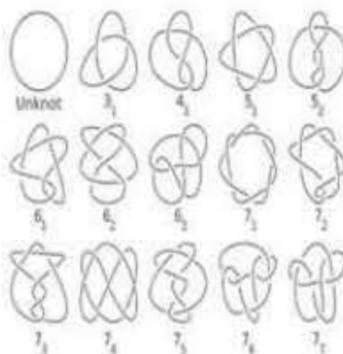
Esquema de un anillo de vórtice. En matemáticas, a esta estructura se le llama toroide. http://kairos.laetusinpraesens.org/moralx_m_h_8

dentro de un fluido estacionario, como sucede cuando dejamos caer una gota de colorante en un vaso de agua. La otra alternativa es empujando una masa de fluido rápidamente desde un espacio cerrado por una apertura pequeña.

Esto puede lograrse sosteniendo horizontalmente una jeringa llena de humo y dando golpes secos al émbolo. En 1858 el científico alemán Herman Ludwig Ferdinand Helmholtz (1821-1894) publicó un artículo [3] que dio lugar a una nueva área de investigación dentro de la mecánica de fluidos, lo que ahora se conoce como *dinámica de vórtices*. La mecánica de fluidos tiene por objeto el estudio general del movimiento de líquidos y gases, mientras que la dinámica de vórtices se enfoca en particular al estudio de la formación, transporte y evolución de estructuras vortiginosas.

En su artículo, Helmholtz estudió los anillos de vórtice y encontró que el núcleo es un filamento o línea que puede enredarse con otros filamentos en un bucle con nudos que no pueden deshacerse y formuló además algunos teoremas que rigen su comportamiento. También demostró que los vórtices ejercen fuerzas unos sobre otros, de una forma que recuerda las fuerzas magnéticas entre alambres que llevan corriente. La teoría desarrollada por Helmholtz se aplica estrictamente a los *fluidos ideales*, es decir, fluidos en donde no existe fricción o viscosidad. Aunque esta idealización teórica no existe en la naturaleza, en la práctica los anillos de vórtice reales se comportan de manera muy cercana a lo descrito por Helmholtz. Entre otras cosas, encontró que si dos anillos de vórtice viajan en la misma dirección con una separación pequeña entre ellos y con velocidades similares, el que va adelante se ensancha y disminuye su velocidad, mientras que el que va detrás se encoge, aumenta su velocidad y lo penetra, adelantándose al primero.

Este juego se repite de modo que los anillos se atraviesan uno a otro alternadamente (ver liga en referencia [2]). El trabajo sobre dinámica de



Clasificación de nudos como la elaborada por P. Tait. Se creía que el primer elemento "desanudado" (Unknot) representaba el hidrógeno [10]. http://en.wikipedia.org/wiki/Knot_theory

vórtices constituye solo una parte de la gran obra de Helmholtz quien se destaca como uno de los científicos más versátiles del Siglo XIX. No solamente realizó contribuciones fundamentales en la física, como por ejemplo la formulación definitiva del principio de conservación de la energía, sino que llevó a cabo investigaciones trascendentales sobre la fisiología del ojo y el oído, entre muchas otras aportaciones [4]. Los descubrimientos de Helmholtz sobre los anillos de vórtice le parecieron muy interesantes al físico escocés William Thomson (1824-1907), también conocido como Lord Kelvin, quien después de observar los experimentos que su amigo y colega Peter Tait realizó con anillos de humo, propuso en 1867 *la teoría de los átomos de vórtice* [5]. Esta teoría proponía que los átomos constituyentes de la materia eran anillos de vórtice enlazados formando distintos nudos en un fluido ideal.

El razonamiento de Kelvin era que si se crean dos anillos de vórtice, enlazándose uno con el otro, nunca colisionarán ni se romperán, formando un átomo indestructible. La permanencia de estos átomos estaba garantizada por los teoremas que Helmholtz demostró en su famoso artículo. Kelvin suponía que el fluido ideal capaz de soportar dichos vórtices estables era nada menos que el éter, un fluido hipotético que permeaba todo el Universo y que constituía la sustancia de toda la materia (y que posteriormente sería descartado por la teoría de la Relatividad). Cualquier combinación de estos vórtices podría existir, agregándose para formar moléculas cuasi estables que dieran lugar a la variedad de compuestos reconocida por la química. En lo que resultó un trabajo pionero en *la teoría de nudos*, Tait propuso una clasificación sistemática de los diferentes nudos formados entre los núcleos de los vórtices (ver figura 3) pues al igual que Kelvin, creía que dicha clasificación podría explicar por qué los átomos absorben y emiten luz únicamente a longitudes de onda discretas [6]. El trabajo que desarrolló Kelvin en

el área de la mecánica de fluidos ha tenido una gran relevancia en muchos ámbitos, en particular, en el desarrollo de la aerodinámica. De hecho, un famoso teorema que lleva su nombre nos permite entender el mecanismo mediante el cual un aeroplano al despegar obtiene la sustentación que le permite volar [7]. Sin embargo, es curioso que en esta área la atención de Kelvin estaba dirigida a fundamentar su teoría atómica.

Kelvin vislumbró en el trabajo de Helmholtz una base teórica sólida que permitía dar sustento matemático y físico a una idea que se encontraba enraizada en la mente de muchos pensadores y científicos desde siglos atrás, es decir, la existencia de los átomos. La teoría de los átomos de vórtice plasmaba claramente las convicciones mecanicistas de Kelvin quien expresó: "Me parece que la manera de acercarnos a la pregunta '¿podemos o no entender un fenómeno particular en física?' es respondiendo '¿somos capaces de hacer un modelo mecánico de él?' [8]. Kelvin y Helmholtz desarrollaron una amistad cercana y una colaboración científica que duró hasta la muerte de Helmholtz.

La admiración de Kelvin por la obra de su amigo queda de manifiesto en el prefacio a la edición inglesa de los tres volúmenes de las obras del científico alemán donde escribió: "En el registro histórico de la ciencia, el nombre de Helmholtz se erige con una grandeza única, como un maestro y líder en matemáticas, biología y física. Su admirable teoría de los anillos de vórtice es una de las más bellas de todas las bellas piezas de trabajo matemático hecho hasta ahora en la dinámica de los fluidos incompresibles" [9]. Por su parte, Kelvin tuvo una vida plena, llena de satisfacciones y reconocimientos a su trabajo. No solo realizó contribuciones científicas fundamentales en termodinámica, electromagnetismo y mecánica de fluidos, entre otras, sino que incursionó como inventor y empresario, siendo asesor de la compañía que tendió el primer cable telegráfico submarino que conectó Gran Bretaña con Norteamérica en 1865. De hecho, su trabajo en este ámbito le redituó una considerable fortuna y la desaprobación de algunos científicos que le reprochaban el mezclar la ciencia pura y las aplicaciones industriales [4].

Kelvin no fue el único en buscar una fundamentación mecánica para las diferentes interacciones físicas, muchos de sus contemporáneos lo hicieron. El gran científico James Clerk Maxwell (1831-1879), quien sintetizó elegantemente la teoría de los fenómenos electromagnéticos, apelaba a la existencia de vórtices de materia y al estudio de los sólidos elásticos y los fluidos viscosos para dar cuenta de dichos fenómenos. A pesar de no pre-

sentar contradicciones internas, la teoría atómica de Lord Kelvin, que antecedió cerca de 40 años a la de Niels Bohr, resultó descartada debido a nuevos descubrimientos científicos.

El experimento de Michelson y Morley en 1887 refutó la existencia del éter y sirvió como base para la teoría de la relatividad de Einstein. Así, las ecuaciones de Maxwell para el campo electromagnético no requieren ni éter ni vórtices y por otro lado, la teoría cuántica se desarrolló a partir de ideas totalmente distintas a las propuestas por Thomson.

El premio Nobel de Física 2004, Frank Wilczek, considera a la teoría de los átomos de vórtice una síntesis hermosa y matemáticamente fructífera pero finalmente, una *Bella Perdedora* [10]. No obstante, la atracción hacia los anillos de vórtice se ha mantenido latente desde la época de Helmholtz y Kelvin, por una parte debido a las fascinantes matemáticas, y por otra al reto que implica comprender su formación en situaciones naturales [1,2]. Más aún, Wilczek llama la atención que los fluidos cuánticos, como el helio superfluido, pueden proveer un medio ideal o un *éter artificial* donde los movimientos (y los vórtices!) se mantienen indefinidamente. Si se elige el medio adecuado, los fluidos cuánticos se podrían adaptar para tener propiedades útiles, ofreciendo una variedad de átomos de vórtice o átomos artificiales que podrían utilizarse como bloques en construcciones cuánticas [10].

Referencias

- [1] D. Whitehouse, BBC News: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/696953.stm>
- [2] En esta liga se muestran anillos de vórtice creados por delfines y volcanes: <http://www.youtube.com/watch?v=mHyTOcf99o>
- [3] H. Helmholtz, *On the integrals of the hydrodynamical equations which express vortex motions*, Phil. Mag., S. 4, No. 226, Suppl. Vol 33, 1867.
- [4] I. James, *Remarkable physicists*, Cambridge, 2004.
- [5] Lord Kelvin (Sir William Thomson), *On vortex atoms*, Proc. Royal Soc. Edinburgh, Vol. VI, pp. 94-105.1867.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_knot_theory
- [7] D.J. Acherson, *Elementary Fluid Dynamics*, Clarendon Press, Oxford 1990.
- [8] S. P. Thompson, *The Life of William Thomson*, Baron Kelvin of Largs, Macmillan, London (1910) <https://archive.org/details/lifeofwillthom02thomrich>
- [9] V. V. Meleshko, *Coaxial axisymmetric vortex rings: 150 years after Helmholtz*, Theor. Comput. Fluid Dyn. 24, 403-431, 2010.
- [10] F. Wilczek, *Beautiful Losers: Kelvin's Vortex Atoms*, <http://www.pbs.org/wgbh/nova/physics/blog/2011/12/beautiful-losers-kelvins-vortexatoms/>