

LA CIENCIA DE

SPIDER-MAN



"...La principal arma del hombre araña, no es su super fuerza o super agilidad, si no su telaraña. ¿Sabías que una telaraña puede resistir hasta 6 veces el peso que soporta la misma cantidad de acero?"

• **Juan Francisco Fuentealba**
Doctor en ciencias con mención Física

• **Sebastián Michea**
Doctor en ciencias con mención en Física,
integrante del Grupo Cere (Universidad Autónoma de Chile)
(Universidad Autónoma de Chile)



Seda Estructural

Glándula Ampulácea Mayor
Marco, radio y línea de vida.

Seda de Captura

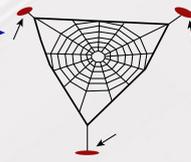
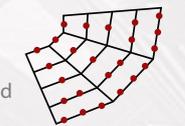
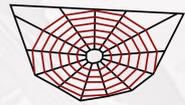
Glándula Flageliforme
Flexibilidad y captura de presas

Recubrimiento Acuoso

Glándula Agregada
Atrapar presas y aportar humedad

Espiral de Captura

Glándula Ampulácea Menor
Espiral de captura



Refuerzo de Juntas

Glándula Piriforme
Fujación al sustrato y reparto de tensión de la estructura

Glándula Aciniforme

Momificación de presas y acolchado interior del huevo

Recubrimiento del huevo

Glándula Cilíndrica
Estructura de los huevos

Figura 1

Tipos de telarañas según la glándula que las expulsa. Imagen modificada a partir de [1].

El hombre araña es uno de los superhéroes más populares del universo de Marvel y probablemente uno de los más famosos a nivel mundial. La razón por la cual podemos hacer esta afirmación es probablemente porque detrás de su máscara se esconde un tipo con el que nos sentimos de alguna forma identificados. El hombre araña, además de su trabajo de justiciero *ad honorem*, tiene que preocuparse de pagar las cuentas, rendir en sus labores de estudiante y tratar de conquistar a la chica de sus sueños, de alguna forma nos representa a todos en la cotidianidad de la vida. Él está lejos del idealismo de héroes como Superman, el capitán América, o de cruzadas personales como Batman, por lo que no es difícil empatizar con los dolores, dificultades o pérdidas que sufre Peter Parker (*alter ego* del hombre araña). El segundo motivo por el que creemos que la popularidad del hombre araña es tan grande, se debe a que todo su repertorio de habilidades se basa en las de un animal intrigante como son las arañas, al cual todos o la gran mayoría hemos estado expuestos alguna vez en la vida y hemos fantaseado con que ocurriría si nos mordiera una de ellas (sabemos que si esto ocurre se traducirá en una reacción alérgica que puede culminar con resultados no muy gratos para nosotros dependiendo del tipo de araña), pero basados en este último punto resulta bastante interesante realizarnos la siguiente pregunta: asumiendo que si fuésemos mordidos y todas las habilidades físicas de una araña fueran traspasadas a su víctima, ¿cuál sería el alcance de las habilidades de una araña o mejor dicho de un hombre araña de nuestro tamaño?

El hombre araña, según los comics fue mordido accidentalmente por una araña radioactiva, no sabemos efectivamente

que fue lo que causó la transformación de Peter y asumir las características arácnidas, pero dentro del canon comiquero (canon se le denomina a la historia oficial ratificada por los autores), se cree que el veneno radiactivo de esta desconocida araña fue la responsable de esta metamorfosis interna. Después de este incidente, Peter Parker, al igual que la mayoría de las 40.000 especies de existentes de arañas posee una serie de habilidades que van desde la superfuerza (un arácnido puede levantar 170 veces su peso), súper agilidad (pueden dar saltos que corresponden a 50 veces su longitud), super velocidad (una araña con proporciones humanas podría ser hasta 10 veces más rápida que Usain Bolt), sentido arácnido (sexto sentido que le permite detectar amenazas de manera inconsciente) o trepar por las paredes. Sin embargo, a pesar de lo increíble que pueden parecer todas estas habilidades, algunas de estas son compartidas por varias especies dentro del mundo de los insectos, la particularidad del hombre araña y quizás el elemento más extraordinario dentro su arsenal de trucos radica en homologar las impresionantes propiedades de la **telaraña**.

Lo primero es preguntarnos; ¿Qué es una telaraña? En palabras simples, es una estructura construida por una araña a través de una especie de seda proteica que los arácnidos son capaces de liberar a través de sus glándulas. En la mayoría de los cómics Peter Parker fabrica esta seda en su propio laboratorio, aunque en algunas versiones es capaz de generarla desde su mismo cuerpo. El Peter Parker de la trilogía de películas de Sony (Toby Maguire), es capaz de producir naturalmente seda de araña a través de alguna especie de glándulas alojadas en sus muñecas. Sea como sea el resultado es prácticamente el mismo, Peter Parker es capaz de produ-

cir y sintetizar una sustancia que homologa todas las propiedades de la seda producida por las mismas arañas. En las arañas, esta sustancia se produce a través de unos órganos especiales alojados al final de su abdomen que reciben el nombre de espinetas (o hileras). Estas hileras cuentan con muchos orificios de salida al exterior donde se concentra el líquido que solidifica al entrar en contacto con el aire, produciendo así la seda. Esta seda varía sus propiedades, de una especie a otra, e incluso dentro del mismo tipo de araña en función de la finalidad de su uso. De hecho, existen otros animales que son capaces de fabricar seda con mecanismo parecidos al descrito, como los gusanos, pero que solo los utilizan con fines únicamente reproductivos. La seda fabricada por las arañas se puede clasificar según el tipo de hilera que la produce como las glándulas piriformes, flageliformes, ampulosas (mayor y menor), cilíndricas, etc. Cada glándula fabrica un tipo de seda que tiene diferentes aplicaciones (o especializaciones), como resistencia estructural, captura de presas, protección de huevos para reproducción y la inmovilización o momificación de presas entre otras (ver figura 1).

Como podemos ver, la tela de araña (o telaraña) tiene muchas aplicaciones que de alguna forma, el hombre araña utiliza en diferentes acciones al igual que las arañas. Pero, ¿Qué tiene de especial la seda de araña? ¿Por qué replicar el comportamiento de este material? Para responder estas preguntas analizaremos sus propiedades mecánicas desde un punto de vista de ciencia de materiales...

Aunque, como dijimos anteriormente, la seda de telaraña tiene propiedades mecánicas diferentes dependiendo de su funcionalidad y tipo de araña que la sintetiza en la mayoría de los casos estas sedas presentan comportamientos asombrosos desde el punto de vista ingenieril. Todas

las clases de seda tienen una combinación excepcional de resistencia a la rotura en función de su extensibilidad. En ejemplos concretos la telaraña presenta una resistencia a la tracción similar a la del acero, pero considerando las diferencias de densidades entre el acero y la telaraña, esta última es casi 6 veces más resistente que el acero por unidad de masa, dicho de otra manera, **una telaraña puede sostener un peso 6 veces más grande que el acero ¡increíble!** Por otro lado, a pesar de que hay materiales mucho más resistentes que la seda de araña, su extensibilidad admite deformaciones mucho mayores que cualquier material antes de romperse. Desde el punto de vista de un ingeniero, o pensando en aplicaciones, esto es tremendamente interesante.

Antes de dar una explicación técnica consideremos dos casos, el primero, un simple elástico de billetes que estiramos y después de soltarlo retoma su forma original, a este comportamiento le llamamos **deformación elástica**. Supongamos un segundo caso como puede ser un trozo de plastilina la cual estiramos y no puede volver a su forma original, a esto llamamos **deformación plástica**. El primer caso "conserva" la energía, mientras que el segundo no. La curva de esfuerzo y deformación nos permite caracterizar si los materiales tienen una respuesta elástica o hookeana o por el contrario, plástica o no hookeana al ser sometidos a una carga (el adjetivo "hookeana" proviene de la ley de elasticidad de Hooke que habla de la proporcionalidad entre la fuerza o esfuerzo producido por un resorte sobre una masa, la cual es directamente proporcional a su compresión, deformación o elongación con respecto a su posición de equilibrio).

Adicionalmente, existe una propiedad mecánica llamada **resiliencia mecánica** que da cuenta de la energía que puede almacenar un material a medida que el material se va deformando dentro de esta zona elástica de deformaciones reversibles (materiales con respuesta elástica). En otras palabras, la **resiliencia** es la capacidad que tiene un material de recuperar su forma luego de sufrir una deformación. En el caso de la seda de araña su resiliencia es superior a la de cualquier otro material conocido en la naturaleza, y su valor de aproxi-

madamente 4000 kJ/m^3 es al menos 10 veces más grande que la resiliencia que presenta un cable de acero [2]. Ésta interesante propiedad indica como dijimos anteriormente que **la telaraña podría soportar gigantescas deformaciones debido a que puede "absorber" enormes cantidades de energía** y este comportamiento podría justificar algunas escenas vistas en las diferentes películas del arácnido: **la escena en que Peter Parker (Toby Maguire) detiene el tren en el *Spiderman II* de la primera trilogía¹, la escena en *Far from home* en que el hombre araña de Tom Holland intenta impedir con su telaraña que un crucero se parta por la mitad**, y varios momentos bien conocidos en los cómics, donde justamente se hace referencia a la gran resistencia y extensibilidad de la telaraña. **De hecho, la telaraña es aún más resistente que la mostrada en las películas del arácnido**. Según cálculos presentados por Nieuwenhuys y De Cooman una telaraña del diámetro de un lápiz y de unos 30 km de longitud sería lo suficiente elástica y resistente para frenar un Boeing 747 que vuela a una velocidad de aproximadamente 900 km/h y permitirle aterrizar (puedes revisar el cálculo en este link)[3]. Spoiler-alert: En el cálculo también estiman cuál debería ser el largo de una telaraña para detener completamente el avión!

Lo complejo (y sorprendente) de este cálculo es que **se necesitan 102.000 millones de arañas** para generar una sola de estas largas hebras de seda! Es importante señalar que la seda de araña que se está considerando en este cálculo es la seda de mayor resistencia que fabrican las arañas (*araneus MA silk*) que es la seda expulsada por las glándulas ampulaceas mayores, existen otras sedas más viscosas que son expulsadas por las glándulas flageliformes y tienen una extensibilidad aún mayor que la *araneus MA silk* pero mucha menor resistencia, esta seda viscosa es utilizada por las arañas para hacer la matriz de una telaraña y para poder atrapar presas. Esta última idea no deja de ser relevante en función de qué tipo de seda elegir en qué tipo de situación. Hay un momento icónico que perturba aún a los fans de Spiderman que se publicó en el número #121 (1973) cuando Peter al tratar de salvar a su enamorada Gwen Stacy, quien está cayendo sobre el puente de Brooklyn, confiado en la resistencia y flexibilidad de una telaraña olvida un parámetro muy importante en la física, el *momentum*, que mide la cantidad de movimiento de un objeto (cantidad resultante de mul-

tiplicar la velocidad por la masa de un objeto). Al momento de detener a Gwen tan bruscamente, el cambio de momentum, produce una fuerza inmensa que se propaga por el cuerpo (de Gwen) generando un efecto látigo en su cuello matándola al instante, esta escena fue adaptada en *the amazing spiderman II* (con Andrew Garfield en el rol de Peter Parker/Spiderman). James Kakalios en su libro "la física de los superhéroes" presentó un cálculo en el que asegura que Gwen experimentó una aceleración de $9g$ que produjo una fuerza de 5000 N sobre su cuello lo que justifica su deceso inmediato [4], es sensato pensar que el resultado pudo haber sido diferente si *Spidey* hubiese elegido una seda más elástica y menos rígida que la que finalmente usó.

Después de esta pequeña discusión y de una aproximación acerca las impresionantes propiedades de la telaraña surgen bastante preguntas con respecto a sus usos y posibles aplicaciones, siendo un material comparable en resistencia a la del Kevlar por qué no fabricar chalecos antibalas o elastómeros basados en la resiliencia o tenacidad de este material, la respuesta está relacionada con que en realidad es muy difícil criar arañas en cautiverio, de hecho suelen comerse entre ellas. Habrá que esperar a que la ingeniería genética pueda desarrollar materiales parecidos a los que producen las arañas. De todas formas estos últimos años algunos grupos de investigadores han logrado generar sedas proteicas que emulan algunas de las propiedades de la telaraña [5]. A pesar de estos avances todavía queda algún trecho por recorrer en la confección de una seda de araña artificial. Habrá que preguntarle al Peter Parker del universo I y III (según la película *Spiderman: No way home*), con qué medios y materiales logró fabricar una sustancia parecida a la seda de araña y si es posible producirla en masa, aunque quizás sea difícil convencerlo de revelar el secreto de su fabricación, más que mal conocimiento de alguna forma es poder y como bien recita el tío Ben en el cómic #15 de la edición *Amazing Fantasy* "un gran poder conlleva una gran responsabilidad".

Referencias

- [1] Eisoldt, L. et al, *Materials Today*, Vol. 14, 3 (2011), p80-86
- [2] Corletti, A., *Manual de la resiliencia*, Universidad Alfonso X el sabio, Madrid, 2020.
- [3] Calle, D., *¿Cuánto pesan las nubes?*, Editorial Plaza & Janes, 2018.
- [4] Kakalios, J., *The Physics of Superheroes*, Gotham Books, Second ed., 2009.
- [5] Andersson, M. et al, *Nature Chemical Biology*, Vol. 13, 3 (2017), p262-264

¹ Revisar el siguiente: link: <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20130226/54367168221/la-tela-de-arana-es-suicientemente-fuerte-como-para-detener-un-tren-en-movimiento.html>

