

# LA ESTENOSIS CAROTÍDEA Y LOS AVANCES EN LA MODIFICACIÓN DE LOS STENTS CUANDO SE HA EFECTUADO UNA ANGIOPLASTIA

Presentado por Víctor Cabrera, PhD  
Escuela de Ingeniería  
Universidad Finis Terrae

El envejecimiento progresivo y los nuevos hábitos de vida de la población mundial, han ido afectando y haciendo variar el perfil de las enfermedades y patologías asociadas, como la diabetes, sedentarismo, obesidad, y principalmente las cardiovasculares y cerebrovasculares, presentando estas últimas los mayores riesgos de muerte.

Estas últimas, cerebrovasculares, son crónicas, costosas, invalidantes, y prevenibles, y muchas veces son previsibles. La mortalidad debido a estas enfermedades es alta en todo el mundo, principalmente en los países desarrollados, y Chile no escapa a estos altos índices, y de acuerdo a las estadísticas médicas, llegan a 10.000 muertes por año (aproximadamente 10 % de las defunciones del país), dejando en condiciones de discapacidad a más de 6.000 personas **(1)**

Se proyecta hacia el 2025 que los fallecimientos debido a accidentes cerebrovasculares, sean la primera causa de muerte en el país **(2)**, sobrepasando las muertes debido a infartos cardíacos, que actualmente es la primera causa.

Una de las principales causas de los accidentes cerebro vasculares es la ESTENOSIS, que es el estrechamiento arterioesclerótico de la arteria carótida interna. Este accidente se presenta con mayor frecuencia en la población masculina, y mayormente, en la tercera edad. Esta disminución del diámetro de la arteria interna, provoca cambios de sus propiedades físicas que deriva en el engrosamiento y pérdida de la elasticidad de las paredes de la arteria. Luego, se hace necesario conocer el comportamiento de esta arteria y verificar su buen funcionamiento, ya que es la arteria que transporta el flujo sanguíneo rico en oxígeno y nutrientes, a la parte superior de nuestro organismo. Una vez producida la estenosis, las consecuencias son varias, como por ejemplo, producción de coágulos, trombosis y embolias.

Hay estudios hechos por varias instituciones, como NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial), ACAS (Asymptomatic Carotid Artery Surgery Trial), y ESCT (European Carotid Surgery Trialist), que han hecho investigaciones tanto en pacientes sintomáticos como asintomáticos, que han dado resultados necesarios para continuar con los estudios, y así concluir con la prevención de este accidente. El proceso consiste en sí, en la medición del diámetro de luz residual en porción de mayor estenosis del vaso sanguíneo, comparado con el de una carótida normal. Una vez conocido el porcentaje de estenosis, sintomático o asintomático, se decide por el tratamiento adecuado, medicamentos o una angioplastia carotídea, o endarterectomía carotídea.

Este paper no hará énfasis de la anatomía de las carótidas, sin embargo para entender mejor la intención de este estudio, se hace primordial establecer que las carótidas comunes, derecha e izquierda, se bifurcan en dos, cercanas a la región del cuello, formando así la carótida interna y la carótida externa, de las cuales, la carótida externa irriga la zona facial y la capa craneal, y la interna es una arteria del cerebro anterior y la cavidad orbitaria, y que ingresa al cráneo a través del conducto carotídeo penetrando en el seno cavernoso (3)

A pesar que las longitudes de las carótidas comunes difieren levemente (la izquierda 3 cm más que la derecha), para los estudios se adopta como longitud standard entre 20 y 25 mm (4), teniendo un diámetro entre 6 y 7.8 mm. La carótida interna es la que se ha estudiado en esta investigación, pues es la que presenta el mayor riesgo de estenosis. Para el efecto, se consideraron tanto pacientes sintomáticos como asintomáticos.

Se debe tener en consideración la resistencia que oponen las arterias carótidas al flujo como a las variaciones de éste, ya que la carótida externa ofrece mayor resistencia al flujo sanguíneo que la carótida interna, y esto se debe a la elasticidad de sus paredes. Esto es importante porque a medida que aumenta el esfuerzo cortante en las paredes, la pared de la arteria carótida interna, se vuelve más rígida provocando pérdida de elasticidad de la pared arterial, lo que podría provocar una disminución en la elasticidad de la pared arterial, llegando muchas veces a igualar la resistencia de la arteria carótida externa.

En los pacientes considerados, había muchas variaciones de las propiedades hemodinámicas de sus organismos, razón por la cual, se estandarizaron medidas y propiedades, tomando valores medios, como se especificó anteriormente, de manera de obtener relaciones válidas. Se observó que cuando existía estenosis en una carótida interna, con la consecuente disminución de flujo sanguíneo, el flujo era compensado en cierta medida por la otra carótida interna sana del lado opuesto.

La sangre es un fluido viscoso no-newtoniano, con propiedades muy diferentes a los fluidos newtonianos, porque en ellos no existe una relación lineal entre su viscosidad y el esfuerzo de corte. Casson propuso un modelo (5) basado en el plástico de Bingham, para el estudio de la sangre, debido a que su viscosidad varía con la temperatura y el esfuerzo cortante que se le aplica, de manera que esta no es constante ni tiene un valor definido. Si aumentan los hematocritos, el esfuerzo cortante varía, indicando con esto que si no hubiera hematocritos, el modelo de Casson se comporta como un fluido newtoniano (6). A pesar de esto, se ha observado que en esta pequeña longitud considerada de la carótida, el comportamiento de la sangre se aproxima a un fluido newtoniano, de tal forma que existe una proporcionalidad adecuada entre la viscosidad y el esfuerzo cortante, luego este supuesto ha servido de base para la obtención de datos que son usados para seguir con esta investigación. Cabe mencionar que la viscosidad de la sangre mostraba poca variación en este tramo considerado, entre 0.0031 y 0.0035 Pa s, con esfuerzos cortantes entre 0.09 y 1.521 Pa. También es de consideración destacar

que la sangre es un flujo laminar, ya que los números de Reynolds medidos, eran todos menores a 500, tomándose como base 450 (7)

El caudal sanguíneo que asciende por la arteria carótida común, no se divide en partes iguales entre la carótida externa y la carótida interna, y esto se debe a que la externa presenta una mayor resistencia al flujo sanguíneo, y por la propiedad del fluido que tiende a seguir la trayectoria más expedita, la carótida interna tiene un mayor caudal. Se han medido relaciones de caudales y velocidades del flujo sanguíneo entre la carótida común y la interna, en 18 pacientes sanos, y las variaciones no han sido tan significantes entre uno y otro; sin embargo, se ha observado que esencialmente, la edad y el sedentarismo, como también alcohol y tabaquismo, producen cambios notorios comparados con personas más activas y sin consumo de alcohol y tabaco. Los rangos se muestran en la siguiente tabla 1:

Arteria	Velocidades (cm/s)	Caudales (m <sup>3</sup> /s)	Razón Caudales	Razón Velocidades
Carótida Común	16.93 – 20.81	5.831E-6 – 8.843E-6	0.5870 – 0.5772	0.4631 – 0.5440
Carótida Interna	7.84 – 11.32	3.423E-6 – 5.104E-6		

TABLA 1. Valores y relaciones entre los caudales y velocidades de las arterias carótidas comunes y las carótidas internas en personas sanas

Se observa en la tabla 1 de acuerdo a los datos obtenidos teóricamente, tanto de velocidades como caudales, que el flujo en la arteria carótida interna corresponde a un promedio de 58.21 % de los caudales totales, lo que comprueba lo dicho anteriormente, que la carótida externa ofrece una mayor resistencia al flujo, tomando solo alrededor de 42% del flujo total en una persona sana.

Para obtener relaciones matemáticas y con ello resultados confiables, se tomaron los valores de las relaciones anteriores (Razón de Caudales y Razón de Velocidades), y se compararon con 4 pacientes con carótida con estenosis. De acuerdo a los porcentajes de estenosis promedios, se logró encontrar una curva polinómica, de acuerdo a esos porcentajes y las relaciones o razones de velocidades, donde los valores de estenosis variaron de 0% a 70% con valores de Razón de velocidades de 0.50 a 4.0. La curva polinómica es de la forma  $y = 0.001 x^2 - 0.0176 x + 0.4976$ , con un ajuste de 99.89 (8)

En relación a los cálculos anteriores, se observó que valores sobre 85% de estenosis, esta es severa, y existe una alta probabilidad médica que el flujo sanguíneo se vea suspendido, luego, para estenosis extremas, este modelo no es el adecuado, sin embargo se ha usado para valores intermedios, con los cuales se han hecho los estudios.

Con pacientes con estenosis severas, se recurrió a una angioplastia (4 pacientes), a los cuales se le implantó un stent (tubo de malla de alambre colocado en la carótida que está bloqueada con placas, y que permite el paso del flujo hacia el cerebro, evitando con ello un accidente

cerebrovascular). Estos stents o CAS (Carotid Artery Stenting), adecuados a los diámetros de las carótidas internas, son verdaderos tubos, de manera que para los cálculos, se usan con facilidad las ecuaciones de Hagen-Poiseuille y las de Navier-Stokes. Una pequeña disminución en la salida del stent, permitirá una mayor velocidad del flujo de salida, y con ello evitar la formación de placas (las placas son materias grasas, colesterol, calcio y otras sustancias que hay en la sangre, y que se acumulan en las paredes de las arterias obstruyendo el paso sanguíneo).

Se están haciendo investigaciones para modificar estos dispositivos y hacerlos más eficientes, principalmente reduciendo la salida en la dirección del flujo, reduciendo la posibilidad de un accidente cerebrovascular.

## REFERENCES

- (1) Hobson R., Weiss D., Fields W., et al, Efficacy of Carotid Endarterectomy for asymptomatic carotid stenosis, N.Engl. J. Med. 1993, England.
- (2) Bayer, Accidentes cerebrovasculares representan la segunda causa de muerte en el país. Disponible en: [http://www.bayer.cl/noticias\\_ver.php](http://www.bayer.cl/noticias_ver.php)
- (3) González, Andrés et al., Hemodinámica en la Bifurcación de la Arteria Carótida. Ingeniería Biomédica, Universidad de los Andes, Colombia.
- (4) Berger, S.A., et al., Introduction to Bioengineering, 1st. edition, Oxford University Press, 2000, USA.
- (5) Berga Casafont Luis, Comportamiento reológico de la sangre humana a pequeñas velocidades de deformación. Revista de Obras Públicas, 1980. Espana.
- (6) Merrill et al., Bulletin of Mathematical Biology, Elsevier, Vol. 47, Issue 4, 1985. USA
- (7) Ku, David N., Blood flow in arteries, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 29,G.W. Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, 1997, Atlanta, Georgia, USA.
- (8) Medina, Pablo, Efecto en la Hemodinamia de la Arteria Carótida Producto de una Estenosis, Facultad de Ingeniería, Universidad Diego Portales, 2010, Santiago, Chile.

