

Dr. Alberto Barrón Vargas,¹
Dra. Veronique Barois Boullard,
Dra. Ana Cecilia Torres Vega,
Dra. Susana Murillo Balderas,
Dr. Miguel E. Stopen.

¹ Clínica Lomas Altas. Este trabajo obtuvo el tercer lugar en la sección de Revisión durante el XXXVII Curso Anual de Radiología e Imagen.

Christian Andreas Doppler (1803-1853)



Foto 1. Christian Andreas Doppler.

Introducción

Christian Andreas Doppler fue un físico austriaco que se hizo famoso por estudiar el cambio de las propiedades del sonido cuando el objeto que lo emite está en movimiento. Doppler estudió inicialmente el cambio de color de la luz de las estrellas, refiriéndose a la distancia como la principal causa de este fenómeno. Debido a que no contaba con instrumentos para medir la velocidad de la luz, diseñó un experimento en el cual aplicó su teoría a las ondas sonoras, lo cual le permitió encontrar las expresiones matemáticas que describen cómo, cuando un objeto se acerca hacia nosotros, el sonido que emite se vuelve más agudo, mientras que al alejarse, el sonido se torna más grave.

El objetivo de este trabajo es presentar la biografía de Christian Andreas Doppler señalando los aspectos más importantes de su obra y su contribución a la ciencia, específicamente a la astronomía, la física y las matemáticas. Así como también describir el “Efecto Doppler” y su aplicación en el campo de la Medicina, principalmente en el área de la ultrasonografía.

Biografía

Hijo de una familia de talladores de piedra, Christian A. Doppler nació en Salzburgo, Austria, el 29 de noviembre de 1803 (Figura 1). Debido a constantes problemas de salud tuvo que abandonar a temprana edad la tradición familiar de tallar roca. Asistió a la escuela primaria en Salzburgo para posteriormente ingresar a la educación secundaria en Linz. Desde muy temprana edad sus padres notaron el enorme potencial académico de Christian, por lo que consultaron a un profesor de matemáticas del Liceo de Salzburgo quien recomendó que Christian debería continuar sus estudios en el Instituto Politécnico de Viena, fundado apenas en 1815.



Figura 1. Situación geográfica de Austria.

Doppler residió en este Instituto desde 1822 hasta 1825, año en que se graduó. Posteriormente retornó al Liceo de Salzburgo para estudiar filosofía ingresando poco después a la Universidad de Viena donde continuó sus estudios de altas matemáticas, mecánica y astronomía.

En el año de 1829, Doppler se desempeñó como asistente del profesor de matemáticas y mecánica A. Burgs, juntos publicaron su primer trabajo: "A contribution to the theory of parallels" (Una contribución a la teoría de las paralelas), al cual le siguieron otros tres trabajos publicados en un periodo de cuatro años. En 1833 presentó varios exámenes en diferentes escuelas y universidades con el fin de lograr un empleo como profesor en las áreas de aritmética, álgebra o geometría, ocupando finalmente un puesto en la Escuela Secundaria Técnica de Praga, donde permaneció hasta 1835. Debido a que esta actividad no le satisfacía plenamente intentó otras opciones logrando ingresar en el año de 1836 al Instituto Politécnico de Praga como profesor de altas matemáticas, geometría y matemáticas elementales.

Descubrimiento del fenómeno

El 28 de junio de 1840 Doppler fue elegido por votación para formar parte de la Royal Bohemian Society, lugar donde el 25 de mayo de 1842 presentó su más famosa y brillante obra: "On the coloured light of the double stars and some other heavenly bodies" (Sobre la luz coloreada de las estrellas dobles y otros cuerpos celestes). En este documento Doppler sugería que el color aparente de algunas estrellas era causado por el movimiento de la Tierra: el color de las

estrellas era azul cuando estaban cerca de la Tierra y rojo cuando se alejaban (Figura 2).

El experimento del sonido

Debido a que era imposible registrar y medir la velocidad de la luz con los instrumentos ópticos de esa época, Doppler decidió medir las ondas sonoras para explicar este fenómeno. En 1845 diseñó y condujo un experimento en una estación de ferrocarril donde colocó a varios trompetistas fijos en la estación y otros en un vagón del tren. Pidió a ambos grupos que tocaran la misma nota en el momento en que el tren se puso en movimiento. Cuando el tren pasó por la estación pudo percibir que la nota emitida por los músicos colocados en el vagón en movimiento era diferente a la emitida por los músicos estáticos (Figura 3). Este experimento comprobó su hipótesis y dio origen a lo que hoy conocemos como el "Principio Doppler".

Trabajos ulteriores

Publicó otros trabajos sobre electricidad y magnetismo, así como también inventó varios instrumentos, particularmente ópticos. En 1847 fue elegido como Secretario de la Royal Bohemian Society y en 1848 formó parte de la Imperial Academy of Sciences en Viena, obteniendo también el Doctorado Honorario de la Universidad de Praga. Fue director del Instituto de Física de la Universidad de Viena, cargo que desempeñó hasta el 17 de enero de 1850.

Su salud empezó a deteriorarse debido a problemas pulmonares, por lo que en noviembre de 1852 se trasla-

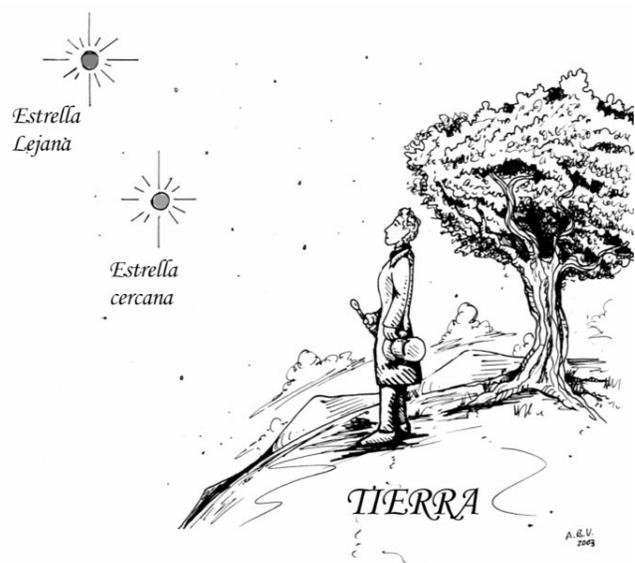


Figura 2. Christian Doppler observa cómo el cambio de color de las estrellas está relacionado con la distancia de las mismas con respecto a la Tierra.

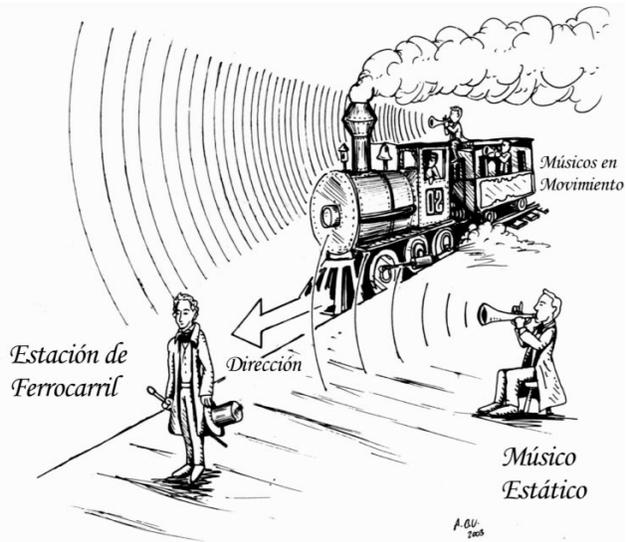


Figura 3. Experimento en la estación de ferrocarril.

da a Venecia, Italia, con la esperanza de que el clima cálido le ayudara a recuperarse, sin embargo esto no fue suficiente y finalmente murió en esta ciudad el 17 de marzo de 1853.

Principio Doppler*

La expresión matemática de este efecto toma en cuenta la velocidad con la que se mueve la interfase y el hecho de si el movimiento se acerca o se aleja del receptor. Los equipos ultrasónicos que utilizamos en imagenología emplean un mismo cristal como emisor y receptor. En estos, la emisión ocupa un tiempo muy corto y el resto del tiempo el cristal permanece en la disponibilidad de recibir las señales de retorno provenientes de los glóbulos rojos que actúan como reflectores en movimiento. El cambio de frecuencia Doppler se calcula según la siguiente ecuación:

$$\text{Cambio de frecuencia Doppler} = \frac{(\text{Frecuencia transmitida}) (\text{Velocidad de los glóbulos rojos})}{\text{Velocidad del sonido en el tejido}} (\text{Ángulo de incidencia})$$

El principio que se expresa en esta fórmula predice que el ultrasonido que reflejan los glóbulos rojos cambiará de frecuencia de acuerdo con la velocidad y dirección del movimiento. La relación entre el cambio de frecuencia y la velocidad es directa; al aumentar la velocidad de los glóbulos rojos aumenta el cambio de frecuencia Doppler en igual pro-

*Doppler-Fizeau: En 1849, el físico francés Hippolyte Louis Fizeau (Figura 10) desarrolló un instrumento conocido como la Rueda de Fizeau, con el cual pudo medir por primera vez la velocidad de la luz, calculando esta en 298,000,000 m/seg, un valor muy cercano al aceptado actualmente. Esta importante aportación junto con los descubrimientos de Doppler, ocasionó que en algunas instancias el Principio Doppler se conociera como "Principio Doppler-Fizeau".

porción. Por otra parte, el ángulo Doppler incorporado a la ecuación que utiliza la función trigonométrica del coseno resulta fundamental para registrar los cambios de frecuencia y velocidad.



Figura 4. En el año de 1992 el gobierno de Austria emitió una estampilla conmemorativa de los 150 años del descubrimiento del "Principio Doppler".

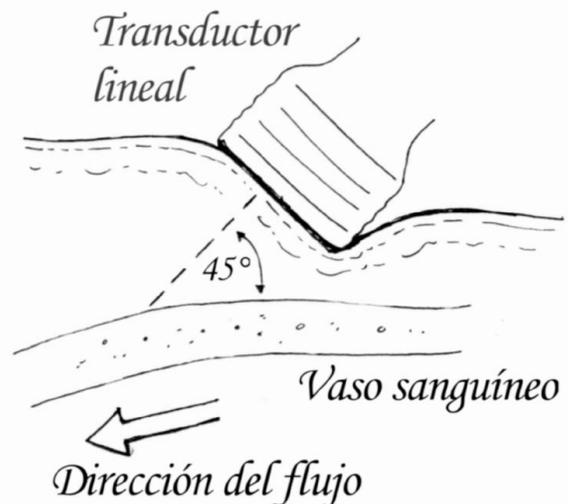


Figura 5. El ángulo ideal para medir la velocidad y la dirección del flujo sanguíneo debe ser menor de 65°.

El máximo cambio de frecuencia Doppler se produce cuando el ángulo es de 0° y el haz incide en forma paralela a la columna sanguínea, por otro lado, si el ángulo es de 90° , no se registra cambio en la frecuencia Doppler: en la práctica, el ángulo ideal para explorar un vaso sanguíneo debe de ser menor a 65° (Figura 5).

Aplicación del efecto Doppler en el diagnóstico por imagen

El efecto Doppler puede ser utilizado en imagenología en diferentes modalidades que aportan información importante y peculiar.

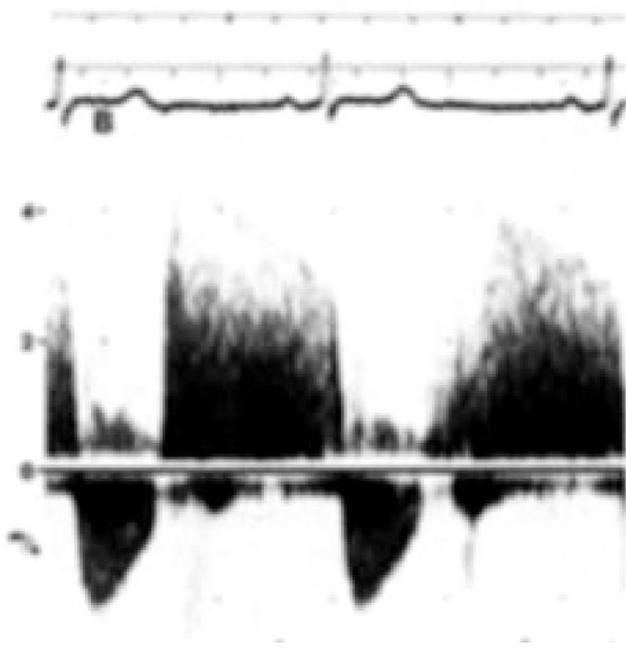


Figura 6. Trazo de Doppler continuo.

Doppler continuo

La sonda utiliza dos cristales, uno que emite y otro que recibe ecos de forma continua. Las principales indicaciones consisten en la exploración de vasos pequeños como la arteria oftálmica y vasos superficiales de las extremidades. La utilización más frecuente es la monitorización audible del corazón fetal (“Doptone”).

Análisis espectral Doppler pulsado

Permite registrar y analizar los cambios de frecuencia Doppler que ocurren en una profundidad predeterminada, sin superponerse a las señales Doppler de otras regiones. Se emplea el mismo cristal para emitir y recibir ecos. La señal Doppler puede analizarse en un trazo o espectro que conjunta varios componentes del flujo sanguíneo como son: dirección, velocidad y amplitud (Figura 6).

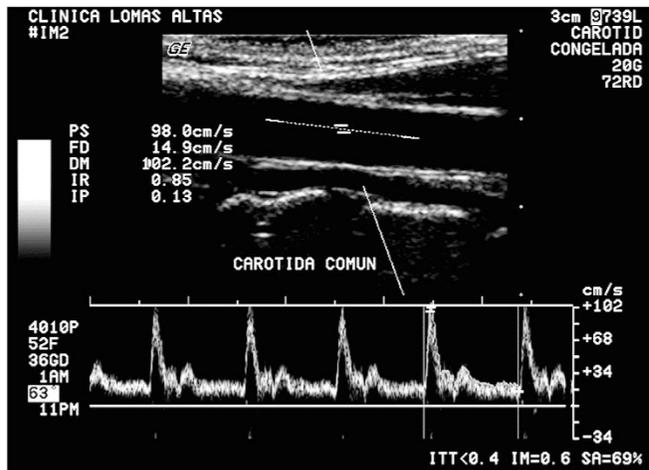


Figura 7. Doppler Duplex.

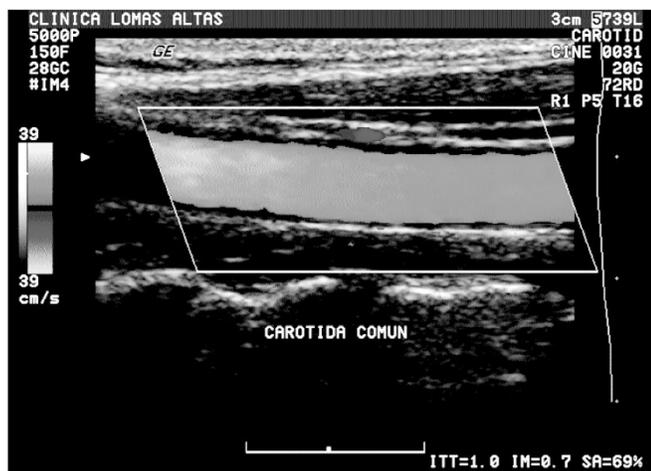


Figura 8. Doppler Color.

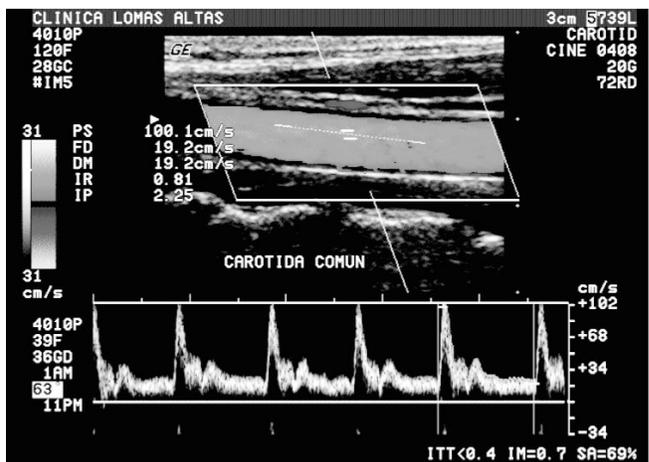


Figura 9. Doppler Triplex.

Doppler duplex

Se da este nombre a los equipos que combinan en forma simultánea la imagen en tiempo real con el análisis espectral Doppler. La ventaja principal de este sistema es medir el cambio de frecuencia Doppler en el sitio exacto que desea el operador (Figura 7).

Doppler en color (Figura 8)

La señal del espectro Doppler es codificada en una gama de colores que representan la dirección y la velocidad del flujo.

Doppler triplex (Figura 9)

Se da este nombre al registro simultáneo de la imagen en escala de grises, el análisis del espectro y el flujo en color.

Gracias a los conocimientos de Christian A. Doppler sobre matemáticas, física y astronomía, se desarrolló un principio que aportó grandes avances al mundo de la medicina, la astronomía y la aeronáutica.

La aplicación del efecto Doppler en la imagenología ha permitido desarrollar un método económico y de fácil acceso, por el cual se puede estudiar de forma directa el flujo sanguíneo, ofreciéndonos la posibilidad de establecer su dirección, medir su velocidad y detectar la patología que puede alterar alguna de las instancias anteriores.

Referencias

1. Bibliography of Doppler's work, in The Phenomenon of Doppler (Prague, 1992), 76-80.
2. JB. Heranshaw, Doppler and Vogel-two notable anniversaries in stellar astronomy, *Vistas in astronomy* 1992;35: 157-177.
3. M Solc: The way of the Doppler Principle to astrophysics, in the Phenomenon of Doppler (Prague, 1992). 63-72.
4. A Eden. The search for Christian Doppler, Springer-Verlag, Viena, 1992.
5. I Stoll. Christian Doppler-Man, Work and message, in The Phenomenon of Doppler (Prague, 1992), 13-29.
6. C Doppler: Über das farbige Licht der Doppersterne and einiger anderer Gestirne des Himmels, *Abh.königl.böhm. Ges. Wiss* 2, 465-482, 1843.
7. Stopen M, Barois V, Contreras E. Ultrasonidos. En: Pedrosa CS. Diagnóstico por Imagen. Tratado de Radiología Clínica, 2ª. Edición, Vol. I: Generalidades. Ed. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, 1997.